





Gerald Johannes Mörth, BSc

Die Klangkellerei
Algorithmische Komposition
eines Tonstudios mit Proberäumen

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Architektur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Hammerl

Institut für Architekturtechnologie

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

05.05.2020

Datum

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'A. Meigh', written over a horizontal line.

Unterschrift

ABSTRACT



Deutsch

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Neuinterpretation des ehemaligen Grazer Szeneklubs „Ska“. Die Klangkellerei wird dem Klub als kulturelles Projekt mit einer neuen Nutzung als Tonstudio mit Musikproberäumen gegenübergestellt.

Im Rahmen der gegenständlichen Arbeit werden unter dem Leitthema „Musik“ (Bau-)Geschichte und Potentiale des Gebäudes am Standort Grabenstraße 8 dargelegt sowie die Bauaufgabe „Tonstudio“ und die Grundlagen und ausgewählte Methoden der Akustik vorgestellt. Weiters wird ein architektonischer Entwurf für die Umnutzung erörtert, der in einer „algo-rhythmischen“ Komposition einen Dialog zwischen Alt und Neu herstellt. Diese Arbeit beleuchtet den Entwurf aus vielen Perspektiven und beinhaltet vom Raumprogramm bis hin zum Ausführungsplan ausgewählte Detail- und Werkspläne.

Die Revitalisierung des Gebäudes sowie die Herstellung von Prototypen schallisolierender Wände, von Akustikmaßnahmen und Beleuchtungsmodulen in praktischen Versuchen sind in einem ersten Teil des Gebäudes als ein „Bauen im Bestand“ exemplarisch in Bildern und Messergebnissen dokumentiert.

English

The present master thesis deals with a conceptual reinterpretation of the former club venue “Ska”. The suggested cultural project “Klangkellerei” presents a contrasting juxtaposition and re-use of the premises as a recording studio with rehearsal rooms.

In the context of its main theme “music” this thesis evaluates (construction-)history and potentials of the building located in Grabenstraße 8, sums up the building typology “recording studio” and introduces the basics as well as selected methods of acoustics. Furthermore a new architectural design for the site establishes a dialogue between the old and the new in the form of an „algo-rhythmic“ composition.

This thesis sets out to present the architectural design from many angles, including everything from space allocation plans to detailed shop drawings.

The renovation of the building, as well as the construction of prototypes for soundproof walls, acoustic measures and lighting modules in practical tests in a first part of the building are documented as „construction within an historical environment“ in the form of pictures and measurement results.

DANKSAGUNG



Zum Gelingen dieser Diplomarbeit haben viele Personen beigetragen, bei denen ich mich für ihre engagierte persönliche - oft eigenhändige - und fachliche Unterstützung bedanken möchte.

Zuerst gilt mein Dank meinem Betreuer Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Hammerl. Für die Möglichkeit, die *Klangkellerei* im Rahmen meiner Diplomarbeit bearbeiten zu können sowie für die richtungsweisenden Besprechungen und die gedeihlichen Anregungen zum Projekt und dem architektonischen Entwurf möchte ich mich herzlich bedanken.

Ohne meinen lieben Freund und Projektpartner Michael Jäger, der mit all seinen Mitteln das Projekt *Klangkellerei* unermüdlich mitgetragen und mit seiner fachlichen Expertise gleichermaßen mitgestaltet hat, wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Für ihre fortwährende aktive Unterstützung und ihre Hilfe beim Verfassen und Korrigieren der Arbeit danke ich meinen Eltern, Mag. Oskar Mörth und Helga Reistenhofer-Mörth. Meinem Vater möchte ich auf diesem Weg meinen herzlichen Dank für seine unschätzbare Hilfe und die vielen lustigen Stunden auf der Baustelle sowie für so manch inspirierenden Gedanken zur Arbeit aussprechen.

Ich danke weiters meiner Familie, insbesondere meiner Tante und Hausbesitzerin Ao. Univ.-Profⁱⁿ.i.R. Mag.^a Dr.ⁱⁿ phil. Erna Pfeiffer, die mit ihrem Engagement und Wohlwollen das Projekt in vieler Hinsicht gefördert hat, HRⁱⁿ Dir.ⁱⁿ Mag.^a phil. Hildegard Bader und Prof. Mag. phil. Hansjörg Bader sowie Mag.^a Renate Rinner für die lebhaften Einblicke in die Gebäudegeschichte mittels Erzählungen, Bildern und Anekdoten.

Für ihre fachliche Expertise und Korrekturarbeiten danke ich meinen lieben Freunden, Mag.^a iur. Melinda Pryjda, DIⁱⁿ Alina Rejepava und DI Adrian Paul sowie insbesondere DI Roman Lucrezi.

Für die freundliche Unterstützung bei der Recherche danke ich außerdem der Kuratorin und dem Leiter der Sammlung des Graz Museums, Mag.^a Katharina Mraček-Gabalič MA und Dr. Franz Leitgeb, dem gesamten Team des Grazer Stadtarchivs und Dipl.-Ing. Robert Zawodnik von der Bau- und Anlagenbehörde bzw. dem Institut für Grundlagen der Konstruktion und des Entwerfens der TU Graz. Mein Dank gilt außerdem Herrn Ing. Anton Rief von der Firma ecoplan Baumanagement GmbH für die fachliche Unterstützung mit seiner Erfahrung in der Gebäudesanierung und für das zur Verfügung gestellte Planmaterial.

Nicht zuletzt gilt mein Dank all jenen, die beim Bau mitgeholfen haben, allen voran Boris Schnelzer, der sich seit Anbeginn des Projektes besonders engagiert eingebracht hat und Robert Hirsch, der das Projekt mit seinem handwerklichen Geschick und seinem Enthusiasmus vorangebracht hat. Weiters danke ich Dr. med. univ. David Dunkl, Matja Kos, Mia Rottenbacher BA, Kai Rottenbacher und Sabine Rottenbacher, Matthias Werl BSc, Elias Pirchegger, Gerhard Stiegler, DIⁱⁿ Sonja Fuchs, Valentin Mörth BA, Anna Schroll BA MA und Robert Schroll, Sarah Nabjinsky, Daniel Jäger MSc, Ing. Norbert Jäger, BEd MA, Ing. Johann Wernitznig und Martin Engelbogen MA.

Zuletzt möchte ich noch all denjenigen danken, die in der Zeit der Erstellung dieser Arbeit für mich da waren, insbesondere meiner Freundin, Dr.ⁱⁿ med. univ. Bejian Noori.

EINLEITUNG



„*Schon vor Beginn der Exposition kann eine [...] Einleitung stehen. Meist erscheint sie bei ausgedehnteren Werken, d. h. eher in einer Sinfonie und seltener in einer Klaviersonate. Sie eröffnet den Satz in einem langsamen Tempo, bevor sich die Exposition mit einem schnelleren, kontrastierenden Tempo anschließt. Typisch für Sätze mit Einleitung sind also Tempoangaben wie ‚Andante – Allegro ma non troppo.‘*

Neben dem Spannungsaufbau hatte die Einleitung beim zeitgenössischen Publikum aufgrund ihres typischen Beginns mit forte auch eine Signalwirkung: Das Publikum sollte zur Ruhe kommen und wahrnehmen, dass nun ein Werk beginnt, dem Aufmerksamkeit zu schenken sei.
[...]^[1]

1 <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonatensatzform>,
12.04.2020.

0

Einleitung

VORWORT

Andante – Allegro ma non troppo

Architektur und Musik beschäftigten mich seit frühester Kindheit. Die Freizeit meiner Schuljahre verbrachte ich als Schlagzeuger in Musikproberäumen und auf verschiedenen Bühnen sowie mit dem Freihandzeichnen und (3d-)Modellieren von Gebäuden für Indie-Computerspiele. Meine Berufswahl fiel auf die Architektur, in der ich mein technisches Interesse mit einer kreativen Gestaltungsmöglichkeit vereint sah. Um mein Studium zu finanzieren, gründete ich 2013 jedoch ein Musiklabel und machte mich als Ton- und Lichttechniker selbstständig.

Auf Live-Veranstaltungen begann ich, mehr und mehr über den Einfluss der Veranstaltungsorte auf das Gehörte nachzudenken und mich damit zu befassen, welchen Einfluss die Architektur auf das Hörerlebnis hat. Im Architekturstudium fragte ich mich wiederum, welchen Anteil das menschliche Gehör an der Wahrnehmung von Raum und an der Gesamtqualität von Architektur hat: Oberflächenstrukturen und Raumdimensionen sind schließlich wesentliche räumliche Qualitäten, die der Mensch nicht nur mit dem Auge wahrnimmt, sondern auch gut hören kann.

Von meiner Tante erfuhr ich 2014 vom Konkurs des bekannten Szeneklubs „Ska“ und dem daraus resultierenden Leerstand im Keller des Hauses Grabenstraße 8. Dieses Haus ist seit langem mit meiner Familiengeschichte verbunden.

Bereits ab der Zwischenkriegszeit nutzten und gestalteten meine Urgroßeltern, Franz und Clementine Reistenhofer, das dreigeschoßige Biedermeierhaus in der Grabenstraße 8 und dessen Keller. Die Gründung des gemeinsamen Familienunternehmens „Weinkellerei F & C Reistenhofer“, das mit Weinen handelte und selbst Wermutprodukte herstellte, war die erste gewerbliche

Nutzung des ursprünglichen Kohlenkellers. Mit der Erweiterung des Zinshauses zu einem innerstädtischen Gewerbebetrieb und dem Anbau der Nebengebäude für das Unternehmen gestalteten meine Ahnen den Bestand über Jahrzehnte hinweg nachhaltig mit.

Nach dem Tod meines Urgroßvaters im Jahr 1965 diente das Haus in der Grabenstraße 8 zunächst weiterhin als Weinkellerei, doch im Jahre 1973 begann mit der Eröffnung des „Push ‘N Pull“ - einer der ersten Grazer Diskotheken - die beinahe 40-jährige Klubgeschichte des Kellers. Hier traten z.B. Soul- und Funkbands aus den U.S.A. und Reggaebands aus Jamaika live auf und begründeten so den Ruf des Lokals als Brennpunkt der damaligen In-Szene, wovon auch heimische KünstlerInnen profitieren konnten. Mit einigen Betreiber- und Namenswechseln entwickelte sich der Standort in den 1980er- und 1990er-Jahren als „After Dark“ bzw. als „Ska“ zu einer der wichtigsten alternativen Szenevenues der Stadt. Der Klub konnte mit Konzerten von heutigen Stilikonen wie „die Ärzte“ locken und galt als Dreh- und Angelpunkt der Musik- und Partyszene in Graz. Im Jahr 2012 musste der Betrieb des zuletzt stark vernachlässigten Lokals aber eingestellt werden.

Für mich war selbstverständlich, dass die Essenz dieses Ortes, an dem die kulturelle Musikgeschichte der Stadt und meine persönliche Familiengeschichte zusammenfließen, keinesfalls verloren gehen durfte. Im Bestreben, dem Kulturstandort und gewissermaßen der unternehmerischen Familientradition des Kellers nachzufolgen, entschloss ich mich dazu, die Räumlichkeiten zu übernehmen.

Zusammen mit meinem Projektpartner Michael Jäger arbeitete ich ein erstes Konzept für eine Neuinterpretation des Ortes als Tonstudio mit Musikproberäumen und einem kleinen Veranstaltungssaal aus.

Im Vorfeld dieser Arbeit war eine Vertiefung in die Bauaufgabe Tonstudio und die theoretischen Grundlagen der Akustik anhand von gebauten Referenzprojekten und Fachbüchern, aber auch in Gesprächen mit erfahrenen Akustikexperten nötig. Grundsätzliche Kenntnisse im Bereich der Akustik verknüpfte ich mit dem im Studium Erlernten sowie meinen eigenen praktischen Erfahrungen aus der Musikbranche. Es war mir ein persönliches Anliegen, den starken Familienbezug des Objektes genau zu beleuchten und in Recherchen in verschiedenen Archiven und innerhalb der Familie mehr über die Bau- und Familiengeschichte des Hauses herauszufinden und in das Projekt einfließen zu lassen.

Die technischen Herausforderungen dieses Projektes bestanden darin, die Anforderungen der Umnutzung mit ihren räumlichen, akustischen und gestalterischen Aspekten in den individuellen Gegebenheiten des Altbestandes in einem verbindenden Leitbild zusammenzuführen und alle baulichen Details selbst zu erarbeiten, aber auch selbst auszuführen.

In einer ersten Machbarkeitsstudie stellte sich heraus, dass die Unternehmung auf knapp 550m² in der herausfordernden Lage eines innerstädtischen Altbaus ohne gewaltiges finanzielles Risiko nur in Eigenfinanzierung und sukzessiver handwerklicher und planerischer Eigenleistung umgesetzt werden konnte. Im heruntergekommenen Klub waren tonnenweise Müll verblieben, die einst hochwertige Innenausstattung war größtenteils unrettbar verfallen und über die Brauchbarkeit des in vielen Schichten überbauten Bestands lagen keine verlässlichen Angaben vor - es konnten quasi jederzeit unvorhergesehene Umstände auftreten, die das Projekt unmöglich machen würden. Das Projekt musste deshalb Schritt für Schritt entwickelt werden.

Zunächst wurde das desolate Klublokal zwischen 2014 und 2017 deshalb unter finanzieller Beteiligung der Hausbesitzerin entrümpelt und ein bearbeitbarer Zustand hergestellt.

Im Zuge dieser Arbeiten wurden einige beträchtliche Gebäudeschäden repariert und ich konnte erste Teilbereiche vermessen. Im Jahr 2017 lag ein erster zusammenhängender und bewertbarer Bestandsplan vor, sodass ich mit den konkreten Planungsarbeiten des Projektes beginnen konnte.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll das entwickelte Konzept für die Umnutzung des Bestandes vorgestellt

und die planerischen und handwerklichen Arbeiten der Ausführung dokumentiert werden.

Seit 2017 ist die Klangkellerei als offene Gesellschaft mit Gewerbe in das Firmenbuch eingetragen. Die Realisierung des architektonischen Projektes erfolgt seitdem kontinuierlich Schritt für Schritt. Die Umsetzung wird in der vorliegenden Arbeit anhand des ersten Gebäudeteils dokumentiert, der vier Musikproberäume und eine kleine Tonregie umfasst. Das Projekt „Klangkellerei“ ist bereits probeweise in Betrieb und soll in Zukunft auch Platz für kleinere Kulturveranstaltungen bieten. Die Arbeiten daran stellen mich und meinen Projektpartner Michael Jäger stets vor neue Herausforderungen: Neues muss entworfen, ausprobiert, evaluiert, verbessert, ausgedacht werden. Doch die Faszination dieser Unternehmung ist für mich ungebrochen, konnte ich doch hierbei einerseits wesentliche Inhalte des Architekturstudiums abrufen und verwerten und andererseits Erfahrungen aus meinem Berufsleben einfließen lassen und meine handwerklichen Fähigkeiten wesentlich verbessern.

Ich glaube, dass es mir mit diesem Projekt gelungen ist, meine beiden Passionen - die Architektur und die Musik - in einer architektonisch ansprechenden Unternehmung zusammenwachsen zu lassen und so, inspiriert von Musik und Schall und ihren ganz speziellen Entwurfsparametern, als Architekt Musikschaaffenden ein akustisch-räumlich geeignetes und anregendes Umfeld zu bereiten. Diese Arbeit stellt für mich insofern nicht nur den formellen Abschluss meines Studiums dar, sondern brachte darüber hinaus die Erkenntnis, dass meine beiden großen Leidenschaften tatsächlich mit Leib und Seele in einer Unternehmung einfließen können.

Mit der vorliegenden Arbeit hoffe ich, einen guten Überblick über mein bisheriges Werk in der Klangkellerei zu vermitteln und möchte die damit dokumentierten Erfahrungen auf den Gebieten der Akustik, der Architektur und der handwerklichen Praxis auch anderen zuteil werden lassen.

Gerald Johannes Mörth
Graz, 2020

ZIELE & AUFBAU

Das Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist es, an einem Ort kultureller und familiärer Geschichte im Zentrum der Stadt Graz ein architektonisches Konzept für ein Tonstudio mit Musikproberäumen zu entwickeln, das sich als Treffpunkt für Musizierende und als Ort der kleinteiligen lokalen Kunstszene versteht.

Die Arbeit ist als Analogie zum bearbeiteten Themen-dualismus Architektur-Musik nach dem Sonatenhauptsatz aufgebaut, einem klassischen, dialektischen Gestaltungsprinzip der musikalischen Formenlehre.

Als derart kompositorisch angelegte Arbeit, wird im ersten Teil, der **Exposition** - die Dialektik von Alt & Neu in Haupt- und Seitensatz vorgestellt:

Der **Hauptsatz** erläutert die Nutzungsgeschichte des Gebäudes und seine kulturelle und familiäre Identität und seine Potentiale. Nach einem **Zwischensatz** über die Grundlagen und ausgewählte Methoden der Akustik erklingt der Seitensatz, in dem das zweite Thema, die Bauaufgabe Tonstudio, vorgestellt wird. Im **Epilog** am Ende der Exposition werden in einer Synthese die detailreichen Voraussetzungen für die Beplanung des Projektes dargelegt und eine Entwurfsstrategie formuliert.

Der zweite Teil ist die **Durchführung**. Die aufgerollten Themen werden in einem Entwurf im Spannungsfeld zwischen der Musik und der Architektur - meinen beiden großen Passionen - in einem „algo-rhythmisch“ komponierten architektonischen Leitbild zueinander in Bezug gesetzt, das dem eklektizistischen Gesamteindruck des Bestandes ein neues, wertsschätzendes und identitätsstiftendes Gesicht gibt.

In der **Reprise** kehrt der Entwurf in den realen Bestand zurück und wird dort auch analog baulich „verwirklicht“. Im dritten Teil dieser Arbeit wird damit der Bogen zwischen der architektonischen Planung und der baulichen Praxis gespannt - und damit ein weiterer Dualismus erforscht. In einer sukzessiven Entwicklung aus Planung, Versuch und Analyse wird die Herstellung von Prototypen von Akustikmaßnahmen, Beleuchtungsmodulen und Innenausstattung in einem ersten Bauabschnitt dokumentiert.

Die **Coda** bildet den Schlussteil und bringt die Komposition zu ihrem inhaltlichen Ende: Eine Zusammenfassung der Zwischenergebnisse aus Messungen, Erfahrungen und Beobachtungen sowie daraus abgeleitete Schlüsse, Prognosen und Perspektiven für die Zukunft des Projektes beschließen diese Arbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

Eidesstattliche Erklärung	vi
Abstract	vii
Danksagung	viii
0	
Einleitung	XI
Vorwort	XII
Ziele & Aufbau	XIV
Inhaltsverzeichnis	XV
1	
Exposition	17
Der Bestand	18
<i>Hauptsatz</i>	
Schall & Akustik	56
<i>Zwischensatz</i>	
Theorie des Tonstudios	76
<i>Seitensatz</i>	
Epilog	84
<i>Schlussatz</i>	
2	
Durchführung	89
Entwurf	90
<i>Einleitung</i>	
Architektonisches Leitbild	110
<i>Modulation</i>	
3	
Reprise	131
Bestandssanierung	132
<i>Wiederholung Hauptsatz</i>	
Prototypenentwicklung	140
<i>Wiederholung Zwischensatz</i>	
Baustelle Tonstudio	162
<i>Wiederholung Seitensatz</i>	
4	
Coda	187
Messergebnisse	188
Da Capo al Coda	194
Appendix	196

EXPOSITION



„*D*ie Exposition stellt das thematische Material des Satzes vor. Sie gliedert sich typischerweise in:

- *Hauptsatz*
- *Überleitung*
- *Seitensatz*
- *Schlusssatz / Epilog*^[2]

2 <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonatensatzform>,
12.04.2020.

1

Exposition



Der Bestand

INFRASTRUKTUR | GEBÄUDE | KONTEXT

EXPOSITION

Hauptsatz

„*D*er Hauptsatz einer Exposition steht in der Grundtonart des Satzes. Er taucht mindestens zweimal in Exposition und Reprise auf. Dieser Satz enthält das erste Thema, dem die klassische Formenlehre typischerweise einen eher kraftvollen Charakter attestiert.

Da der Begriff „erstes Thema“ auf ein vorhandenes „zweites Thema“ schließen lässt und dies nicht in allen Fällen auftritt, bedient man sich lieber der allgemeineren Gegenüberstellung Hauptsatz – Seitensatz.^[3]



A1 / A9
SALBURG
LINZ

306km
249km

Grabenstraße 8

Hauptbahnhof

Rom ca. 14h
Paris ca. 16h
Berlin ca. 16h

Altstadt

A9 / E59
MARIBOR
LJUBLJANA
ZAGREB

69km
196km
182km

A2
KLAGENFURT

136km

Flughafen Graz Thalerhof

Lage & Infrastruktur

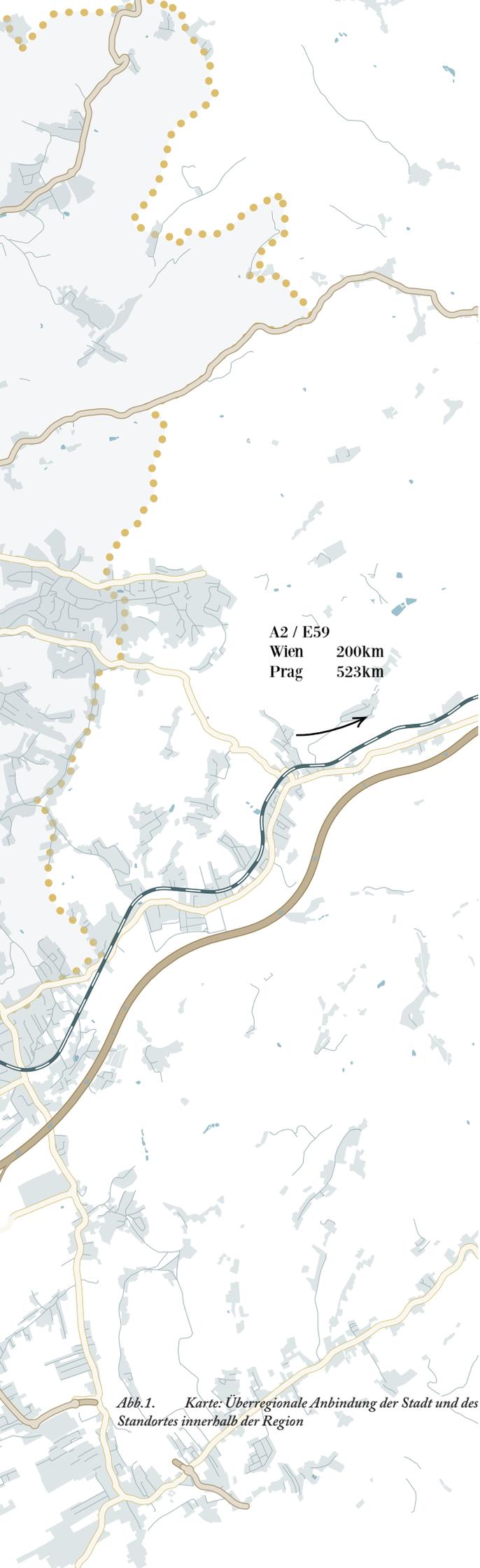
Der Standort des Projektes ist die Grabenstraße 8, knapp zehn Gehminuten nördlich des Grazer Altstadtzentrums. Der Standort ist attraktiv an das örtliche Fahrradnetz und den öffentlichen Verkehr angebunden:

Bahnhof	ca. 12 Minuten
Flughafen	ca. 45 Minuten

Die Grabenstraße ist eine der Nord-Süd-Hauptachsen der Stadt. Die Distanz von den Autobahnabfahrten bei guter Verkehrslage ist entsprechend effizient zu bewältigen:

Graz-Nord	ca. 20 Minuten
Graz-Ost	ca. 20 Minuten
Graz-West	ca. 25 Minuten
Flughafen Graz	ca. 35 Minuten

Die gute Erreichbarkeit bei gleichzeitiger Nähe zum Altstadtzentrum und dem Universitätsviertel der Stadt sind außergewöhnlich für die Bauaufgabe und bieten großes Potential für Synergien.



A2 / E59
Wien 200km
Prag 523km

Abb.1. Karte: Überregionale Anbindung der Stadt und des Standortes innerhalb der Region

Funktionelle Beziehungen

Die zentrale Stadtlage ist wesentlicher Faktor der Eignung des Standortes für das geplante Projekt. Die betriebliche Lautstärke in einem Tonstudio ist zwar mitunter ein guter Grund, derartige Projekte außerhalb anzusiedeln, allerdings stehen entlegenen Standorten und ihren erleichternden Schallschutzbedingungen schlechte Erreichbarkeit und schlimmstenfalls stark eingeschränkte NutzerInnenbequemlichkeit entgegen. Der Standort Grabenstraße 8 bringt zunächst zwar erheblichen Mehraufwand in Form von erhöhten Schallschutzerfordernissen im dichten Blockrand mit sich. Dem gegenüber steht jedoch eine exzellente Anbindung an ein fruchtbares künstlerisches und wirtschaftliches Umfeld und viele Schnittstellen zu potentiellen NutzerInnen des Projektes über wesentliche Interaktionspunkte:

- Universität für Musik und Darstellende Kunst
- Karl-Franzens-Universität
- Technische Universität
- Grazer Spielstätten (Orpheum, Kasematten, Schauspielhaus, Oper, Dom im Berg, etc.)
- Unternehmen aus der Ton-, Film- und Werbebranche

Diese örtliche Nähe bietet Studierenden (besonders aus Fachrichtungen, z.B. Elektrotechnik-ToningeneurIn, Instrumentalstudiengänge, Musikologie, etc.) und ProfessionistInnen, aber auch freischaffenden MusikerInnen und anderen Interessierten eine schwellenlose Interaktion mit den angebotenen Dienstleistungen, wie Auftragskomposition, Tonaufnahmen, Mixing, Mastering und CD-Produktionen. Für die Vermietung der Musikproberäume und Studioinfrastruktur stellt die Lage aber eine wichtige Ressource dar, die mit einem „Plug & Play“-Konzept noch einmal attraktiviert wird: Die Räumlichkeiten werden grundsätzlich voll ausgestattet und „All Inclusive“ angeboten, sodass NutzerInnen, wie Musikgruppen und externe ProduzentInnen, keine eigenen Instrumente und Gerätschaften mitbringen müssen - aber können.

Die zentrale Lage in Kombination mit dem geringen Logistikaufwand für alle NutzerInnen des Projektes ist ein entscheidendes Alleinstellungsmerkmal, das die höheren Anforderungen an den Schallschutz im Altbau überwiegt.



Abb.2. Panorama der Stadt Graz. Foto: Wikipedia.org

Arbeitsumfeld Stadt

Über diese direkten funktionellen Verbindungen hinaus bietet die Lage im Stadtkern für NutzerInnen und Personal der Klangkellerei vor allem die Möglichkeit, direkt mit dem gesamten Angebot der Stadt zu interagieren: Grünraum, Kulinarik, Nächtigungsmöglichkeiten und Freizeitaktivitäten einer ganzen Stadt sind in voller Bandbreite direkt vor der Haustür vorhanden und als sekundärer Mehrwert des Standortes verfügbar:

- Stadtpark & Murbeach
- Grazer Altstadt - Hauptplatz, Karmeliterplatz
- Lendplatz, Bauernmarkt, Cafés
- Universitätsviertel
- u.v.a mehr



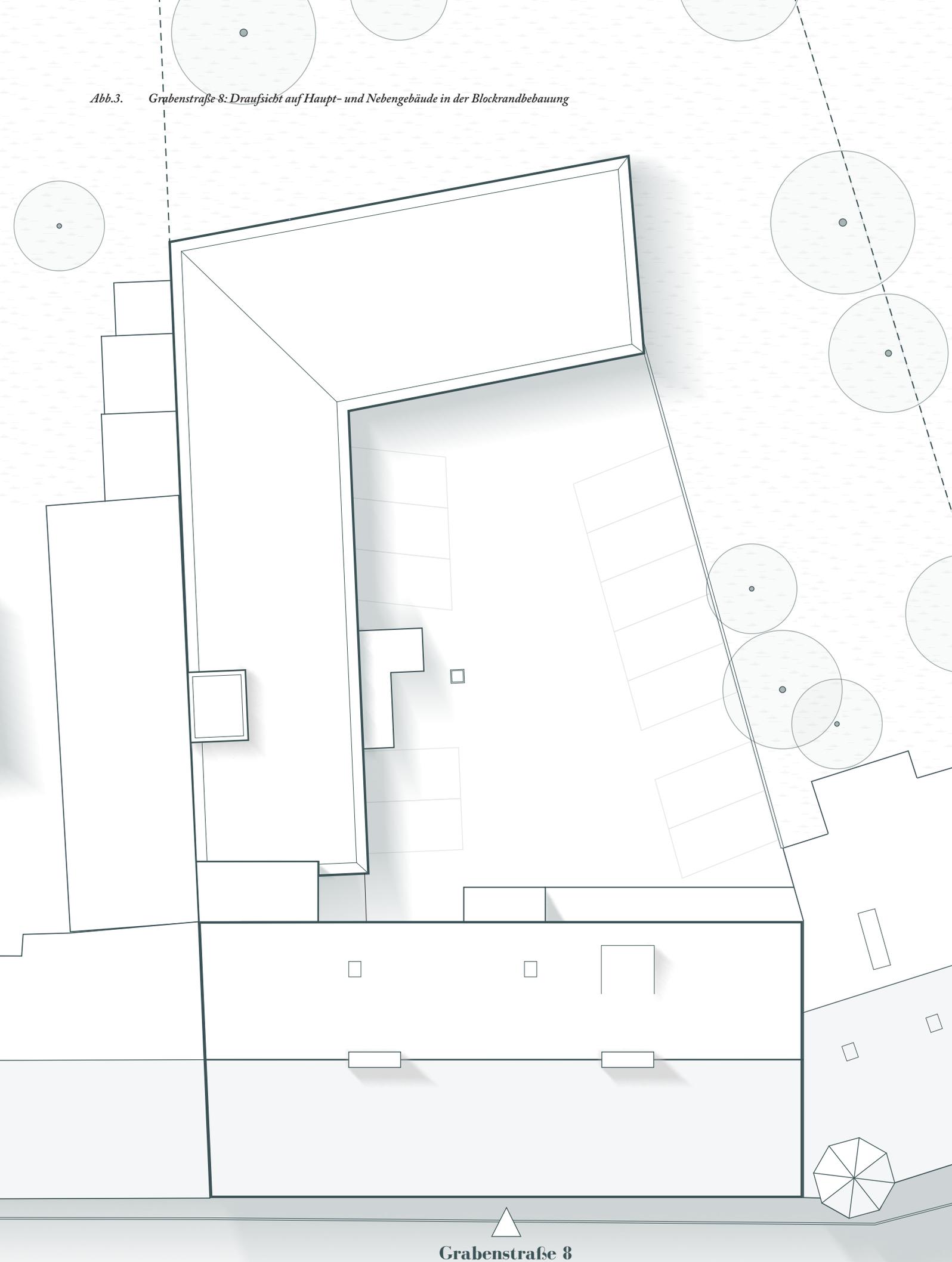
Was ohne Ruhepausen geschieht, ist nicht von Dauer.
-Ovid

Die konzentrierte, oft empfindlich genaue Arbeit in einem Tonstudio kann durch wirklich erholsame Arbeitspausen aufgelockert werden und maßgeblich an Qualität gewinnen. Unerlässlich ist daher, dass in solchen Ruhezeiten der entsprechende Freiraum für alle Beteiligten zur Verfügung steht, um sich individuell zu erholen. Gerade bei längeren Produktionen mit vielen Beteiligten steht die Qualität der Arbeit in direkter Wechselwirkung zur Ausgeglichenheit und dem Wohlbefinden der Mitarbeitenden.

Damit profitiert das Projekt nicht nur von der Diversität der urbanen Umgebung, sondern tritt im wirtschaftlichen und kulturellen Sinne als Schnittstelle von kreativen Köpfen in eine Wechselbeziehung mit dem Wirtschaftsstandort und der Kulturstadt Graz und seiner Musikszene.



Abb.3. *Grabenstraße 8: Draufsicht auf Haupt- und Nebengebäude in der Blockrandbebauung*





M = 1:200

Das Gebäude

Das Gebäude in der Grabenstraße 8 besteht aus einem historischen Haupthaus, das als Teil der Blockrandbebauung den Innenhof gegen die Grabenstraße abschließt sowie einem modernen Nebengebäude im Hof. Zum Grundstück gehört der Garten um das Nebengebäude sowie der gepflasterte Innenhof, der heute als Parkplatz dient.

Bruttogeschoßfläche: ca. 2319,60 m²
Gesamtnutzfläche: ca. 1554,15 m²

Hauptgebäude

- Bruttogeschossfläche ca. 1620,00 m²
- Nettoraumfläche: ca. 1070,00 m²

Das Hauptgebäude ist ein langgestrecktes, zweihüftiges Wohn- und Geschäftshaus mit drei überirdischen Geschossen, abgeschlossen von einem steilen Satteldach. Es orientiert sich in einer Flucht mit der langen Gerade der Grabenstraße und sitzt als Eckstein direkt am Knick der Straße vor der Kreuzung Grabenstraße-Humboldtstraße-Wickenburggasse-Jahngasse am Fuße des Schlossberges.

Im Erdgeschoß befinden sich zu beiden Seiten der mittigen Durchfahrt in den gepflasterten Innenhof Geschäftslokale mit großen Auslagefenstern zur Straße hin. Je zwei Wohneinheiten im ersten und zweiten Obergeschoß, der als Lagerraum genutzte, unausgebaute Dachboden im dritten Obergeschoß sowie das Untergeschoß werden über ein Treppenhaus in der Durchfahrt erschlossen. Das Untergeschoß erstreckt sich als Gewölbekeller über die gesamte Fläche des Gebäudes.

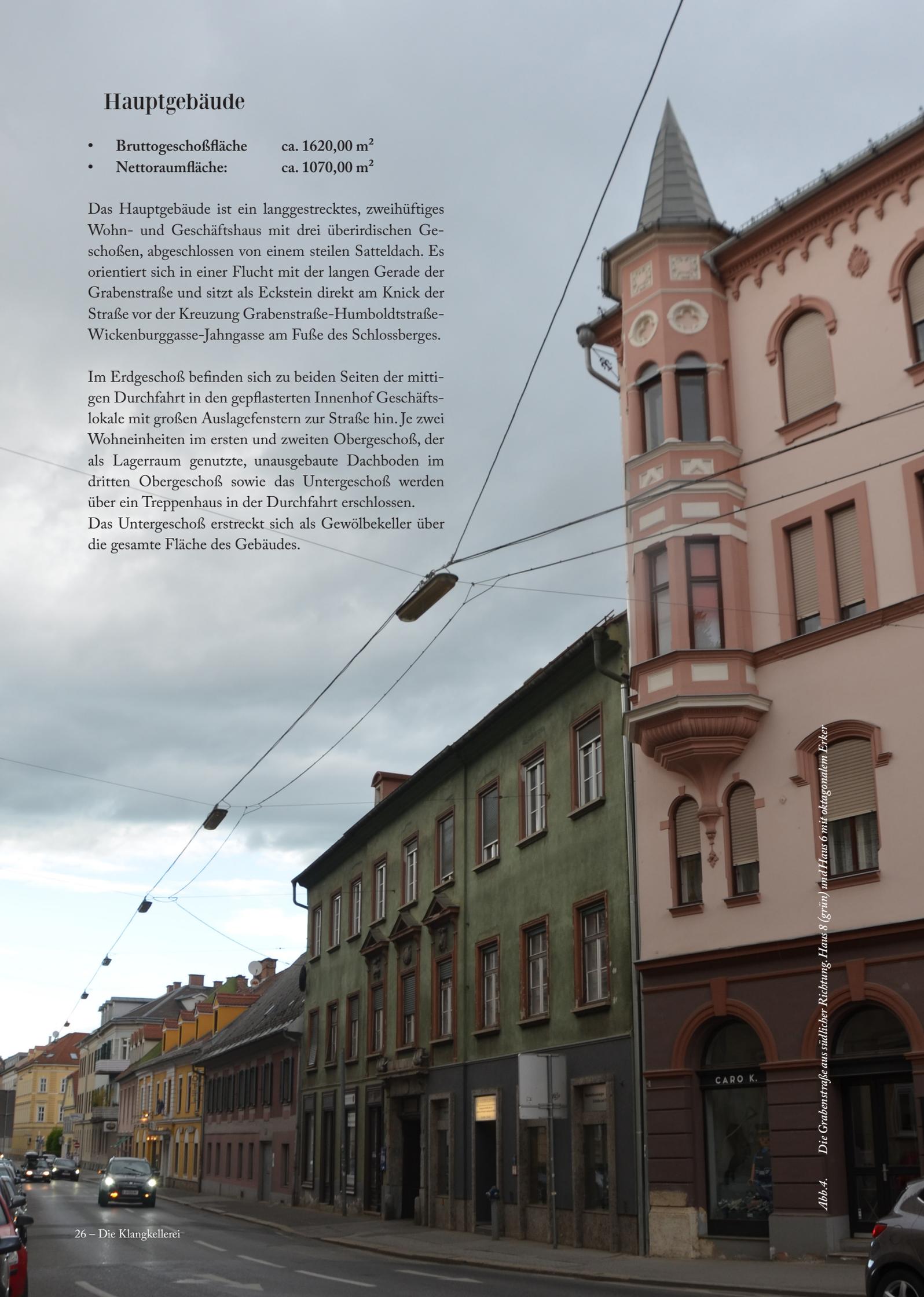


Abb. 4. Die Grabenstraße aus südlicher Richtung. Haus 8 (grün) und Haus 6 mit oktagonalem Erker



Abb.5. Grundriss Hauptgebäude Erdgeschoß, M = 1:200



Abb.6. Ansicht Fassade West, straßenseitig; M = 1:200



Abb.7. Ansicht Fassade Ost, hofseitig; M = 1:200

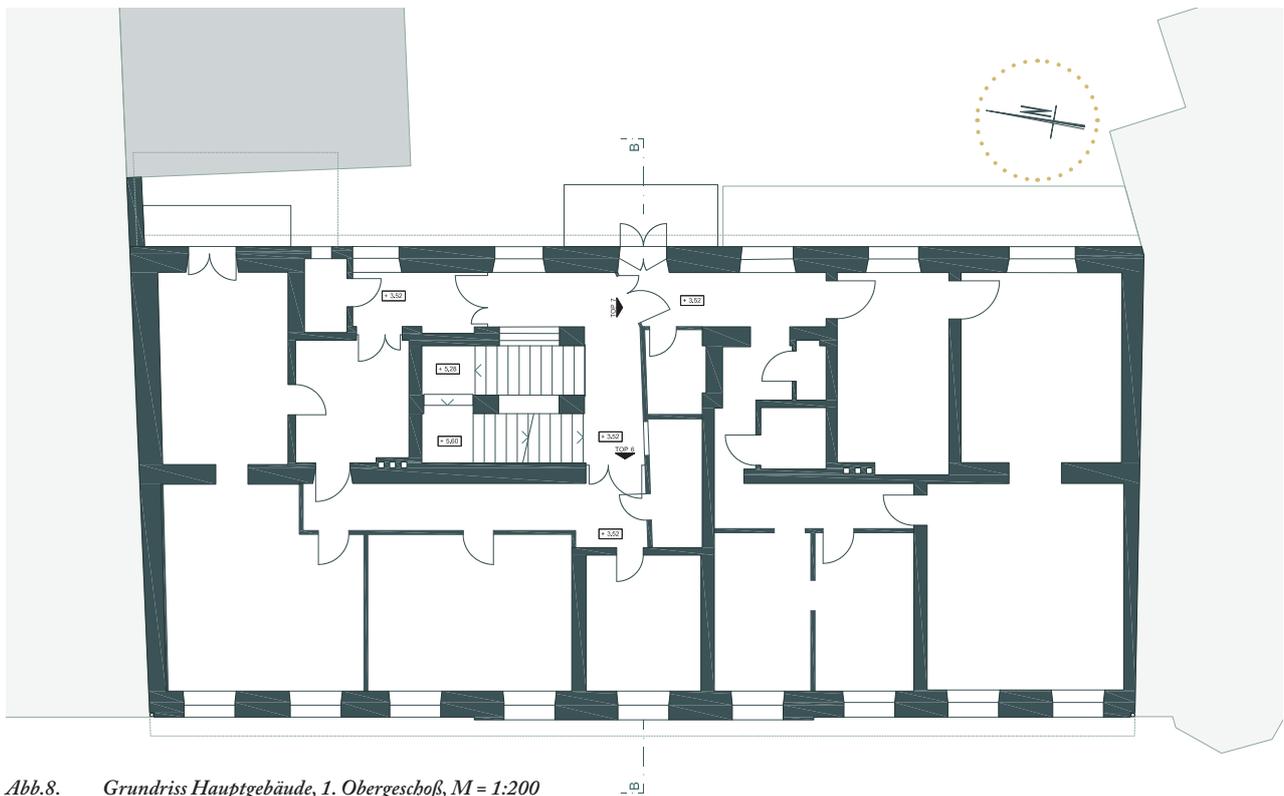


Abb.8. Grundriss Hauptgebäude, 1. Obergeschoß, M = 1:200

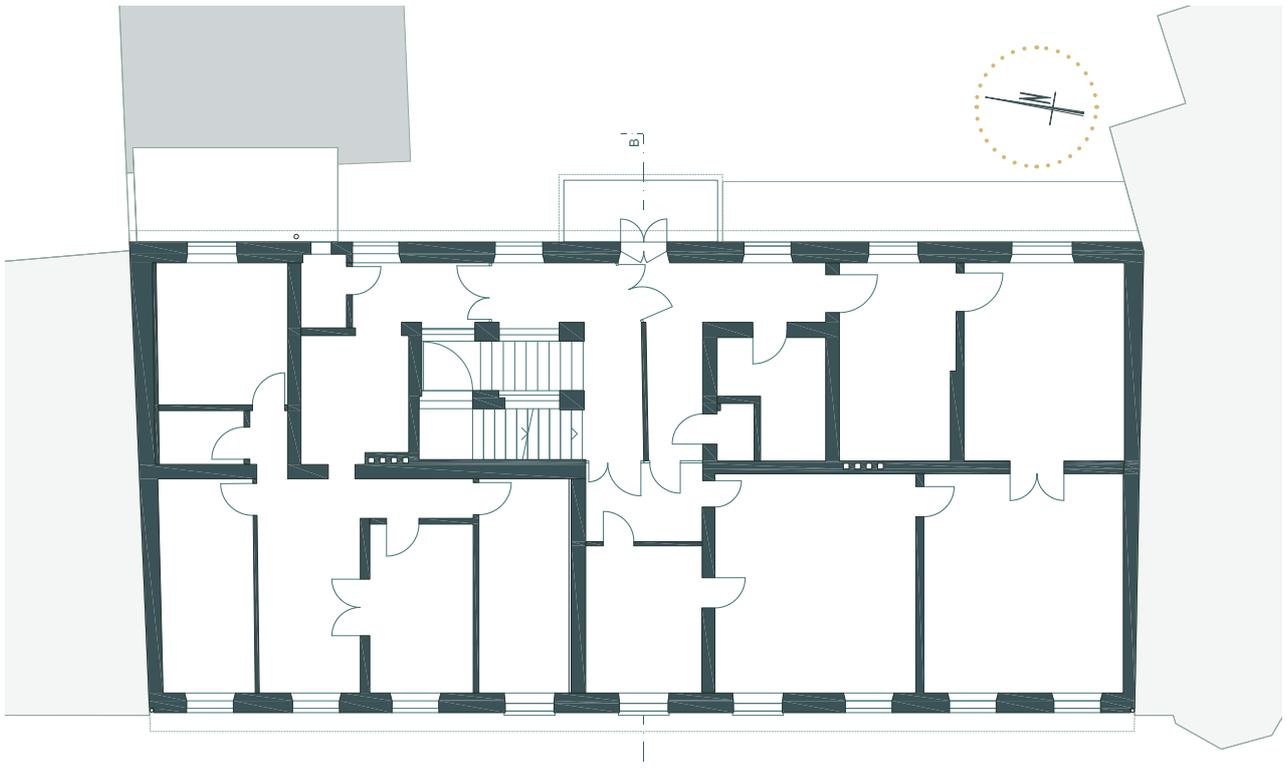


Abb.9. Grundriss Hauptgebäude, 2. Obergeschoß, $M = 1:200$

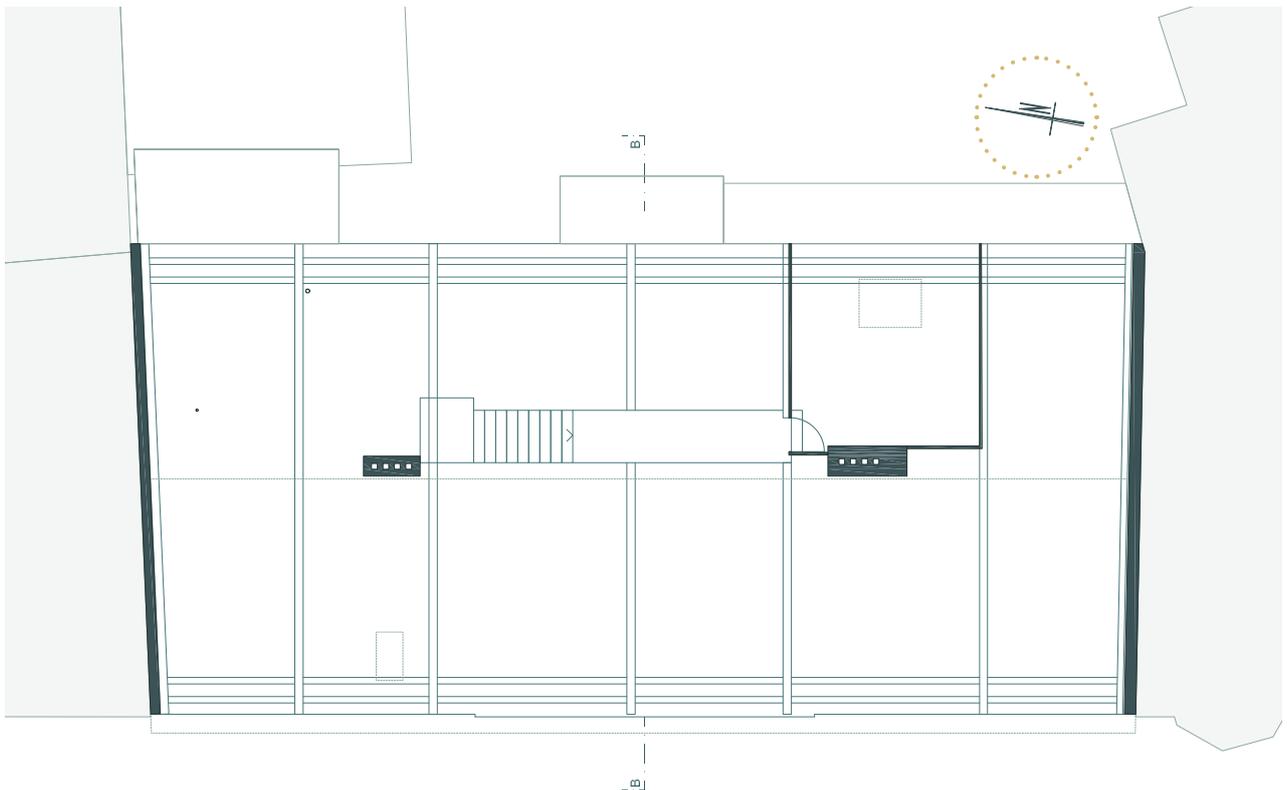


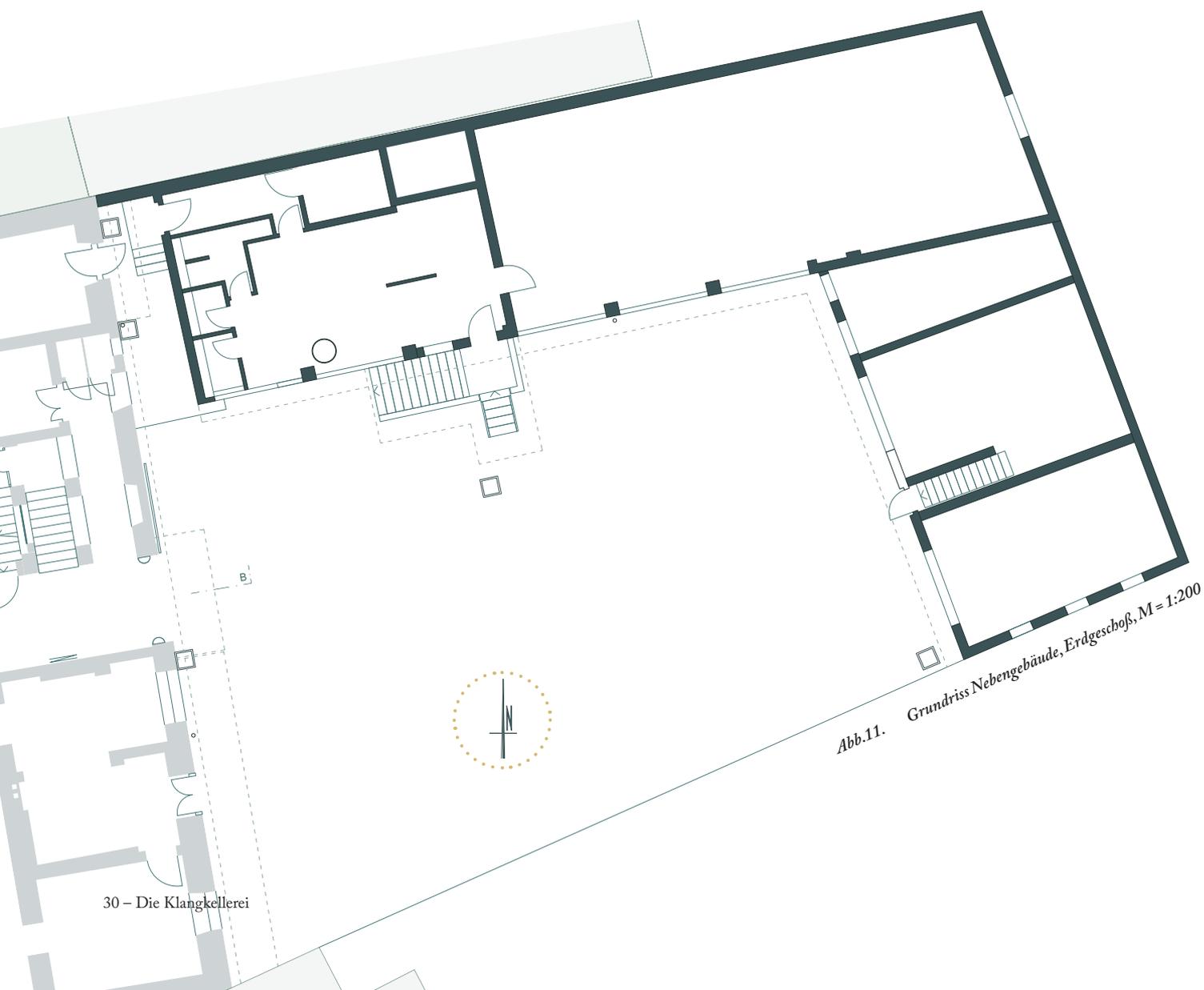
Abb.10. Grundriss Hauptgebäude Dachgeschoß, $M = 1:200$

Nebengebäude

- Bruttogeschossfläche: ca. 698,60 m²
- Nutzfläche: ca. 485,00 m²

Der eingeschossige, L-förmige Hallenzubau hat ein geschottertes, flaches Dach und hofseitig großflächige Glassteinfenster. Er steht leicht stumpfwinkelig zum Hauptgebäude und erscheint im Erdgeschoß als abgesetzter Baukörper.

Die langgezogene Halle, die den längeren Teil des Zubaus ausmacht, begrenzt das Grundstück zur nördlichen Parzelle hin (Grabenstraße 10), der kürzere Flügel, der Garagen und eine Umspannstation beherbergt, teilt den zur Liegenschaft gehörenden Außenraum in einen Garten und einen umzäunten Innenhof, der als Erschließung und Parkplatz genutzt wird. Im Erdgeschoß, das ca. 90 cm über Hofniveau liegt und über zwei Treppen erschlossen wird, befindet sich eine Ballettschule.



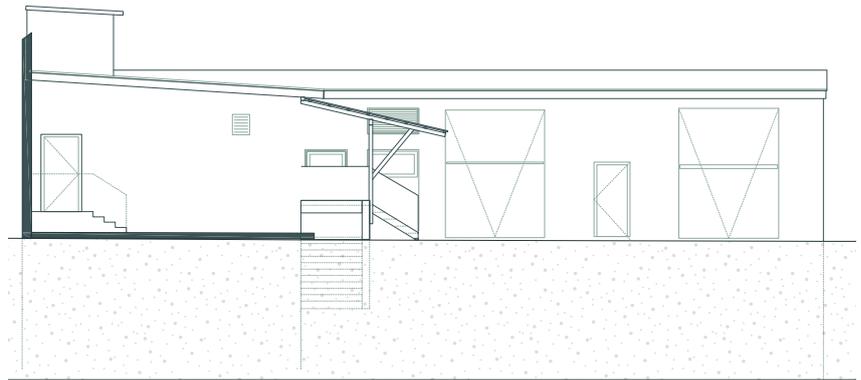


Abb.12. Ansicht Ostfassade Nebengebäude - Stirnseite, M=1:200

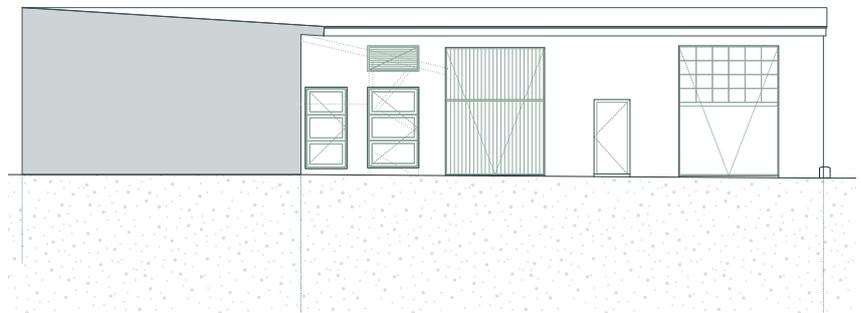


Abb.13. Ansicht Ostfassade Nebengebäude - Garagen, M = 1:200

Sowohl die lange Halle als auch die Garagen sind unterkellert: Der hohe Kellerraum unter der Halle kann über eine betonierte Treppe aus dem Hof und ein Treppenhaus im Inneren des Gebäudes erschlossen werden. Der niedrige Kellerraum unter der Garage ist 2,47 m hoch und nur gesondert über eine steile Treppe im Hof erschlossen.

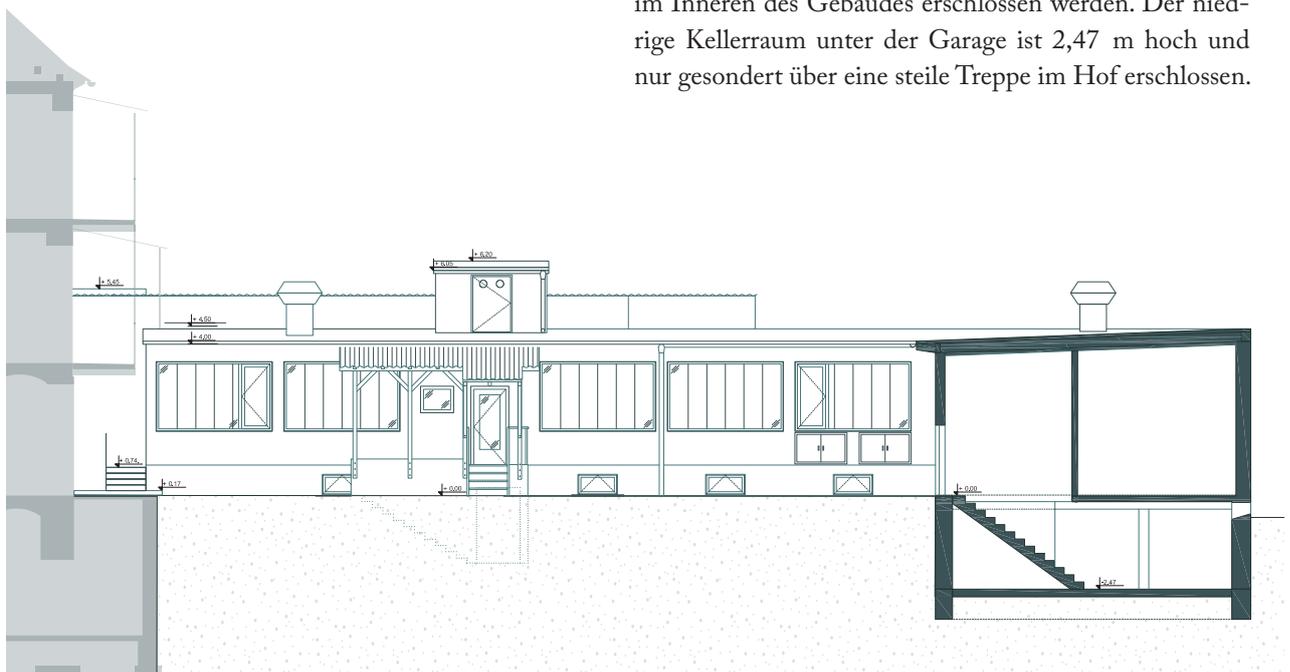


Abb.14. Ansicht Südfassade Nebengebäude - hofseitig, M = 1:200

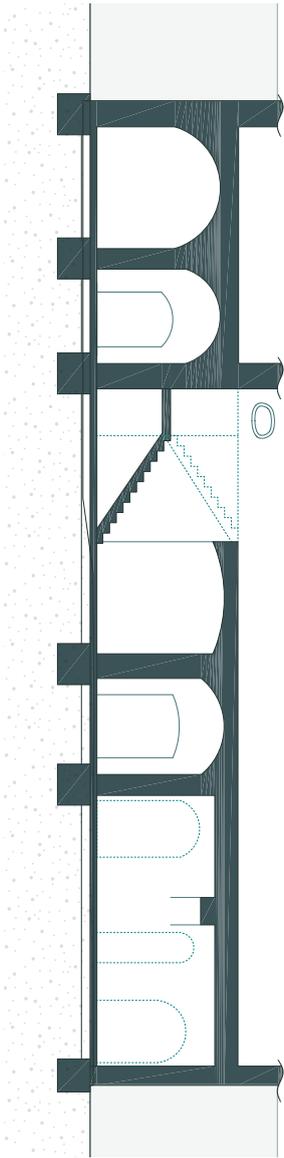
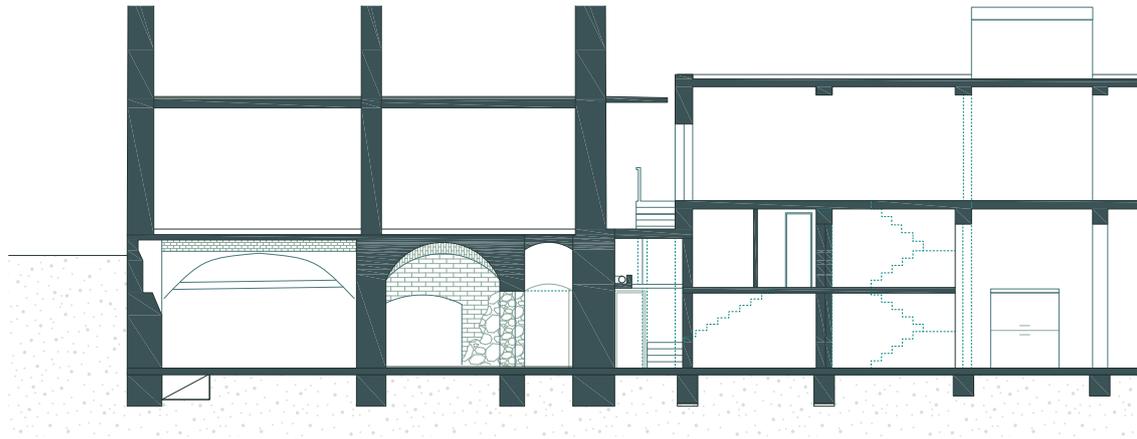


Abb.16. Schnitt B-B, M = 1:200

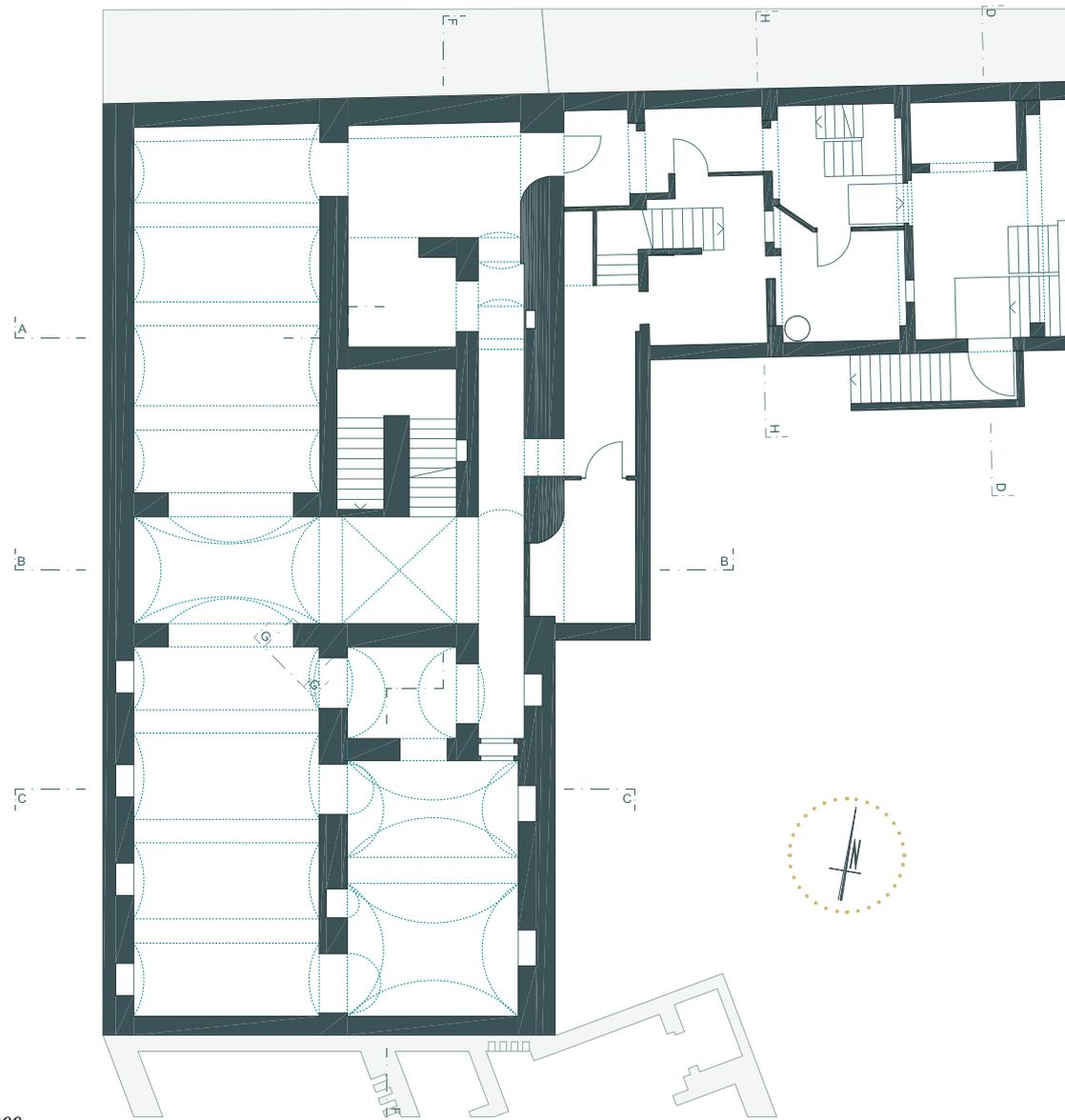
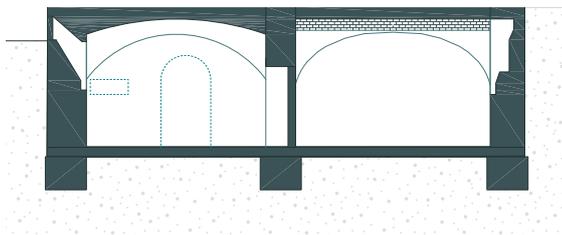


Abb.15. Schnitt C-C, M=1:200



Untergeschoß

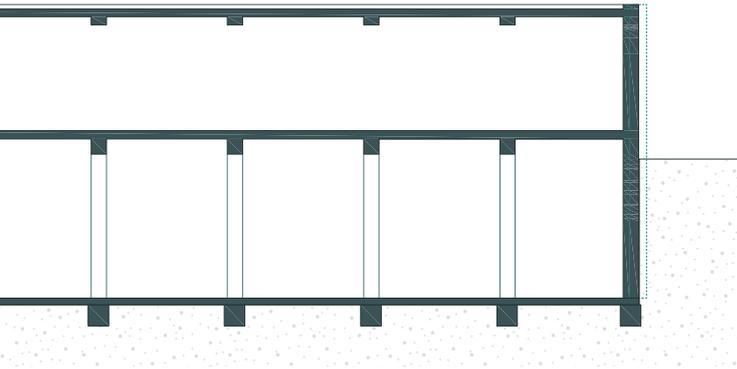


Abb. 17. Schnitt A-A, M = 1:200

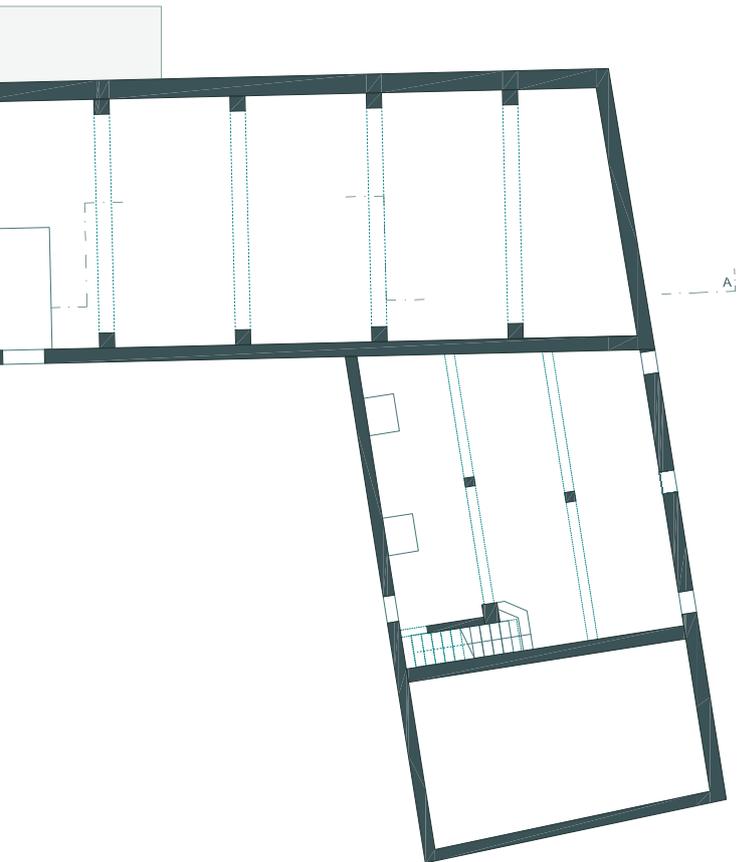


Abb. 18. Grundriss Untergeschoß, M = 1:200

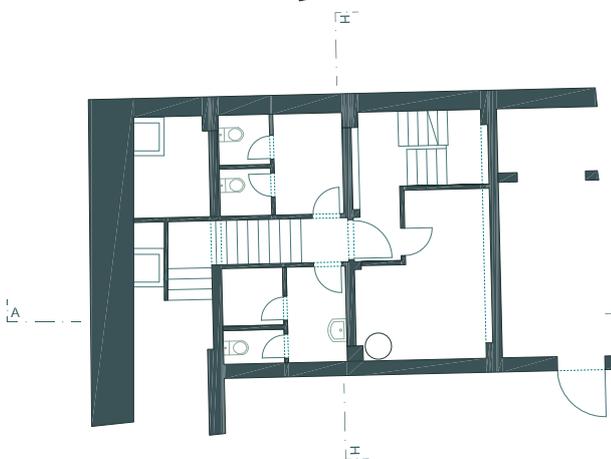


Abb. 19. Zwischenstock, M = 1:200

- Bruttogeschossfläche: ca. 575 m²
- Nutzfläche: ca. 436 m²

Der abgesetzte Baukörper des Nebengebäudes ist im Untergeschoß durch eine Teilunterkellerung des Innenhofes mit dem Altkeller verbunden. Das Untergeschoß bildet damit eine funktionelle Einheit aus dem Gewölbekeller im Haupthaus und dem Kellerraum des Nebengebäudes.

Die lange Halle des Nebengebäudes misst innen etwa 28,00 m * 6,60 m. Der Ziegelbau ist an der Stirnseite im Westen angewinkelt. Die betonierte Decke ruht auf 40 cm starken Stahlbetonbalken in einer lichten Raumhöhe von 4,25 m auf acht Stützenpaaren im Abstand von 3,20 m. Mittig befindet sich hofseitig eine Betontreppe, an der gegenüberliegenden Nordseite ein gemauerter Schacht für einen Lastenaufzug. Zum Hauptgebäude hin ist die Halle durch eine Wand neben dem Aufzugsschacht abgetrennt. Dahinter ist die Halle horizontal durch ein Zwischengeschoß mit 2,00 m lichter Raumhöhe geteilt, das über eine innenliegende Treppe mit dem Erdgeschoß verbunden ist. Das Kellergeschoß verbreitert sich und formt einen Gang unter dem Innenhof, der parallel an der Außenmauer des Hauptgebäudes bis über die mittige Durchfahrt im Erdgeschoß entlangläuft und das Untergeschoß des Nebengebäudes mit dem Haupthauskeller über drei Mauerdurchbrüche im Fundament verbindet.

Strukturell ist der Altkeller von seiner Gewölbearchitektur geprägt: Er teilt sich durch eine massive Stein- und Ziegelmauer längs in eine ca. 20 m lange Gewölbehalle an der Straßenseite sowie vier Räume, das Treppenhaus und die Verbindungsgänge zum Nebengebäude hofseitig.

Acht gedrückte Ziegelbögen überspannen die Breite der Halle von ca. 5,15 m. Die Felder dazwischen überspannen zur nördlichen und südlichen Seite der Querachse (Durchfahrt im EG) Segmenttonnengewölbe. Mittig in der Achse liegt ein länglicher Verteilerraum, der von Bögen in zwei platzgewölbte Raumabschnitte und den hofseitigen Gang geteilt wird. Der lange hofseitige Gang zwischen dem Foyer und dem Nebengebäude, das Treppenhaus und der kleine Raum in der südlichen Hälfte sind von Segmenttonnengewölben gekrönt. Die Decke des großen Raumes im Süden ist mit zwei, durch einen Bogen getrennten Platzgewölben ausgeführt, die beiden Räume in der nördlichen Hälfte mit je einem Platzgewölbe abgeschlossen.

Die Raumhöhe beträgt im Keller zwischen 3,00 m und 3,30 m, die Gewölbe im Stich höchstens 3,40 m. Die Bogenlaibungen unterschneiden die lichte Raumhöhe. Die Kämpfer liegen durchgehend 1,85 m über dem Boden, die Bogenscheitel auf etwa 3,05 m.

Historischer Kontext

Das Hauptgebäude hat seine Anfänge zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Mit dem Auflösen der obsoleten militärischen Befestigungsanlagen und der darauffolgenden baulichen Erweiterung der Stadt Graz entstanden in dichter Bebauung unzählige Zinshäuser rund um die mittelalterliche Kernstadt.

Über die nächsten Jahrzehnte entstanden so weite Teile der Stadt wie man sie heute kennt entlang der ehemaligen Sperrzone des Glacis und im Umland - unter anderem auch im Geidorfviertel und in der schon damals als „Graben“ bekannten Gegend. Mit der Bebauung der heutigen Grabenstraße manifestierte sich eine der wesentlichen Nord-Süd Verkehrsachsen, die bereits im Mittelalter die Grazer Altstadt über das Paulustor im Osten und das Sacktor im Westen des Schlossberges mit den nördlichen Gemeinden im Grazer Becken verband.^[4]

Der Grazer Graben

Während der regelrechten Expansionseuphorie entwickelte sich die Einfahrtsstraße in die Stadt zu einer lebhaften Geschäfts- und Wohnstraße, repräsentativ für das blühende Wachstum der Stadt.

Das Gebäude in der heutigen Grabenstraße 8 wurde 1827 errichtet.^[5] Der Blick in die neuen Straßen der Stadt findet sich um die Jahrhundertwende als beliebtes Motiv auf Ansichtskarten. So gibt es vom Blickpunkt am Fuß des Schlossberges Postkarten aus verschiedenen Zeitperioden mit Blick in die Grabenstraße stadtauswärts, die den Bauboom dokumentieren. Auf diesen drei Ansichtskarten um 1900 ist der fortschreitende Bau des Nachbargebäudes Nr. 6 zu sehen. Im Hintergrund befindet sich das Bischöfliche Gymnasium, der Blick geht entlang der Bauflucht, Richtung Norden.

4 DEHIO, Graz 1979, S. 139.

5 Ebda, 139.



Abb.20. Grabenstraße zwischen Kreuzgasse im Norden und Schlossberg im Süden, M=1:1000



Abb.21. Karte: Stmk. Landesarchiv in einer Sammlung des Graz Museum

Auf der ersten Karte ist das Gebäude (heute Grabenstrasse 8) mit stirnseitiger Fensterfront zum Schlossberg zu sehen. Wo heute die Häuser Nr. 6 und 4 stehen, friedet eine Mauer das angrenzende Grundstück zur Straße hin ein. Im Hintergrund rechts ist der Blick frei auf die Grabenkirche an der Ecke Muchargasse-Grabenstraße.



Abb.22. Karte: Stmk. Landesarchiv in einer Sammlung des Graz Museum

Das nächste Motiv zeigt zusätzlich zur langen Sichtachse - und bezeichnenderweise für die Aufbruchsstimmung der Zeit - wesentlich mehr Verkehr und Personen auf der Straße und auch den Beginn der Bauarbeiten des nächsten Gebäudes: Der Abbruch der Einfriedung, die vermauerten Öffnungen des Hauses schlossbergseitig und eine Baugrube sind gut sichtbar.



Abb.23. Karte: Stmk. Landesarchiv in einer Sammlung des Graz Museum

Auf der letzten Postkarte steht das Haus Nr. 8 bereits hinter dem Knick, als erstes Gebäude in der langen Geraden stadtauswärts, hinter dem markanten oktogonalen Erker der Nr. 6, die 1901 errichtet wurde.

Baugeschichte

Exakte Angaben zur Errichtung des Hauptgebäudes oder Baupläne liegen nicht vor. Das Gebäude scheint im Häuserschematismus von 1827 (StLA) nicht auf und findet erst im Häuserschematismus 1834 (StAG) mit einem Hausbesitzer und Erbauer namens Johann Knecht Erwähnung. Die Datierung 18/27 am Steinportal über der Einfahrt lässt jedoch zumindest den Schluss zu, dass eine Grundsteinlegung mit 1827 erfolgte. Das Gebäude dürfte lange als Zinshaus mit kleingewerblicher Nutzung im Erdgeschoß gedient haben, während eine Nutzung des Gewölbekellers nur mit der Lagerung von Kohle für die Beheizung angenommen werden kann.



Abb.24. Grabenstraße 8 - Hauptgebäude. Ansicht aus dem Innenhof

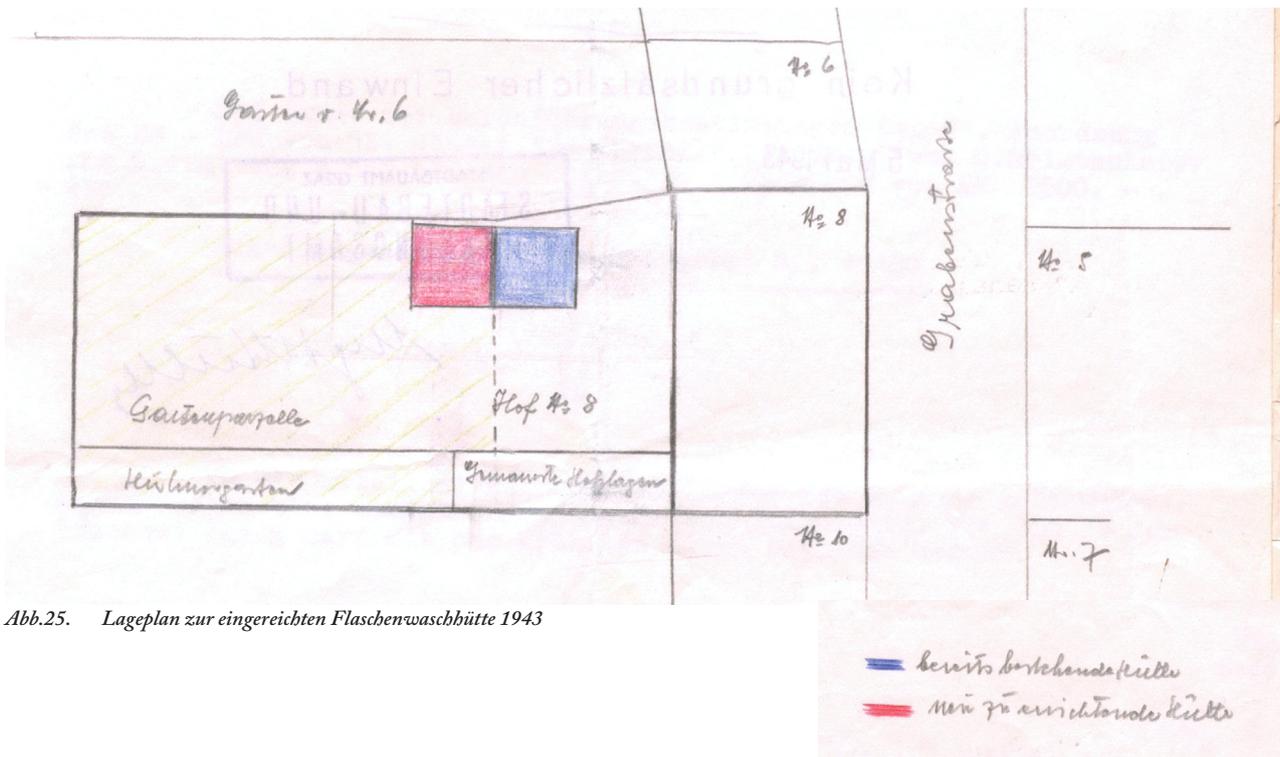


Abb.25. Lageplan zur eingereichten Flaschenwaschhütte 1943

Weinkellerei F&C Reistenhofer

Ca. 1934/35 begründete das Ehepaar Franz und Clementine Reistenhofer (die Urgroßeltern des Autors, Anm.) die **Weingroßhandlung und Wermuterzeugung „F. & C. Reistenhofer“** im Keller der Grabenstraße 8, in der sie selbst mit ihrer Familie wohnten. Das Unternehmen handelte mit Weinen wie dem kroatischen Dingač aus dem damaligen Jugoslawien, die im Keller in Fässern und Flaschen gelagert wurden und stellte am Standort Graz aromatisierte und alkoholstarke Dessertweine, Wermut und andere Aromaweine aus Importweinen her.

Da Franz Reistenhofer entfernte jüdische Vorfahren hatte, wurde die Kellerei im dritten Reich nach seiner Frau Clementine in „**Weingroßkellerei C. Reistenhofer**“ umbenannt. Dadurch konnten die Geschäfte weiergeführt und Repressalien weitgehend vermieden werden.

Die Kriegsgegner Franz und Clementine erwirkten mit geschickter Diplomatie eine Ausnahme vom Allgemeinen Bauverbot unter den Nationalsozialisten. Mitte 1943 wurde nach den Plänen des Zimmermeisters Karl Striegler eine offene Hütte zum Schutz von Arbeiterinnen und Material vor Regen mit einer Bausumme von 1500 Reichsmark (umgerechnet ca. 8200€)^[6] errichtet.

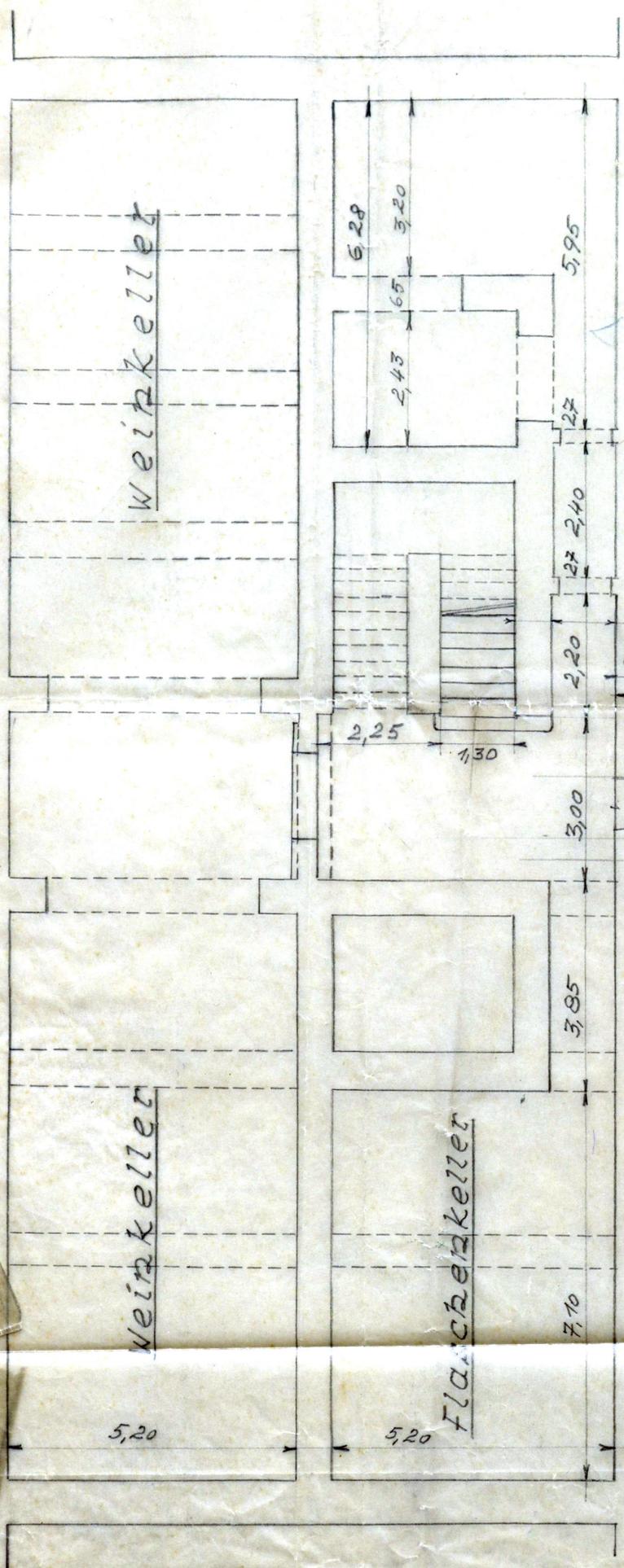


Abb.26. Westfassade, Ansicht von der Straße

700

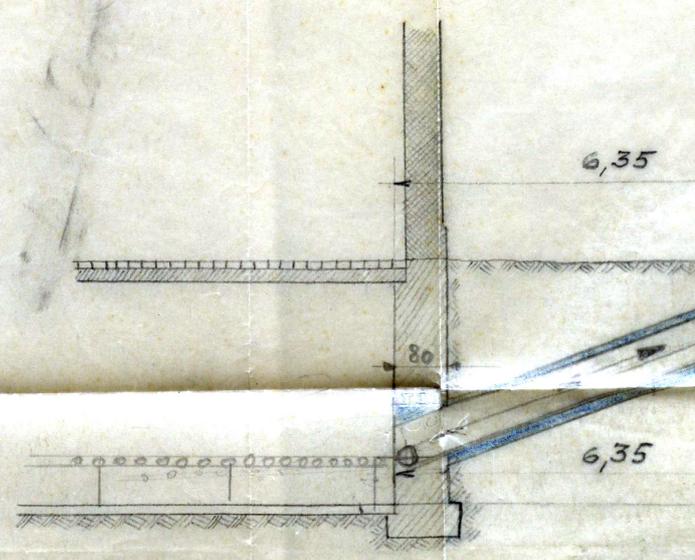
Weingroßkellerei

Graz, Gra



5,43
6,35
7,00

Schacht



6,35

6,35

Franz
 MOb
 Ruf 15-31
 d. Jung

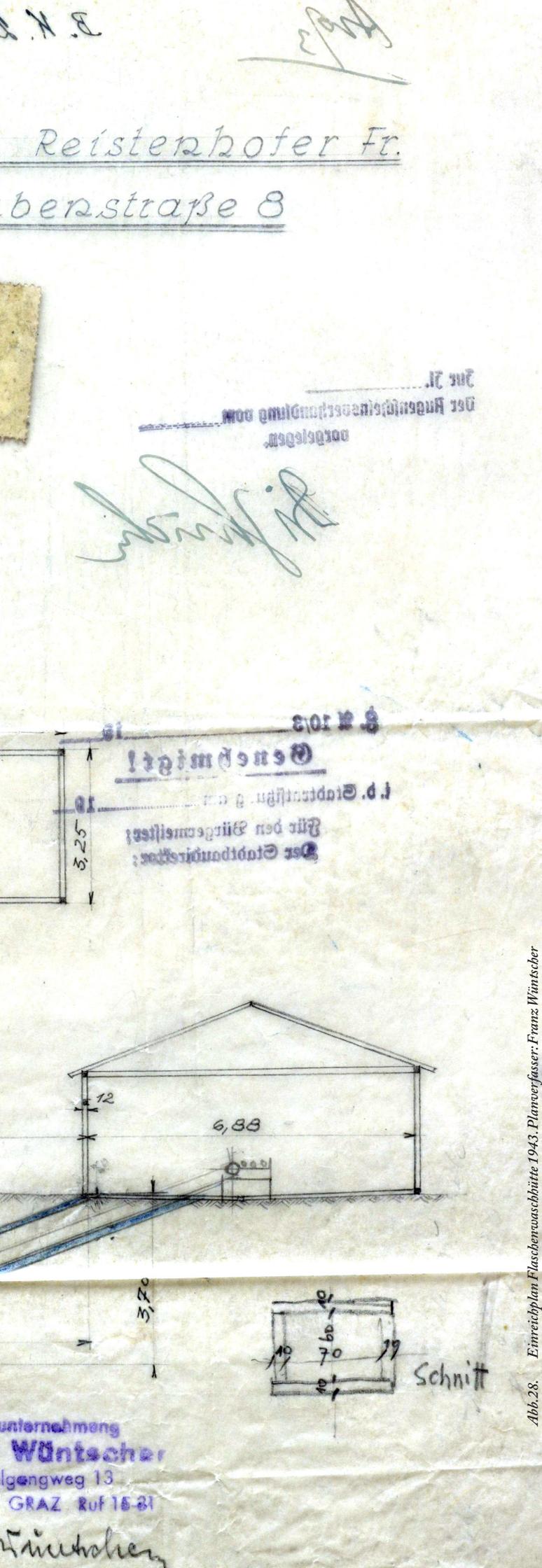


Abb.28. Einreichplan Flaschenwaschhütte 1943. Planverfasser: Franz Wüntscher



Abb.27. Werbetafel mit Logo der Weinkellerei

Ausbreitung in das Erdreich

1947 wurde bei der Baubehörde ein Plan für einen über 7m langen Transportschacht für Flaschen zwischen dem Keller des Gebäudes und eine neue Flaschenwaschhütte eingereicht. Ob die bestehende Hütte im Krieg zerstört oder danach abgetragen wurde, ist nicht überliefert. Auch, ob die Hütte lt. Plan realisiert wurde, ist nicht bekannt. Fest steht, dass der Schacht für ein Flaschenförderband in den Keller umgesetzt wurde, da er in einem Einreichplan um 1950 als Bestand aufscheint.

1948 gelangte das Gebäude durch einen Tauschvertrag in den Besitz der vorherigen Mieter Franz und Clementine Reistenhofer^[7].

1949 wurde das Gebäude nach Kriegsschäden restauriert. Im Zuge dessen wurde die Biedermeierfassade nach Plänen eines Franz Wüntscher durch ein auffälliges Mittelrisalit mit Ädikulafensterrahmen im ersten Obergeschoß ergänzt. Die Insignien der Weinkellerei F&C Reistenhofer, zwei Wein trinkende Bären, befinden sich rechts und links. Mittig ist eine Kartusche mit der vergoldeten Initialie „R“ zu sehen. Vermutlich bezieht sich das Initial auf den Familiennamen der Hausbesitzer „Reistenhofer“. Das rechteckige Steinportal mit den Initialen „JK“ (für den Erbauer „Johann Knecht“, Anm.) und die Inschrift „18 k.u.k. 27“ wurden restauriert.^[8]

7 Vgl. Reistenhofer o.D., 1.

8 DEHIO, Graz 1979, 13915.

Ausbreitung in das Feld

Zwischen 1950 und 1952 wurden im Innenhof nach den Plänen von **Architekt Gustav Madritsch**, der 1972 die brutalistische Markthalle Eggenberg^[9] schuf, das moderne, eingeschossige Fabriksgebäude und Garagen für den Fuhrpark mit Unterkellerung errichtet. Die L-förmige Halle wurde um zwei Meter abgesetzt vom Hauptgebäude errichtet, um Lichteinfall im Erdgeschoß des Haupthauses zu ermöglichen.

Im Untergeschoß wurde das neue Gebäude durch einen nicht überbauten unterirdischen Gang mit dem Keller des Haupthauses verbunden. In der neuen Halle wurden im Untergeschoß Weine gelagert, im Erdgeschoß Flaschen gewaschen, Fässer repariert und abgefüllt.

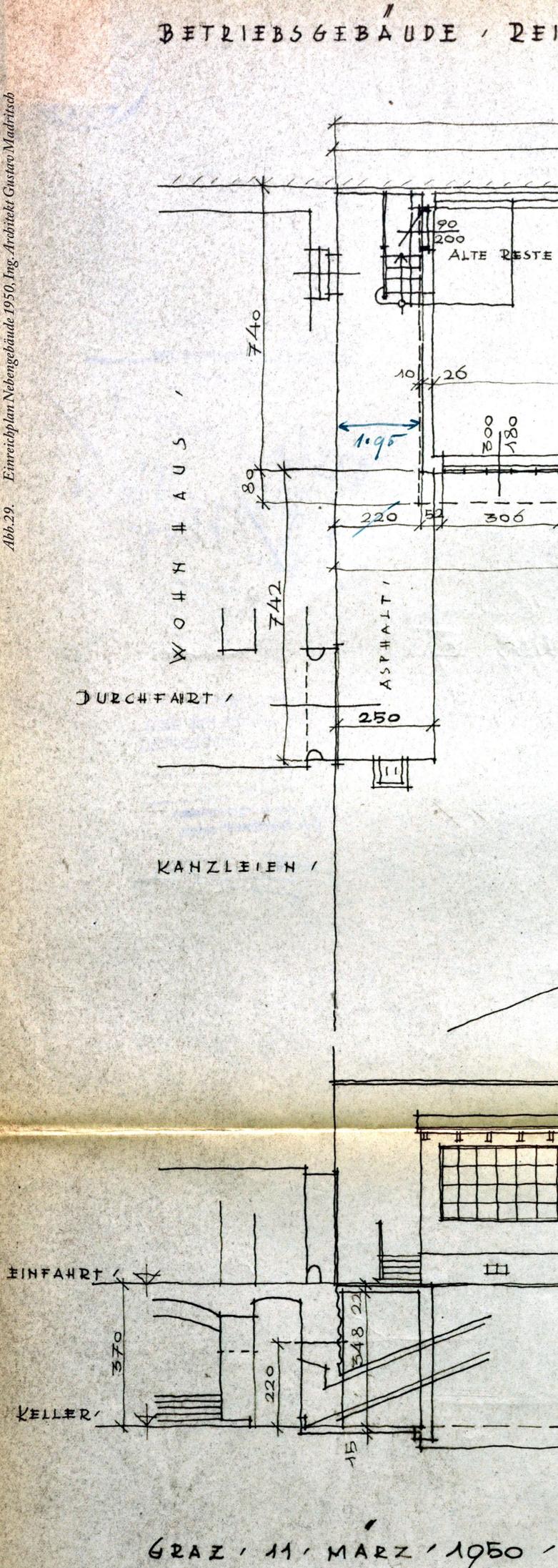
Anekdotisch bezeichnen die Firmeneigentümer in ihrem Ansuchen die Errichtung der knapp 700 m² Bruttogeschoßfläche als „Wiederaufbau“ des vormaligen „Betriebsgebäudes“, bei dem es sich jedoch um ein planlich gar nicht dokumentiertes hölzernes Flugdach sowie einen Hühnergarten zum Nachbargrundstück Nr. 10 handelte. Ob besagte Gebäude tatsächlich durch Bombenschäden zerstört wurden, ist nicht überliefert.

Ende 1953 plante Madritsch den Zubau einer weiteren unterkellerten Privatgarage an das bestehende Garagengebäude und ein Lastenaufzug wurde im Nebengebäude installiert.

In der Zeit nach dem Tod Franz Reistenhofers 1965 wurden der Keller und das Nebengebäude noch einige Zeit als Weinkellerei verpachtet und weitergeführt, bevor der Bestand erneut umgenutzt wurde.

9 Vgl. Wagner / Walk 2018, 367.

Abb. 29. Einreichplan Nebengebäude 1950, Ing. Architekt Gustav Madritsch



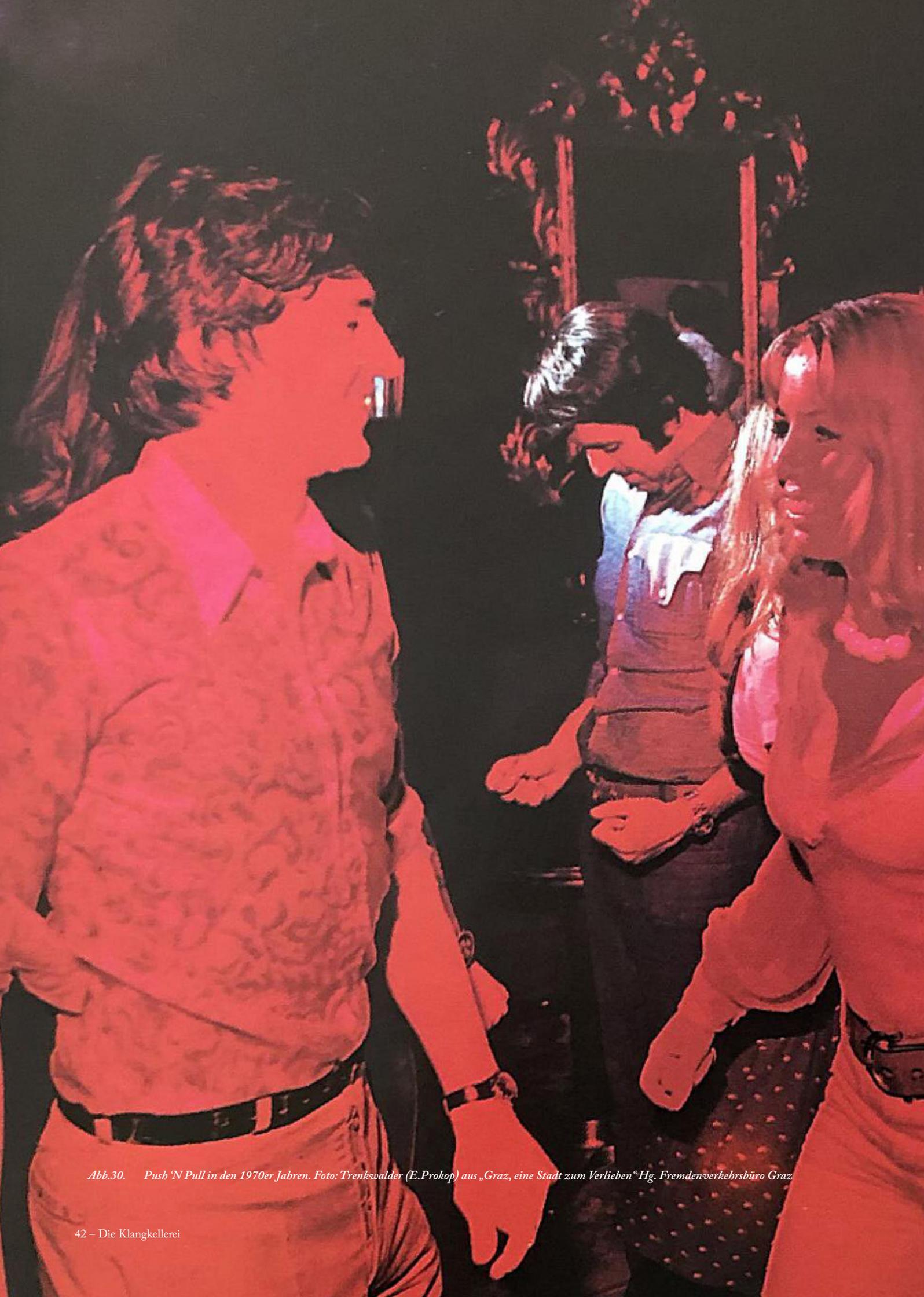


Abb.30. Push 'N Pull in den 1970er Jahren. Foto: Trenkwalder (E.Prokop) aus „Graz, eine Stadt zum Verlieben“ Hg. Fremdenverkehrsbüro Graz



Diskotheek Push N' Pull

Ein frühes Werk des Grazer Architektenehepaares Ingrid und Jörg Mayr, die u.a den Café-Rosenhain Pavillion (1981-83) und die Grazer Synagoge (2000) planten, waren die Umbauarbeiten im Kellergeschoß 1972/73:

1972

Der Spielzeugfabrikant Nikolaus Pfusterschmid investierte 2 Millionen Schilling (heute ca. 610.000€)^[10] in den Ausbau des Weinkellers in ein gehobenes Nachtlokal mit Livemusic von DJs und Bands für 120 Personen - oder in seinen eigenen Worten: die erste „ordentliche Diskothek“ in Graz.^[11]

Eröffnet wurde im März 1973: Neben der Möglichkeit, Speisen in einem eigenen Essbereich zu konsumieren, wurde Gästen im Keller des 200m² großen Altbaus in unterschiedlichen Bereichen eine einladende Bar, gemütliche Sitzgelegenheiten und eine Tanzfläche geboten, die der U.S.-amerikanische Komponist und Soul-DJ Alvin Singleton als Programmleiter mit Musik bespielte. Neben dem Musikprofi holte Pfusterschmid als Besonderheit wochenweise internationale Gastmusiker aus aller Welt für nächtliche Liveauftritte nach Graz und etablierte den Standort so erfolgreich als Hotspot für Musik.^[12]

10 <https://www.eurologisch.at/docroot/wahrungsrechner/#/>, [Zugriff 23.02.2020]

11 o.A.; in: Die Neue Zeit, 24.03.1979, o.S.

12 Interview mit Nikolaus Pfusterschmid, geführt von Frido Hütten, Graz, 17.02.2009



Abb.31. Niki Pfusterschmid in Abenteuer Alter, 02/19. Foto: Erwin Scheriau

“Push N’ Pull’ hatte sogar eine Küche. Einer von Nikis Gags waren Kochtöpfe in Form von Nachttöpfen. Serviert wurde den Gästen im Pyjama.”^[10]



Abb.36. Foto: Rockarchiv Steiermark



Abb.32. Artikel vom 24.03.1973 in: Neue Zeit



Abb.33. Nikolaus Pfusterschmid, Alvin Singleton u.a. Foto: Rockarchiv Steiermark



Abb.35. Foto: Rockarchiv Steiermark



Aus diesen Weinkeller entsteht die Diskothek.

Weinkeller wird Diskothek

Von Retehold Wissiak

Ein Lokal, das alle „Stickerln“ spielen und in seiner Art einzigartig in Graz sein soll, ist in der Grabenstraße Nr. 8 im Entstehen. Mit einem Kostenaufwand von über zwei Millionen Schilling baut der Grazer Fabrikant Niki Pfusterschmid einen alten Weinkeller in eine etwa 200 Quadratmeter große Diskothek um. Die Eröffnung soll im Jänner stattfinden. Das Nachlokal wird in vier Räume aufgeteilt sein. Ein Teil steht den langzünftigen Gästen zur Verfügung, ein anderer erlaubt bei dezenter Musik ruhige Unterhaltungen. Im Gegensatz zu den meisten ähnlichen Lokalen in Graz wird man in der Grabenstraße auch essen können. Eine der Hauptattraktionen wird ein international erfahrener Discjockey aus Trinidad sein. Die technischen Einrichtungen des Lokals sind so konzipiert, daß auch Live-musik geboten werden kann. Niki Pfusterschmid will fallweise bekannte Bands verpflichten und hin und wieder auch ein Show-Programm bieten. Derzeit ist von der Ausstattung des zukünftigen Kellerlokals noch nichts zu sehen. In dem Weinkeller rattern Predrühthämmer und Betonmischmaschinen. Auch an Samstagen wird mit Hochdruck gearbeitet, bis zur Eröffnung im Jänner wird man sicherlich auch noch Sonntags-schichten einlegen müssen.



Abb.34. Artikel/Tagespost vom 05.11.1972. Discjockey (links) & Chef Pfusterschmid

Mit ständigen Investitionen und Neuerungen (z.B. „Quadrophonie“-Musikanlage) sowie immer neuen schrägen Ideen, Themenparties und regelmäßigen Pressekonferenzen, in denen die GastkünstlerInnen vorgestellt wurden, blieb das Push N’ Pull neben den beiden anderen Szeneklubs Scotch / L’Équipe und Mahé erfolgreich bis zum Ende der 1970er-Jahre in den Medien und der Grazer Szene präsent^[13]:

So wurde z.B. in einem fünftägigen Umbau im Oktober 1978 renoviert und u.a. eine Videoleinwand installiert, die damals bereits mit Projektionen der Interpreten der hörbaren Musik für Ansturm von Publikum und großes Aufsehen in den Medien sorgte.^[14]

13 Vgl. Rauch / Schurz 2019, 30-33.

14 o.A.: o.T., in: Kronen Zeitung, 01.10.1978, o.S.

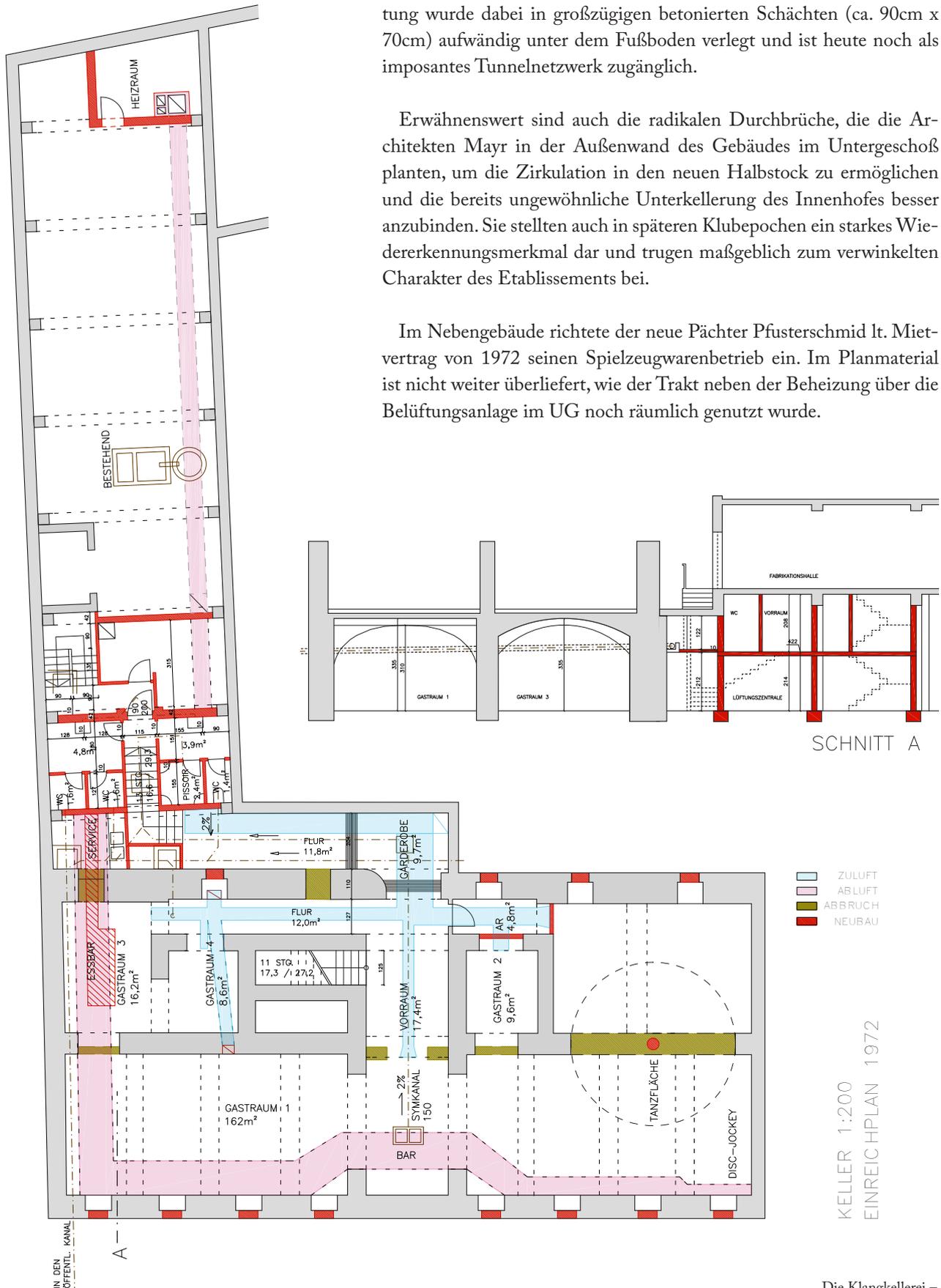
Abb.37. Einreichpläne Umbau einer Weinkellerei in ein Tanzlokal, 1972. Architekten Ingrid u. Jörg Mayr, Digitalisierung: Gerald Mörth

Ausbreitung im Raum

Im Zuge der Umbauarbeiten wurde im Nebengebäude ein Teil des Untergeschoßes durch einen eingezogenen Halbstock ergänzt. Im nun zweistöckigen Kellergeschoß wurden oben Sanitieranlagen für die Gäste errichtet, unten wurde die Belüftungszentrale nachgerüstet. Die Belüftung wurde dabei in großzügigen betonierten Schächten (ca. 90cm x 70cm) aufwändig unter dem Fußboden verlegt und ist heute noch als imposantes Tunnelnetzwerk zugänglich.

Erwähnenswert sind auch die radikalen Durchbrüche, die die Architekten Mayr in der Außenwand des Gebäudes im Untergeschoß planten, um die Zirkulation in den neuen Halbstock zu ermöglichen und die bereits ungewöhnliche Unterkellerung des Innenhofes besser anzubinden. Sie stellten auch in späteren Klubepochen ein starkes Wiedererkennungsmerkmal dar und trugen maßgeblich zum verwinkelten Charakter des Etablissements bei.

Im Nebengebäude richtete der neue Pächter Pfusterschmid lt. Mietvertrag von 1972 seinen Spielzeugwarenbetrieb ein. Im Planmaterial ist nicht weiter überliefert, wie der Trakt neben der Beheizung über die Belüftungsanlage im UG noch räumlich genutzt wurde.



KELLER 1:200
EINREICHPPLAN 1972



Abb.38. Club Ska. Foto: Mario Jahn / Breakery



Abb.39. Logo des Klub Ska

1980

Club Ska / After Dark

1980/81 wurde das Lokal nach dem Ausscheiden von Nikolaus Pfusterschmid als Geschäftsführer von Architekt Herbert Ladstätter u.a. übernommen und erneut umgebaut und umgestaltet.

Das Erscheinungsbild des Klubs wurde grundlegend erneuert und dem Zeitgeist angepasst. In kontrastreichem schwarz-weißem Design wurde ein aufwändiges Interieur aus Lochblechen und verschweißten Stahlrundprofilen hergestellt, ergänzt durch solide Möbel und die ikonische, rundbogenförmige Glasdecke.

Die Konstruktion in Form der tragenden Gewölbebo- gen verwandelte den ca. 22 m langen Gewölbekeller mit Hilfe eines optischen Kniffes in eine räumlich charak- teristische Glastunnelhalle: Zu beiden Stirnseiten voll- flächig verspiegelt wirkte die langgezogene Halle noch wesentlich länger, durchlaufende Lichteffekte am Boden verstärkten diesen Eindruck maßgeblich.

Der lange Raum entwickelte sich zu einem Wieder- erkennungsmerkmal und einem Wahrzeichen, das sich auch im Firmenzeichen des Klub „Ska“ in Form einer farblichen Absetzung der oberen Rundung wider spiegelt und auch nach knapp 35 Jahren vielen GrazerInnen noch ein Begriff ist. Die spektakuläre industrielle Stahl- und Glasarchitektur brachte dabei einen Beleuchtungsschlit- ten hervor, der samt Bühnenlicht hin- und hergeschoben werden konnte. Ein weiteres außergewöhnliches Möbel- stück war die langgezogene Stahlbar am südlichen Ende der Halle, die Gästen zu beiden Seiten Stehplätze bot.

Die kleine Bühne befand sich am anderen, nördlichen Ende. Die ehemalige Tanzfläche im süd-östlichen Raum wurde von der langen Halle wieder abgeschottet und zu einer zweiten, intimeren Bar umfunktionierte.

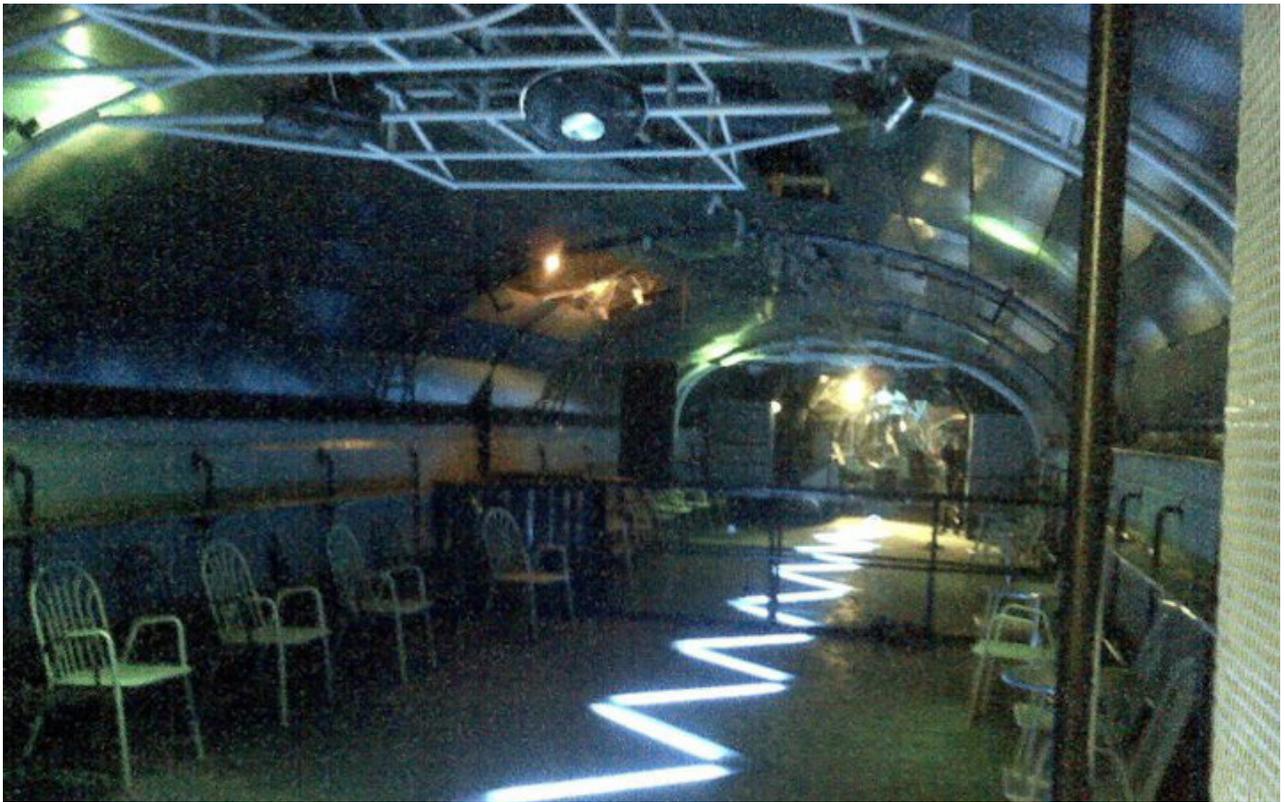


Abb.45. Glastunnelhalle im Ska / After Dark, o.D.: Foto: unbekannt / Privat



Abb.43. DJ und Publikum im Klub, o.D. Foto: Szene1.at / Session Web



Abb.44. Gäste im After Dark, o.D. Foto: Szene1. at / Session Web



Abb.42. Livemusik im After Dark, o.D. Foto: unbekannt / Privat



Abb.41. Stahlbar in der großen Halle im Altkeller, o.D. Foto: Ska Facebook



Das Lokal öffnete nach erheblichen Startschwierigkeiten mit behördlichen Auflagen und wiederkehrenden längeren Perioden der Betriebsschließung als „Ska“ und auch als „After Dark“ seine Pforten immer wieder für wechselndes Szenepublikum.

In den 1980er und 90er Jahren hielten sogar heutige Musikikonen, wie z.B. „die Ärzte“ Live-Konzerte im Klub ab, aber auch lokale Musikgruppen und DJs fanden eine Bühne und Publikum. Dieses Publikum war stets durchmischt mit unterschiedlichen Schwerpunkten, ebenso änderte sich die Ausrichtung zwischen verschiedenen musikalischen Stilrichtungen mit dem Zeitgeist.

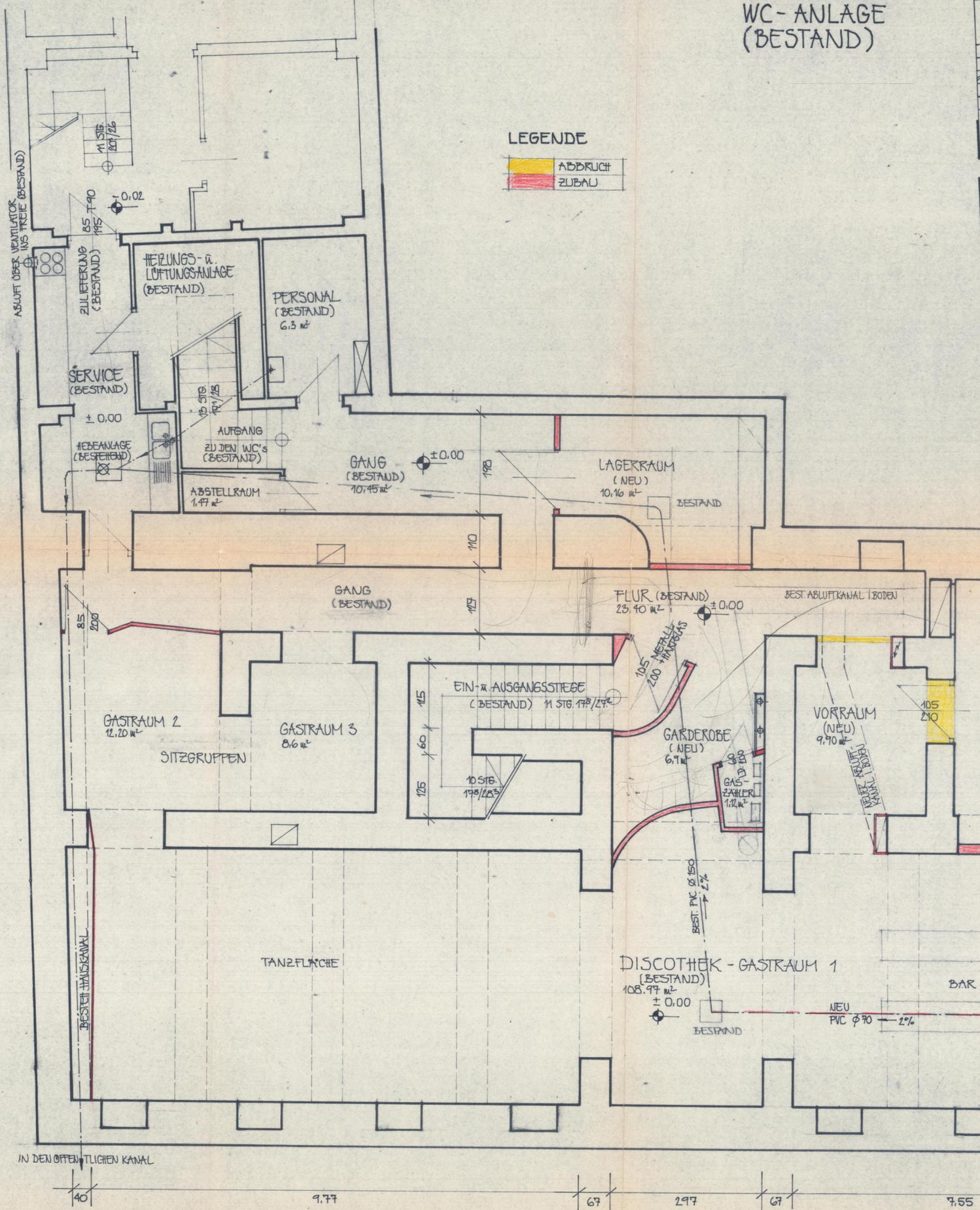
Bis zuletzt blieb der geschichtsträchtige Klub ein atmosphärischer, verwinkelter Hotspot für alternative Jugendszenen, ein Ort für Langaufgebliebene und ein Lokal, an dem ausgelassene Partys gefeiert wurden.

Im Nebengebäude gründete Irmgard Simecek 1980 im Erdgeschoß die Ballettschule Irm, die seitdem Bestand hat.



Abb.47. Einreichplan für den Umbau des Push 'N Pull, 1980. Planverfasser: Josef Fekonja

GRUNDRISS
WC-ANLAGE
(BESTAND)



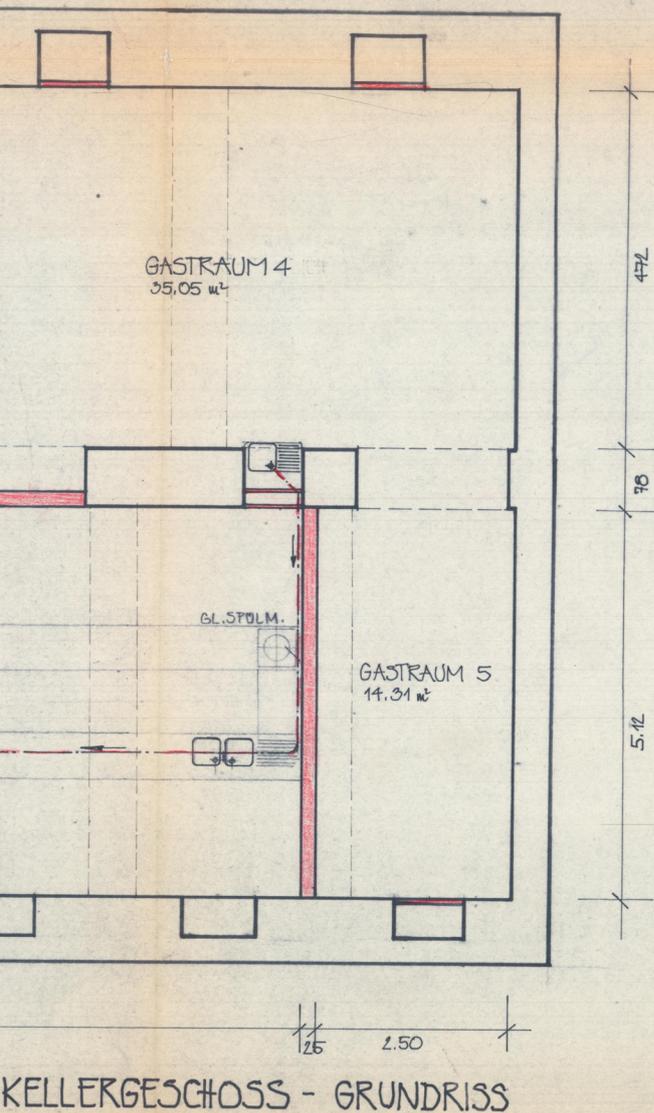
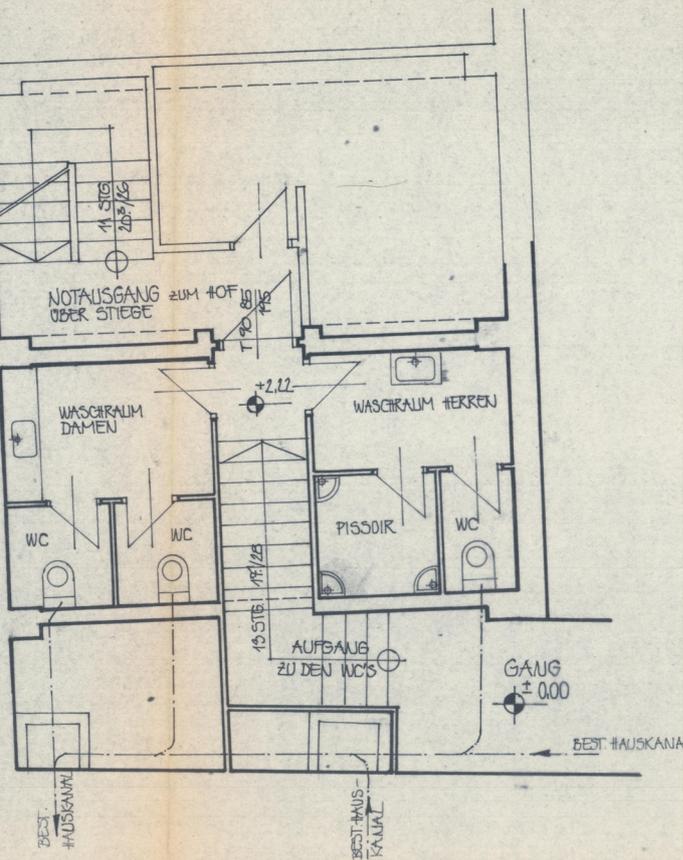


Abb. 48. „SKA“ - Logo mit stilisiertem Gewölbebogen

Im Rahmen des Umbaus 1980/81 wurden mitunter kleinere Umbauten zur Raumaufteilung und eine Erweiterung des Belüftungssystems umgesetzt, aber auch eine neue Schwellensituation im Erschließungsbereich aus Schallschutzgründen geschaffen.

Die Einreichpläne von 1980, gez. „Stadtbau- und Zimmermeister“ Josef Fekonja zeigen auf, dass bei den Bauarbeiten 1972/73 der eingereichte Plan nicht ganz exakt umgesetzt worden war. Anstatt des geplanten Unterzuges mit einzelner Säule inmitten der Tanzfläche im südlichen Teil der Halle wurden beispielsweise drei einzelne Mauerdurchbrüche durch die dicke Bestandswand ausgeführt.

Das Untergeschoß der Fabrikationshalle blieb zwischen 1980 und 1987 weitestgehend ungenutzt. Der Betrieb der Diskothek wurde danach in das Nebengebäude erweitert und die große Halle als Veranstaltungsraum für Livekonzerte erschlossen. Zu diesem Zweck wurde eine 1m hohe Bühne am westlichen Ende gemauert und mit Schutt verfüllt, sowie ein Innenausbau mit Holzstaffeln und Gipskartonplatten an Decken und Wänden ausgeführt, die nicht dokumentiert wurden und im feuchtigkeitsbelaften Kellerklima bald in schlechtem Zustand waren.



Abb.49. Bau der Fluchttreppe, 2000. Foto: unbek. / Michael Lindner



Abb.50. Fertige Fluchttreppe mit Eingang zur Ballettschule, 2006

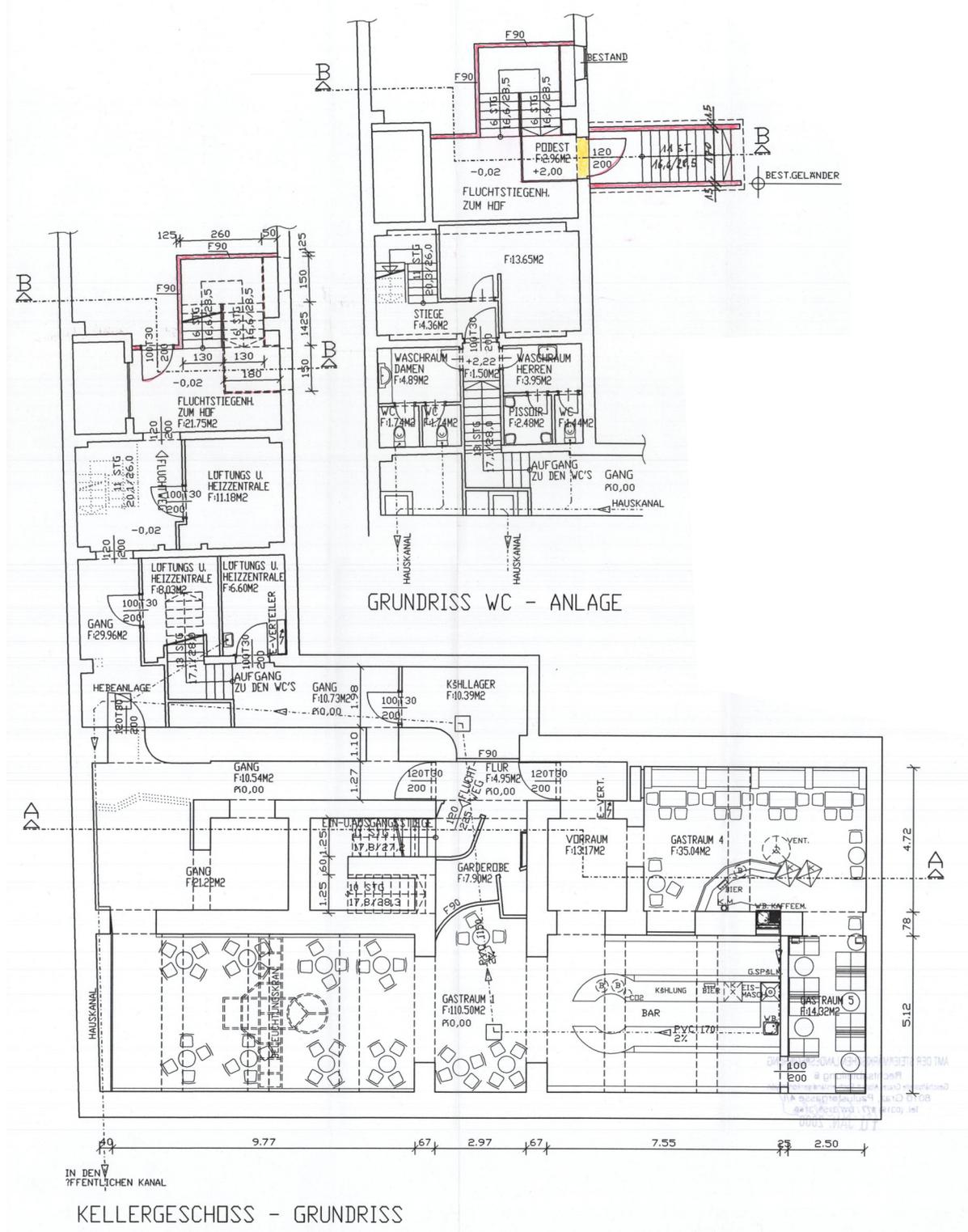
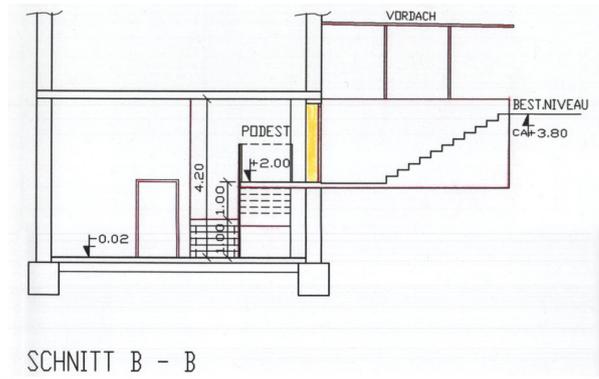
Im Jahr 1999 wurde im Nebengebäude eine Fluchttreppe samt Treppenhaus in den Innenhof geplant, die 2000 - anders als in den Einreichplänen, die der Baubehörde vorliegen - parallel zum Gebäude und ohne das geplante Vordach errichtet wurde.

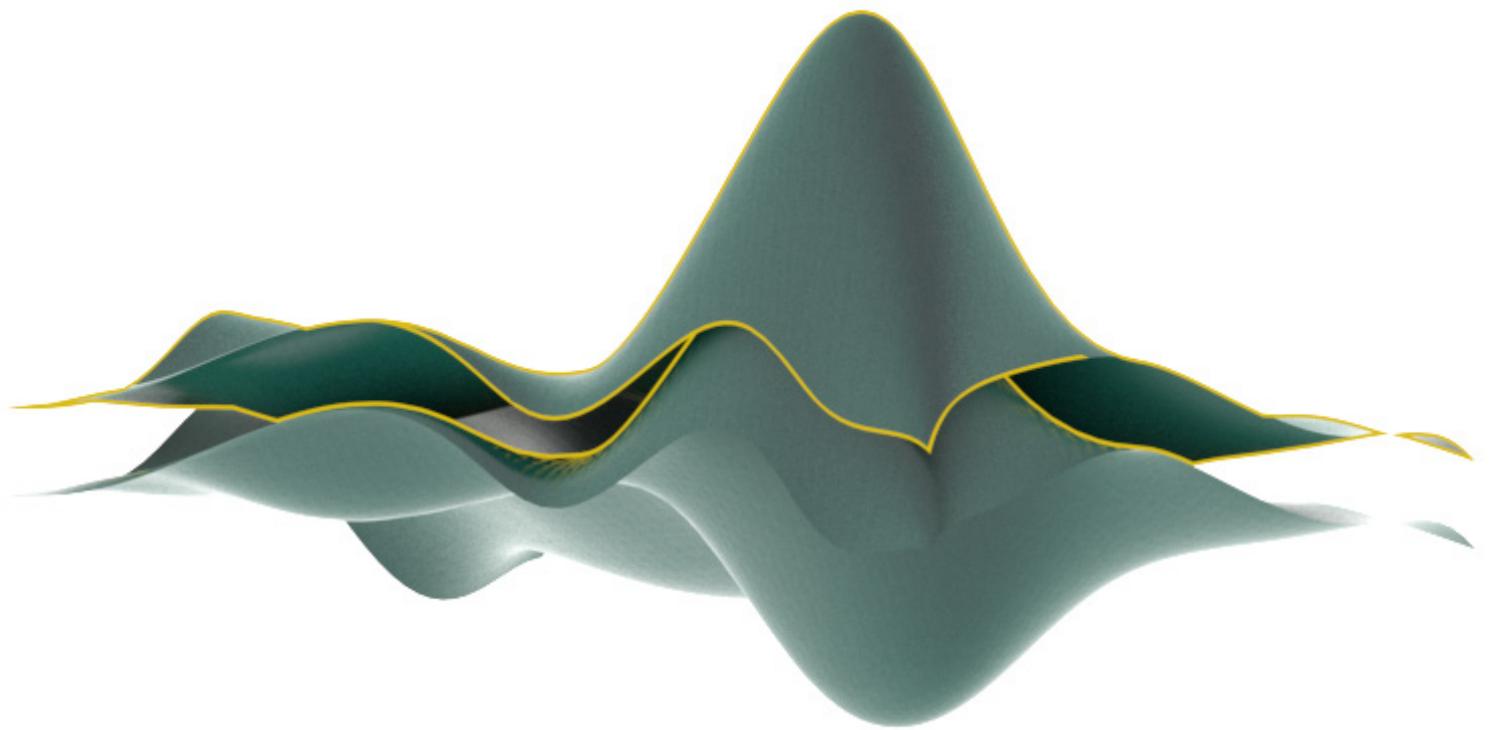
Auch zwischen den Einreichplänen von 1980 und 1999 gibt es Diskrepanzen. Mehrere bauliche Neuerungen sind ohne Dokumentation in den späteren Plänen als Bestand gekennzeichnet, Ergänzungen wie die gemauerte Bühne im Nebengebäude sind gar nicht verzeichnet.



Abb.51. Fluchttreppe mit Vordach in Zimmermannbauweise, 2020

Abb.52. Einreichpläne 1999, Errichtung einer Fluchttreppe. Pläne: Ingenieurbüro Gerhard Bachlechner.





Schall & Akustik

BEGRIFFE | KENNGRÖSSEN | METHODEN

Abb.53. Schallfeld - künstlerische Interpretation Gerald Mörth

EXPOSITION

Zwischensatz



„*D*em Hauptsatz folgt eine meist modulierende Überleitung (auch ‚Zwischensatz‘ genannt) als Verbindung zum Seitensatz.

Sie besteht häufig aus einer motivischen Fortführung des ersten Themas oder, vor allem in den Werken der Früh- und Wiener Klassik, oft aus eher athematischen, motorisch-figurativen Floskeln.^[15]

15 <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonatensatzform>,
12.04.2020.

Schall

Schall ist eine Schwingung in einem Medium (Gas / Flüssigkeit / Festkörper)^[16], hervorgerufen durch ein Schallereignis. Schall pflanzt sich wellenartig fort, indem Energie zwischen Partikeln übertragen wird.^[17] Er tritt dabei in der Luft als Schwankungen von Dichte und Druck auf. In der Umgangssprache umfasst der Begriff meist nur das vom Menschen auditiv wahrnehmbare Frequenzspektrum im Bereich des Hörschalls und klammert den langwelligen Infraschall und den kurzwelligen Ultraschall / Hyperschall aus.

- Infraschall: <16 Hz
- Hörschall: 16 Hz – 20 kHz^[18]
- Ultraschall: 20 kHz – 1 GHz
- Hyperschall: >1 GHz

Die Schallwahrnehmung und -Produktion spielte in der Geschichte der Säugetiere und der anthropologischen Evolution des Homo Sapiens eine Rolle als physiologisches Werkzeug: Die Fähigkeit zu komplexer werdender Kommunikation mittels Sprache unterstützte die Entwicklung von Abstraktionsfähigkeit, den Aufbau sozialer Strukturen und letztlich die Ausbildung von Bewusstsein und Intelligenz entscheidend.^[20] Das Vermögen zur abstrahierten Kommunikation ist die Grundlage dafür, Probleme im Kollektiv und in sozialen Strukturen zu bewältigen und der entscheidende Faktor, der den Menschen als bisher einzig bekannte technologische Zivilisation ausmacht.^[21]

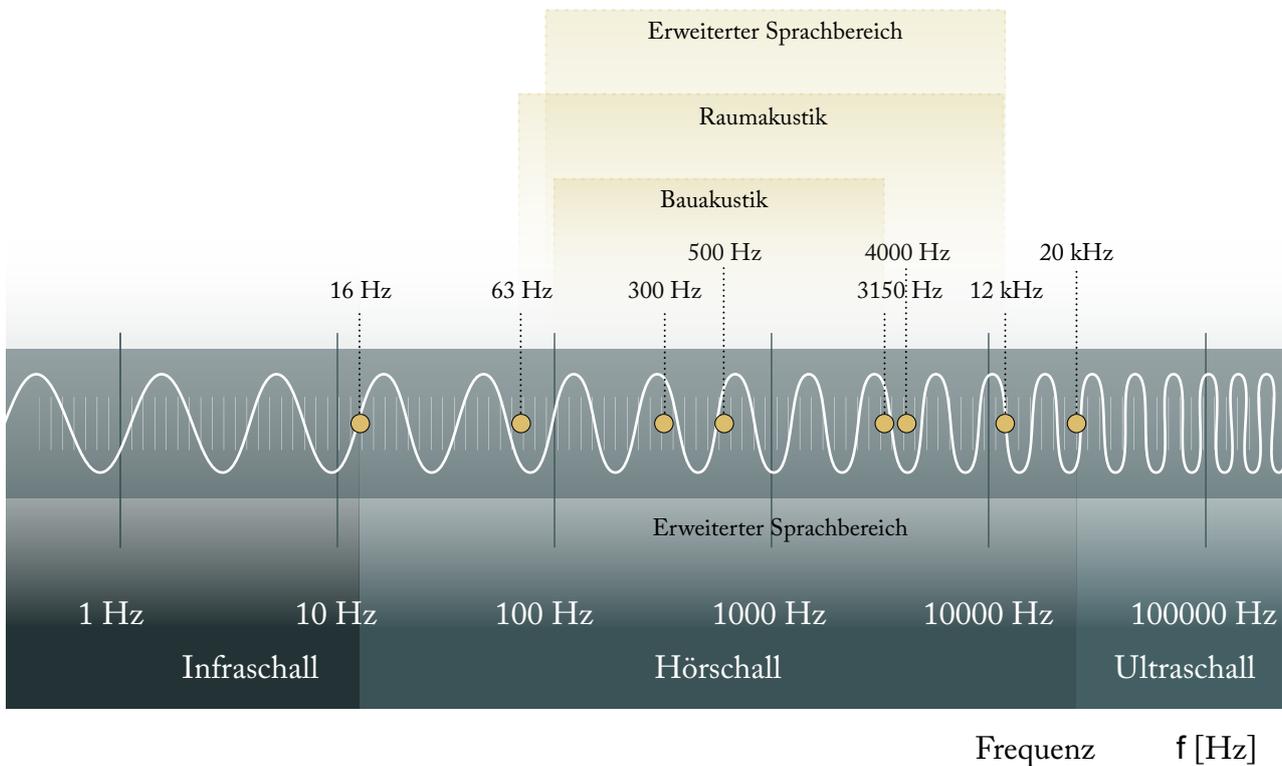


Abb.54. Frequenzspektrum

Der Mensch nimmt Schall mit dem auditiven System Ohr-Gehirn und einer Reihe anderer anatomischer Strukturen (z.B. Infraschall über Schwingungen der Bauchdecke) wahr und kommuniziert nicht nur maßgeblich mittels Schall, sondern orientiert sich auch über das Gehör im Raum.^[19]

16 Vgl. Dickreiter 1997,1.

17 Vgl. DEGA 2006, 10.

18 Vgl. Dickreiter 1997, 1.

19 Vgl. Lenarz / Boenninhaus 2012, 5.

20 Vgl. Paeger, Jürgen, Was den Menschen besonders macht. Das Gehirn und Sprache, 2006-2015, http://www.oekosystem-erde.de/html/mensch_gehirn.html, 27.02.2020.

21 Vgl. Hermann u.a. 2008, 1360 - 1366.

Schalleigenschaften & Schallwahrnehmung

Die grundlegendste Eigenschaft des Schalls im physikalischen Sinn ist der Wellencharakter, mit dem sich Schallereignisse ausbreiten. Phänomene, wie Beugung, Reflexion, Brechung etc., die man auch aus der Optik kennt, treten grundsätzlich auch in der Akustik auf.

Ebenso wie das Licht, dessen physikalische Größen über den Sehsinn nur durch die „Übersetzung“ über Empfindungsgrößen wahrgenommen werden können (Frequenz / Wellenlänge als Farbe, Amplitude als Helligkeit), ist die Wahrnehmung eines Schallereignisses ein vielfach „übersetzter“ Prozess. Dementsprechend sind die beiden wichtigsten Wahrnehmungsgrößen von Schall - Tonhöhe und Lautstärke - nicht unbedingt immer völlig ident zu ihren entsprechenden physikalischen Größen - Frequenz und Amplitude - sondern stellen physiologische Empfindungsgrößen dar, die von Person zu Person anders wahrgenommen werden können.^[22]

22 Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Weber-Fechner-Gesetz>, 22.04.2020.

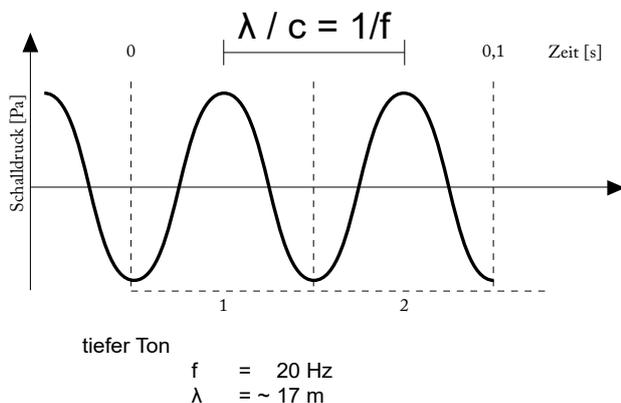
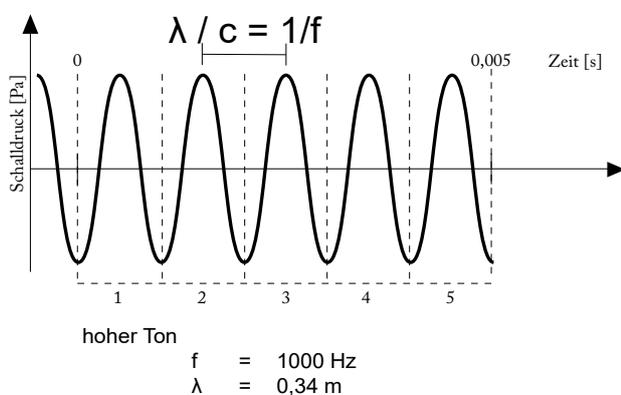


Abb.55. Frequenz

Tonhöhe - Frequenz & Wellenlänge

Die **Frequenz** f einer Schallwelle (physikalische Größe) nimmt man als „Tonhöhe“ (physiologische Größe) wahr. Änderungen in der Frequenz eines Tones empfindet man als „höher werden“ oder „tiefer werden“.

Über das Gehör kann der Mensch ein Frequenzspektrum von etwa 16 Hz – 20 kHz wahrnehmen, wobei junge Menschen i.d.R. darüber hinaus noch Frequenzen wahrnehmen können und Frequenzen darunter u.U. als Vibrationen erspürt werden können. Im Alter nimmt das Hörvermögen höherer Frequenzen beim Menschen typischerweise ab.

Die Frequenz f ist

„Die Anzahl der in der Zeiteinheit vollendeten Schwingungen der Schallwelle [...], angegeben in s^{-1} oder Hertz (Hz). Eine Schwingung pro Sekunde ist demzufolge gleich 1 Hz ($1s^{-1}$).“^[23]

Sie berechnet sich als Quotient aus **Schallgeschwindigkeit** c und **Wellenlänge** λ einer Welle^[24]:

Frequenz	f	
Wellenlänge	λ	$f = \frac{c}{\lambda}$
Schallgeschwindigkeit	c	

23 DEGA 2006, 11.

24 Vgl. Dickreiter 1997, 2 - 5.

Hohe Töne haben eine hohe Frequenz und eine kurze Wellenlänge, sie schwingen öfter. Tiefe Töne haben eine niedrige Frequenz und eine große Wellenlänge, sie schwingen seltener.

In dieser Beziehung ist die Frequenz eine wichtige Kenngröße der Bauakustik, da sie wegen der stark unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Stoffen (siehe „Schallausbreitung“) maßgeblich beeinflusst, welche Anteile von Schallsignalen sich zwischen Räumen und Gebäuden ausbreiten können.

In der praktischen Anwendung treten Schallsignale als komplexe Überlagerungen von verschiedenen Frequenzen in Form von ganzen **Frequenzbändern** auf: Im Gegensatz zu einem künstlich erzeugten Reinton (Sinuston) mit nur einer einzigen konstanten Frequenz, bilden sich die meisten natürlichen Geräusche, z.B. die menschliche Stimme, als eine zusammengesetzte Schwingungsüberlagerung aus vielen Frequenzen (Tongemisch) oder als Reihe von Teiltönen mit Grund- und Obertönen aus (Klang)^[25].

Im erweiterten Frequenzbereich der menschlichen Stimme (80 Hz bis 12 kHz) und im Hauptsprachbereich von 500 Hz – 4 kHz^[26] werden unterschiedliche Informationen in verschiedenen Frequenzen transportiert, wahrgenommen wird das Signal jedoch als Abfolge einzelner Töne. Ebenso wird ein gesungener Ton trotz der Bandbreite an Frequenzen, die ihn ausmachen als „ein Ton“ gehört.

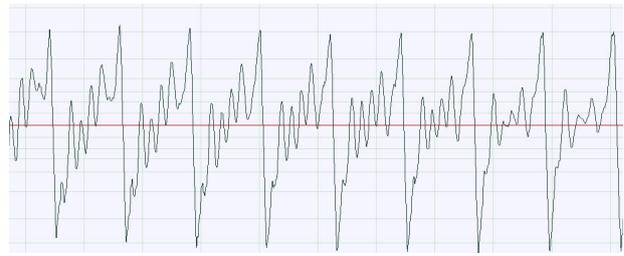


Abb.56. Männlicher Sänger: vokalisierter Ton „e“

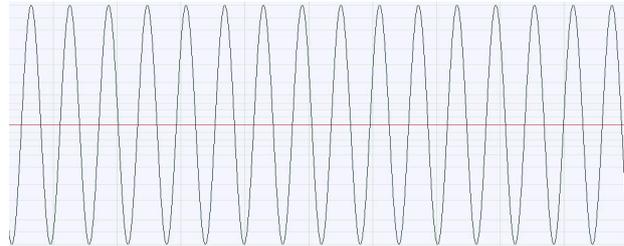


Abb.57. Reiner Sinuston, 164,814 Hz (E3)

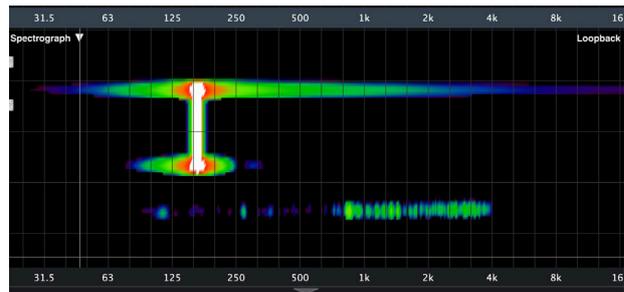


Abb.58. Frequenzspektrogramm des Sinustons (E3, bei 164,814 Hz)

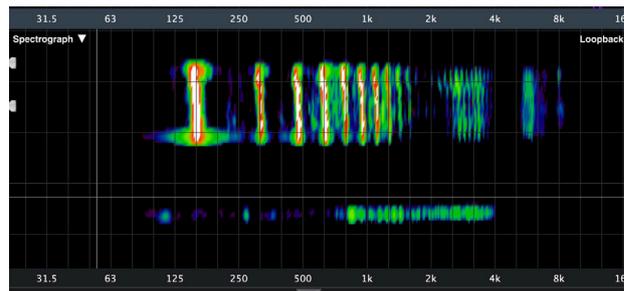


Abb.59. Frequenzspektrogramm der vokalisierten Singtons „e“

25 Vgl. Dickreiter 1997, 1.

26 Vgl. Strutz / Mann 2017, 28.

Lautstärke - Schalldruck & Schalldruckpegel

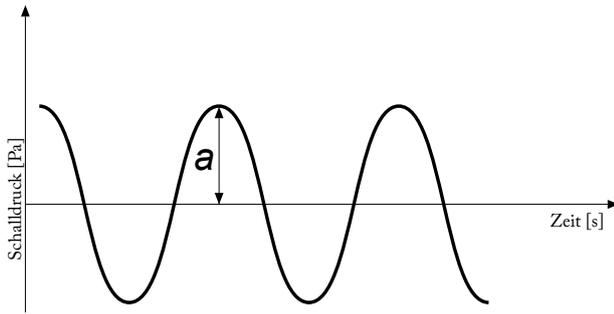


Abb.60. Amplitude

Die **Amplitude** a einer Schallwelle bemisst das Ausmaß der Druckänderung im Medium durch die Schallwelle. Dieser **Schalldruck** p bestimmt die wahrnehmbare Lautstärke eines Tones, gemessen in Pascal (Pa).^[27]

Das menschliche Gehör hat einen immensen Dynamikbereich und kann sowohl sehr leise Töne an der Hörschwelle von einer Druckdifferenz von etwa $20 \cdot 10^{-6}$ Pa, als auch extrem laute Töne an der Schmerzschwelle von etwa $20 \cdot 10^2$ Pa wahrnehmen. Der Dynamikbereich umfasst damit einen Intervall von sechs Zehnerpotenzen^[28].

In visuellen Größenverhältnissen^[29] dargestellt würde das bedeuten, dass man mit dem bloßem Auge sowohl ein Objekt von $20 \mu\text{m}$ als auch ein Objekt der Größenordnung von zwei Kilometern sehen könnte. Das entspräche in etwa beispielsweise den Größenverhältnissen eines großen weißen Blutkörperchens („Monozyt“, ca. $20 \mu\text{m}$ im Durchmesser)^[30] im Vergleich zur gesamten Wiener Altstadt (ca. 2 km im Durchmesser).

Damit das exponentielle Lautheitsempfinden überblickbar dargestellt werden kann, wird die Wellenamplitude von Schallsignalen, bzw. ihre Lautstärke deshalb i.d.R. als **Schalldruckpegel** L angegeben.

Der Schalldruckpegel berechnet sich als das 20-fache logarithmierte Verhältnis des **Schalldruckes** p zum genormten **Bezugsschalldruck** p_0 von $20 \mu\text{Pa}$ (also $2/100000$ Pascal)^[31] und wird in Dezibel [dB] angegeben^[32]:

$$L = 20 \cdot \log (p/p_0) \text{ dB}$$

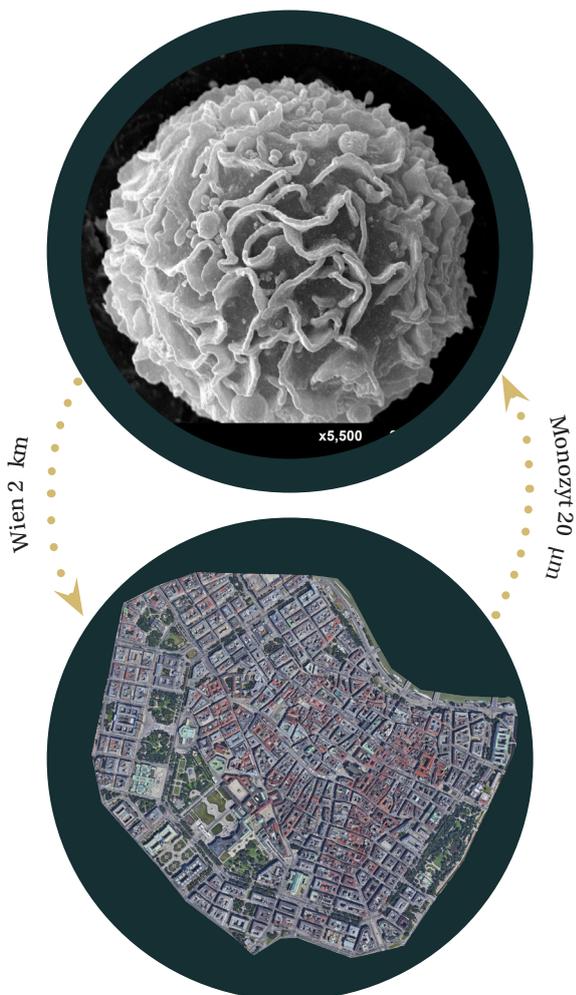


Abb.61. Vergleich des Dynamikbereiches des menschlichen Gehörs mit visuellem Größenverhältnis

27 Vgl. ebda, 21.

28 Vgl. ebda, 21f.

29 Vgl. <https://scaleofuniverse.com/>, 03.04.2020.

30 Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Monozyt>, 26.04.2020.

31 Vgl. Dickreiter 1997, 8f.

32 Vgl. Dickreiter 1997, 8f.

Diese logarithmische Skala bildet „linear“ ab, wie laut ein Schallereignis im Vergleich zum geringsten wahrnehmbaren Schalldruck p_0 ist. Sie entspricht in diesem mathematischen Verhältnis relativ genau der Eigenheit des menschlichen Gehörs, niedrige Schalldruckpegel gezielter zu unterscheiden, während Schalldruckunterschiede bei höherem Pegel weniger genau unterschieden werden können^[33].

Auf der visuell linearen Dezibelskala können Schalldruckpegel zwischen 0 dB und 194 dB dargestellt werden^[34]. Der Bezugsschalldruck p_0 von 20 μPa entspricht dabei bei 1Khz etwa der unteren Hörschwelle von 0 dB, 60 dB etwa einer normalen Unterhaltung und 120 dB – 140 dB der Schmerzgrenze^[35].

Der Maximalwert von 194 dB stellt die größtmögliche unverzerrte Druckschwankung einer Schallwelle in der Erdatmosphäre dar^[36].

Auf der logarithmischen Skala entspricht eine Erhöhung des Schalldruckpegels um 10 dB in etwa einer Verdopplung des Lautheitsempfindens.^[37]

Eine wichtige Eigenschaft des menschlichen Gehörs ist, dass sich der wahrgenommene **Lautstärkepegel** L_N eines Tones (gemessen in Phon) bei gleichbleibendem Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Frequenz verändert. So wirken tiefe Töne (<125 Hz) zunächst leise, steigen dann mit der Frequenz bis ca. 4 kHz in ihrer wahrgenommenen Lautheit an und erscheinen dann wieder zunehmend leiser.^[38]

Dieser Umstand ist in der Tonstudioteknik und der Gestaltung von Musik- und Klangbildern höchst relevant und erleichtert in der Bauakustik mitunter die Schallisierung etwas, da die schwer einzudämmenden tiefen Frequenzen auch schlechter wahrgenommen werden können.

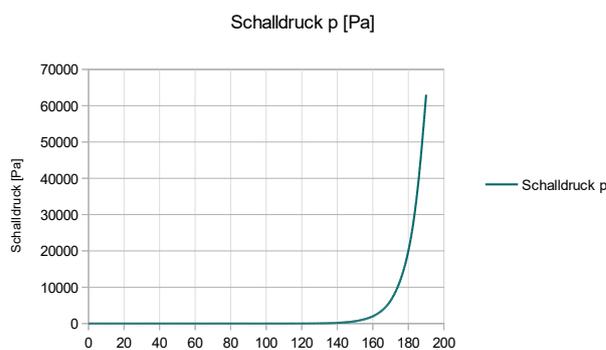


Abb.62. Schalldruck in einer Darstellung als exponentielle Kurve auf einer linearen y-Achse gegenüber dem Schalldruckpegel auf der x-Achse. Die exponentiellen Schalldruckwerte lassen keine Differenzierung zu und sind quasi nicht ablesbar.

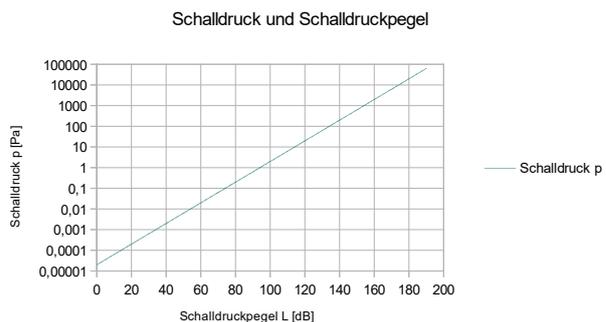


Abb.63. Die selben Werte in der logarithmischen Skala auf der y-Achse sind auf der dB-Skala als gut lesbare Linearfunktion abgebildet.

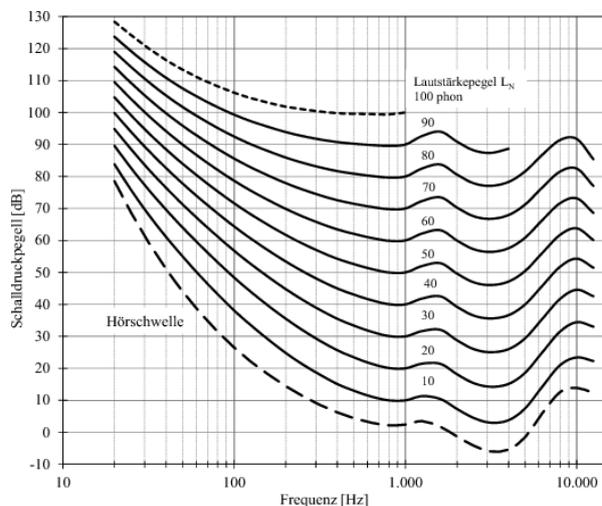


Abb.64. Hörschwelle und Kurven gleicher Lautstärkepegel für Sinustöne im freien Schallfeld nach Dickreiter 1997, 111.

33 <https://www.hansaton.at/blog/gehoerschutz/laustaerke-und-dezibel/>, 29.02.2020.

34 <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/laerm-und-vibrationen/frequenzen-schalldruck-und-lautstaerken/>, 29.02.2020.

35 Vgl. ebda, 13.

36 Vgl. BGBAU, 29.02.2020.

37 Vgl. Strutz / Mann 2017, 22.

38 Vgl. Dickreiter 1997, 110-113.

Schallausbreitung

Schall breitet sich in unterschiedlichen Medien unterschiedlich schnell aus. Schallwellen bewegen sich mit einer vom Medium und seiner Temperatur abhängigen, konstanten **Schallgeschwindigkeit** c . Bei 20°C beträgt die Schallgeschwindigkeit eines Reintons von 1 kHz^[39]:

- in der Luft 343 m/s
- in der Flüssigkeit Wasser 1484 m/s
- im Festkörper Eisen 5170 m/s.

Dabei überträgt sich Schall auch zwischen verschiedenen Medien. Diese Eigenschaft macht sich in der Bauakustik als **Körperschall** (Trittschall) bemerkbar:

Schallereignisse, beispielsweise in Form von Hammerschlägen auf einem Betonboden, treten aufgrund der hohen Geschwindigkeiten des Schalls in festen Medien beinahe zeitgleich und quasi unvermindert laut in angrenzenden Wohnungen auf, da das in Schwingung versetzte Medium (Beton) die eingebrachte Energie in Form einer Abstrahlung wieder an das Medium Luft abgeben kann.^[40]

Innerhalb eines Raumes baut sich aus einem Schallereignis ein **Schallfeld** auf, in dem sich die Schallwelle(n) über das Medium (meist Luft) ausbreitet und ggf. mit Hindernissen, wie Wänden, Decke und Einrichtung interagiert.^[41]

Gemäß ihrem Wellencharakter interagiert die Schallwelle mit Hindernissen ähnlicher Größenordnung in ihrer Umgebung und kann ihre Schwingungsenergie in Zusammenstößen zwischen den bewegten (Luft-)Teilchen übertragen und über das Medium ausbreiten.^[42]

39 Vgl. Lide 2018, E-47.

40 Vgl. DEGA 2006, 11.

41 Vgl. Dickreiter 1997, 2.

42 Vgl. Dickreiter 1997, 2f.

Geometrische Interaktion

Geometrisch verhält sich eine Schallwelle wie eine elektromagnetische Welle und kann folgendermaßen mit Hindernissen, sogenannten **Trennflächen**, interagieren:

Reflexion:

Die Energie der Welle wird ganz oder teilweise reflektiert, wenn das Hindernis groß gegenüber der Wellenlänge ist und ebene Flächen besitzt.^[43]

Streuung:

Die Energie einer Welle wird gestreut, wenn das Hindernis klein oder unregelmäßig geformt ist.^[44]

Beugung (Diffraktion):

Die Energie einer Welle wird auf einem ungeradlinigen Weg in den abgeschatteten Bereich hinter das Hindernis übertragen.^[45]

Brechung (Refraktion):

Die Energie einer Welle wird gebrochen, wenn sich beim Auftreffen auf ein anderes Medium die Schallgeschwindigkeit ändert.^[46]

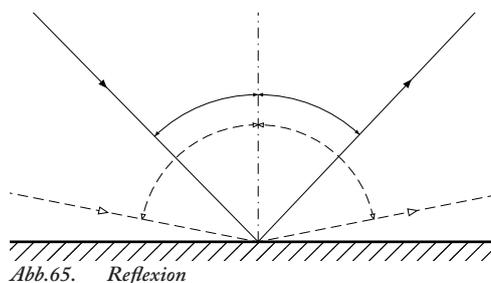


Abb.65. Reflexion

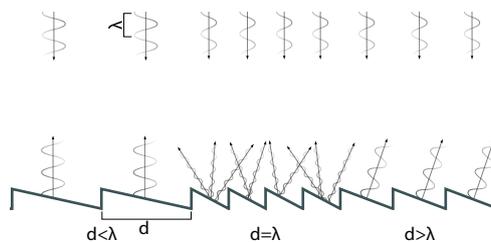


Abb.66. Streuung

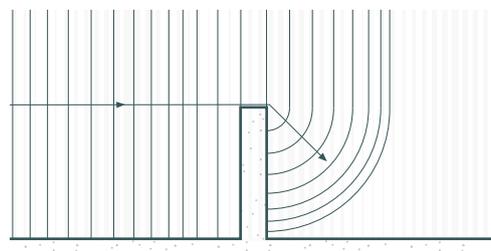


Abb.67. Beugung

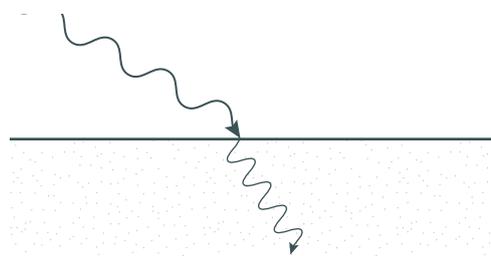


Abb.68. Refraktion

43 Vgl. DEGA 2006, 38.

44 Vgl. DEGA 2006, 38.

45 Vgl. DEGA 2006, 38.

46 Vgl. DEGA 2006, 38.

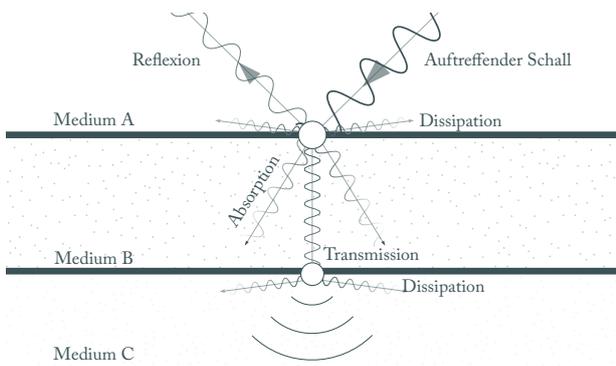


Abb.69. Energetische Interaktionen

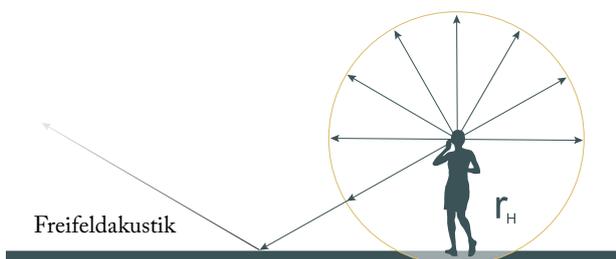


Abb.70. Hallradius - Schallfeld - Freifeldakustik

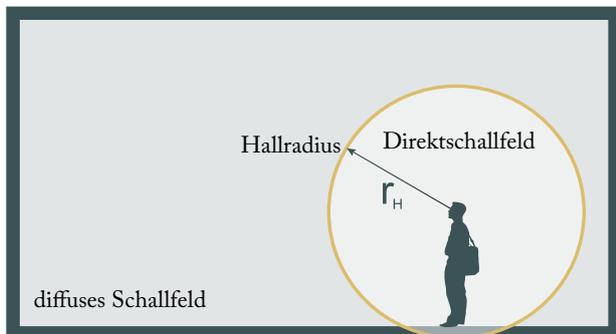


Abb.71. Schallfelder: Direktschallfeld und diffuses Schallfeld

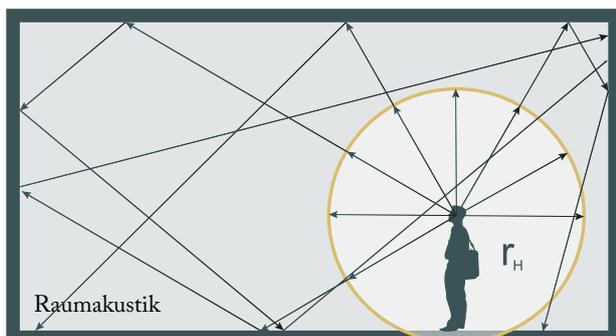


Abb.72. Hallradius - Schallfeld: diffuses Schallfeld

Energetische Interaktion

Beim Auftreffen auf ein Hindernis überträgt die Schallwelle in vier verschiedenen Vorgängen ihre Energie:

Reflexion

ein Teil der einfallenden Schallenergie wird reflektiert;^[47]

Absorption

der nicht reflektierte Anteil der einfallenden Schallenergie wird absorbiert;^[48]

Dissipation

ein Teil der absorbierten Schallenergie wird an bzw. hinter der Trennfläche [...] in Wärmeenergie umgewandelt;^[49]

Transmission

der nicht dissipierte Anteil der absorbierten Energie [...] geht durch die Trennfläche (bzw. das Hindernis, das Bauteil), auch über seitliche Umwege, hindurch und wird in das dahinter liegende Fluid abgestrahlt bzw. in angekoppelte Bauteile weitergeleitet.^[50]

Schallfeld

Ein **Schallfeld** entsteht, wenn sich eine Schallwelle in einem Medium ausbreitet und es zum Mitschwingen anregt, z.B. die Luft in einem Raum. Es beschreibt im Wesentlichen das Verhalten der Schallwellen in dreidimensionalen Räumen.

Die beiden wichtigsten Arten von Schallfeldern sind das **freie Schallfeld** und das **diffuse Schallfeld**.

Im **freien Schallfeld** können sich Schallwellen ohne Hindernisse ausbreiten und erreichen Zuhörende direkt, weshalb es auch **Direktschallfeld** genannt wird. Das **diffuse Schallfeld** entsteht, wenn die Schallwellen mit Objekten und Oberflächen interagieren. Das diffuse Schallfeld ist gewissermaßen eine statistische Überlagerung mehrerer freier Schallfelder und idealerweise ist die Schallenergie auch homogen verteilt.^[51] Hörende nehmen nahe der Schallquelle das Direktfeld innerhalb des sogenannten **Hallradius** r_H an dem die Schallpegel beider Felder gleich sind, als dominant wahr.^[52]

47 DEGA 2006, 38.

48 DEGA 2006, 38.

49 DEGA 2006, 38.

50 DEGA 2006, 38.

51 Vgl. Dickreiter 1997, 2.

52 Vgl. Dickreiter 1997, 36.

Akustik

Die Akustik ist die Wissenschaft des Schalls und seiner Ausbreitung. Sie befasst sich fächerübergreifend mit allen Feldern, die mit Schall im weiteren Sinn zu tun haben und reicht von der Physik (Entstehung, Ausbreitung von Schall) über die Medizin und die Psychologie (Wahrnehmung von Schall) bis in die Musik (Instrumente, Sprache/Gesang) und streift dabei als wichtiges Werkzeug auch sehr alltägliche Anwendungen, wie Lärmschutz, Tonstudioteknik (Mikrofone, Lautsprecher) und das Bauwesen.

Schon in der Theorie ist die mathematische Definition und Berechnung von Schallausbreitung überaus komplex: Berechnungen der Schallausbreitung und Energieübertragung von Reintönen (mit nur einer konstanten Frequenz) in vollständig bekannten und geschlossenen physikalischen Systemen streifen schnell die Mechanik, Thermodynamik, Fluidodynamik und andere rechenintensive Felder der Physik, da Schall sich nicht nur in unterschiedlichen Medien unterschiedlich verhält, sondern auch kleine Details in der Raumgeometrie und der Zusammensetzung der Umgebung Berechnungen erschweren.

Die Berechnung von Schallausbreitung in Bauakustik und Raumakustik unterliegt zwar auch außerhalb der Theorie den selben Prinzipien und ist eine exakte Wissenschaft, trotzdem bedient man sich in der Praxis aber i.d.R. heuristischer Ansätze und behilft sich mit Erfahrungswerten und Kompromissen: Schall tritt unter realen Bedingungen meist in einem großen Frequenzspektrum und einer ungleich höheren Dichte an sich überlagernden Schallwellen zeitgleich auf. Die Systeme, in denen er sich ausbreitet, und deren Grenzen sind aufgrund der vielschichtigen Möglichkeiten der Energieübertragung zwischen den einzelnen Systemen oft nicht ganz eindeutig definierbar und viel zu oft fehlen verlässliche Messungen von exakter Geometrie und Materialeigenschaften der Umgebung.

Um mit diesen komplexen Umständen verlässliche Ergebnisse zu erzielen, bedient man sich in der Anwendung gut berechneter, vereinfachter Methoden und Zwischenmessungen.

Bauakustik

Im Kontext der Bauakustik wird die Übertragung von Schallenergie zwischen Schallfeldern bearbeitet, dh. im Rahmen der bauphysikalischen Planung versucht, Luft- und Körperschallübertragung zu vermindern und effektiven Lärmschutz zu erzeugen.

Schallisolierung

Die Schallisolierung ist eine Methode zur Hemmung der Schallübertragung zwischen Bauteilen und Kernaufgabe der Bauakustik. Sie bedient sich der Ausbreitungseigenschaften des Schalls in seinem Wellencharakter.^[53]

Das Ausmaß der Schallenergie, die über Bauteile (z.B. zwischen Wohneinheiten in einem Mehrparteienhaus) übertragen wird, misst man über alle Frequenzen in Dezibel. In der Bauakustik begrenzen sich die Messungen meist auf den Frequenzbereich zwischen 100 Hz – 3150 Hz, der einen Querschnitt aus der Hörempfindlichkeit des Menschen und den Lautstärkeanteilen üblicher Störgeräusche darstellt. Das erweiterte Frequenzspektrum von 50 Hz – 5000 Hz kommt bei speziellen Anwendungen, wie z.B. Tonstudios zur Anwendung.^[54]

53 Vgl. Newell 2012, 37-83.

54 Vgl. Knauf 2019, 7.

Kenngrößen

Die Fähigkeit eines Bauteils, auftreffenden Schall zum nächsten Raum zu dämmen, wird mit dem **Luftschalldämm-Maß R** angegeben. Es kommt im Bauwesen vor allem bei Herstellerangaben als **bewertetes Schalldämmmaß R_w** (Bauteil ohne angrenzende Bauteile) und als **Nachweis nach Fertigstellung durch eine Messung als bewertetes Bau-Schalldämmmaß R'_w** (Bauteil mit flankierenden Bauteilen, in eingebautem Zustand) zur Anwendung.^[55]

Frequenz f	Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Schalldämm-Maß R	dB	39,0	42,9	50,9	54,4	59,5	64,3	68,1	69,0	69,7	70,6	73,4	75,5	76,6	76,3	71,0	65,5
Bezugskurve	dB	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
Verschobene Bezugskurve N_1	dB	48,4	51,4	54,4	57,4	60,4	63,4	66,4	67,4	68,4	69,4	70,4	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4
Abweichungen $N_1 - R$	dB	9,4	8,5	3,5	3,0	0,9	-0,9	-1,7	-1,6	-1,3	-1,2	-3,0	-4,1	-5,2	-4,9	0,4	5,9

Abb.73. Schalldämmmaß gegen Bezugskurve zwischen 100 - 3150 Hz nach Knauf. Der R_w Wert bei 500 Hz beträgt 67,4 dB.

Diese Werte sind vereinfachte Einzahlangaben und beschreiben ein frequenzunabhängiges Schalldämmmaß, also eine normierte Durchrechnung^[56] des gemessenen Schalldämmvermögens gegen eine festgelegte Bezugskurve in einer einzigen Zahl.

Weiterführende Angaben sind über die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} möglich, die in je einem weiteren Wert in Dezibel Aufschluss über das Dämmverhalten gegen nieder- und hochfrequenten Schall bieten.^[57] Der R_w (C , C_{tr})-Wert eines Zweischeiben-Isolierglasproduktes ist z.B. etwa mit „50 (-2, -8)“ angegeben.^[58]

Der Gipskartonhersteller Knauf verweist zur praktischen Anwendung dieser Werte auf die Verlässlichkeit der R_w und R'_w -Werte in Bezug auf die Luftschalldämmung:

Durch zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen und Studien sowie der Möglichkeit subjektiver Hörtests in den hauseigenen Prüfständen hat sich herausgestellt, dass die Bewertungsgröße R_w und R'_w das subjektive Empfinden bei der Anregung von Wohnungstrennwänden mittels wohnüblicher Geräusche sehr gut wiedergibt [...], da bei Leichtbaukonstruktionen die Frequenzen 50 und 63 Hz den Einzahlwert dominieren und die für übliche Geräuschquellen notwendige Schalldämmung im Frequenzbereich ab ca. 200 Hz kaum noch relevant ist.

Für wirklich effektiven Schallschutz muss immer das gesamte wahrnehmbare Frequenzspektrum beachtet werden.

Faktoren der Schallisolierung

Schallisolierung kann im Wesentlichen über vier Faktoren verbessert werden, die in der Praxis oft in Mischsystemen umgesetzt werden.

Masse

Aufgrund der Massenträgheit benötigt es mehr Energie, um eine größere Masse zu bewegen bzw. in Schwingung zu versetzen. Größere Masse bedingt deshalb zunächst einen höheren Reflexionsgrad und damit geringere Transmission in angrenzende Bauteile, also bessere Schallisolierung zur Umgebung.

In Abhängigkeit der Frequenz der auftreffenden Schallwellen (und anderer Materialeigenschaften) können aber auch große Massen, etwa eine Betondecke, zum Schwingen animiert werden.

Hohe Frequenzen sind aufgrund der tendenziell tiefen Eigenfrequenzen von Systemen mit schwereren Massen sehr einfach über Reflexion zu isolieren, während Frequenzen rund um die Eigenfrequenz des Systems diese zum Schwingen bringen (Resonanz erzeugen) und Frequenzen unter der Eigenfrequenz dazu neigen, Energie durch Transmission durch das Hindernis hindurch zu übertragen.

Biegesteifigkeit / Elastizität

Die Steifigkeit ist eine mechanische Materialeigenschaft, die den Widerstand gegen elastische Verformung beschreibt. Im Rahmen der Bauakustik werden Materialien mit unterschiedlicher Steifigkeit / Elastizität oft gemeinsam angewendet, um die gute Reflexionsfähigkeit steiferer Materialien mit dem besseren Absorptionsvermögen elastischerer Materialien, z.B. Sylomere, zu verbinden.

55 Vgl. Knauf 2019, 7 - 10.

56 Berechnung im Verfahren lt. DIN EN ISO 717-1:2013-06.

57 Vgl. Knauf 2019, 7 - 10.

58 Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Schalld%C3%A4mmma%C3%9F>,

[16.01.2020].

Dämpfung

Schwingungsfähigen Materialien kann durch Dämpfung Energie entzogen werden, indem z.B. Schallenergie durch innere Reibung in thermische Energie umgewandelt wird (z.B.: Plastilin auf einer Glocke).^[59] In der Praxis der Bauakustik findet das Phänomen Dämpfung z.B. bei Trittschalldämmung Anwendung und kommt in Form entkoppelter, sogenannter „schwimmender“ Konstruktionen und federnder Systeme für Spezialanwendungen zum Tragen.

Distanz

Auch Distanz zum Schallereignis beeinflusst den Grad der Isolierung maßgeblich. Zwischen benachbarten Einfamilienhäusern unterliegt der Schallschutz so z.B. erheblich erleichternden Bedingungen, verglichen mit benachbarten Wohnungen im selben Gebäude. Da sich Schallenergie u.a. an Luftpartikel überträgt und deshalb der Schalldruck mit der Distanz zum Schallereignis abnimmt, ist die Distanzoption eine gute (wenngleich auch nicht bei jeder Bauaufgabe umsetzbare) Option.^[60]

Feder-Masse-Prinzip:

Eine praktische Anwendung der oben genannten Faktoren sind mehrschichtige Bauteile nach dem Feder-Masse-Prinzip, die sich in vieler Hinsicht gegenüber einschaligen Bauteilen vorteilhaft verhalten. In diesen Systemen widersteht die Massenträgheit der massiven Schale und die Elastizität der biegeweichen Schale der Schwingungsanregung durch auftreffenden Schall. In Kombination dieser unterschiedlichen Eigenschaften kann ein Masse-Feder-Masse-Bauteil die auftreffende Energie des Schalls effektiv in kinetische und thermische Energie umwandeln und Schall isolieren:

Energie, die vom massiven Teil der Konstruktion nicht reflektiert wird, versetzt diese in Schwingung und bewegt sie in Relation zur Feder. Das federnde, elastischere Teil der Konstruktion absorbiert die Schwingungsenergie, wandelt sie in thermische und kinetische Energie um und dehnt sich aufgrund der Federkraft in seinem Volumen wieder in den Ursprungszustand aus.

Dabei gilt vereinfacht^[61]:

- ① Sperrholz
- ② Holzfaserhartplatten
- ③ Holzfaserdämmplatten
- ④ Aluminium, Stahl, Glas
- ⑤ Gipsplatten
- ⑥ Silentboard
- ⑦ Holzspanplatten
- ⑧ Faserzementplatten
- ⑨ Porenbeton
- ⑩ Kalksandstein
- ⑪ Beton

59 Vgl. Newell 2012, 38f.

60 Vgl. Newell 2012, 37f.

61 Vgl. Knauf 2109, 14f.

- Masse, Dichte und Dicke des Bauteils sowie der Abstand zwischen den Schalen verbessern die Schalldämmung und senken die Eigenfrequenz des Bauteils.
- Je niedriger die Eigenfrequenz des Bauteils ist, desto besser dämmt das Bauteil gegen schwer zu kontrollierende Frequenzen am unteren Ende des wahrnehmbaren Spektrums.
- Im Bereich der Eigenfrequenz des Bauteils verhält sich die mehrschalige Konstruktion wie ein Massivbauteil

Klassische Beispiele sind z.B. Trockenbauwände, die Entkopplung von Gleiskörpern in der Bahntechnik und schwimmend verlegte Böden im Bauwesen.

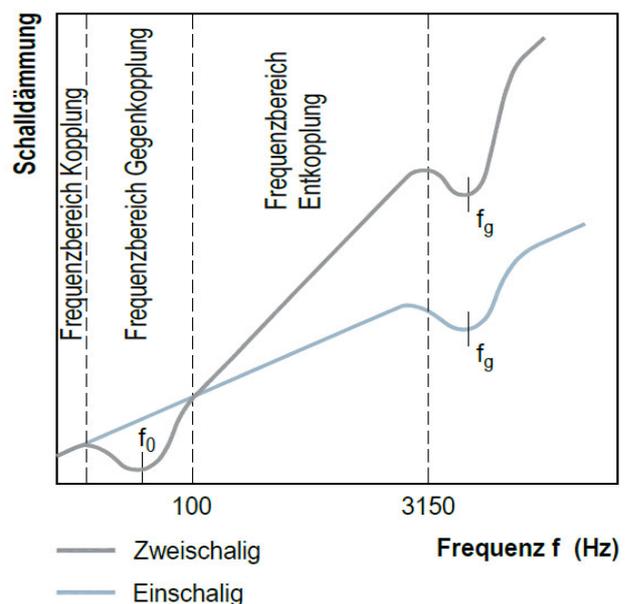


Abb. 74. Qualitativer Verlauf der Schalldämmung einschaliger und zweischaliger Bauteile nach Knauf

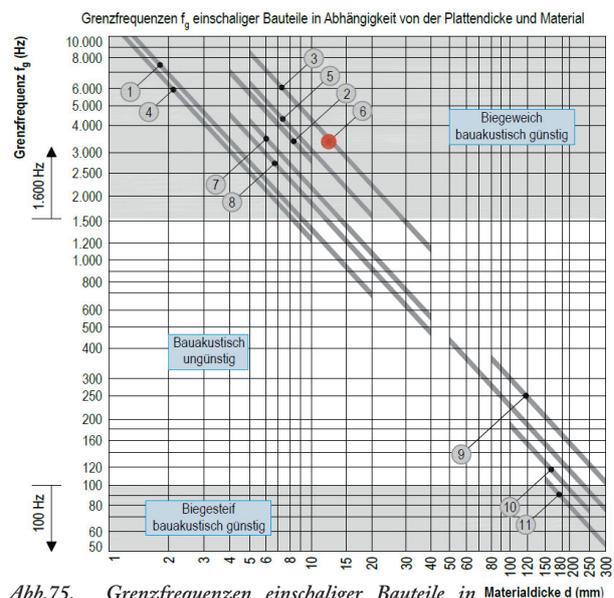


Abb. 75. Grenzfrequenzen einschaliger Bauteile in Abhängigkeit von Plattendicke und Material nach Knauf

Raumakustik

Die Raumakustik setzt sich mit dem Verhalten des Schalls innerhalb von Schallfeldern auseinander^[62] und bewegt sich zwischen Vermessung und Analyse von Schallausbreitung im Raum und der Planung von akustischen Umgebungen: Die Gestaltung der Wahrnehmungsqualität von Schallereignissen durch NutzerInnen^[63] ist zentrales Thema dieser Wissenschaft.

Maßnahmen und Konzepte variieren dementsprechend mit der geplanten Anwendung stark. Im Anschluss an die Erläuterung der wesentlichsten Begriffe und Kenngrößen finden sich beispielhaft drei verschiedene Fälle, die sich in ihren Anforderungen und der Ausgestaltung stark unterscheiden.

Werkzeuge & Faktoren^[64]

In der Raumakustik versucht man, den jeweiligen Schalldarbietungen in einem Raum die optimale Verständlichkeit und räumliche Charakteristik zu verschaffen, indem mit verschiedenen Werkzeugen das Verhalten des Schalls gesteuert wird.

Dabei müssen sowohl Schallquelle (z.B. eine SchauspielerIn) als auch Schallempfänger (z.B. Zuhörende in einem Theatersaal) bei der Gestaltung der Übertragung über den „Zwischen-Raum“ zwischen Sender und Empfänger berücksichtigt werden.

Der erste wichtige Faktor ist die **Schallquelle und ihr Abstrahlungsverhalten**. Unter Rücksichtnahme auf die Natur der Schallquelle (Sprache oder Gesang, akustische Instrumente oder elektro-akustisch verstärkte Musikgruppen) - also deren akustische Eigenschaften, wie zu erwartendes Frequenzspektrum, Schalldruckpegel, etc. - bestimmt sich die Qualität des Raumes zunächst einmal primär über das Vermögen der Schallquelle, die Empfängerseite **möglichst natürlich** zu erreichen.

Der nächste Faktor in der Optimierung der Schallwahrnehmung ist deshalb der **Direktschall**, der ungehindert zwischen Sender und Empfänger durch die Luft transportiert wird. Die Versorgung mit Direktschall ist die primäre Größe, die die Verständlichkeit der Schalldarbietung ausmacht.^[65]

Da sich Schall sich i.d.R. in alle Richtungen zeitgleich ausbreitet und ein diffuses Schallfeld aufbaut, erreichen Zuhörende an verschiedenen Orten innerhalb des Raumes zunächst direkte Schallsignale, und dann Reflexionen von Seitenwänden, Boden und Decke. Die sogenannte **erste Reflexion** ist der nächste einflussreiche Faktor der Wahrnehmungsqualität. Ihre Verzögerung zum Direktschall und die wahrnehmbare Stärke der ersten Reflexion beeinflussen maßgeblich, wie groß man den Raum wahrnimmt und wie verständlich die Darbietung ist. Die ersten Reflexionen werden deshalb gezielt auf Hörende geleitet.^[66] Trifft die erste Reflexion sehr spät ein, wird sie als Wiederholung des Schallereignisses bzw. als Echo wahrgenommen und stört i.d.R. die Schalldarbietung.^[67]

Je nach Art der Darbietung ist die Verzögerung der ersten Reflexion maßgebend für die Hörsamkeit der Schallquelle. Als weitere auftreffende Schallenergie erhöht jede Reflexion die Lautstärke des Direktschalls, trägt aber nur zur Deutlichkeit bei, wenn sie innerhalb von 50 ms auf den Schallempfänger eintrifft. Die Reflexionen, die zwischen 20 ms und 50 ms nach dem Schallereignis auftreten, bestimmen die empfundene Raumgröße.

Alle weiteren Reflexionen, die Zuhörende von der Schallquelle über den Raum erreichen, werden (in Abstufungen auch als zweite, dritte, etc. Reflexion) als **diffuses Schallfeld** des Raumes behandelt und beeinflussen weiterhin die Verständlichkeit der Schalldarbietung und den klanglichen Charakter des Raumes (siehe Fallbeispiele u.). Das diffuse Schallfeld wird unter dem **Oberbegriff „Hall“** als Charakteristikum eines Raumes behandelt.^[68]

Die **Gestaltung des diffusen Schallfeldes, der Nachhallzeit und ihrer Frequenzabhängigkeit** ist damit in dieser Ausführung der abschließende Faktor, der die Klangcharakteristik von Räumen beeinflusst.

62 Vgl. Dickreiter 1997, 25.

63 Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Raumakustik>, 27.02.2020.

64 Vgl. Dickreiter 1997, 25f.

65 Vgl. Dickreiter 1997, 28f.

66 Vgl. Dickreiter 1997, 29.

67 Vgl. Dickreiter 1997, 28.

68 Vgl. Dickreiter 1997, 30.

Begriffe

Hörsamkeit

ist das Maß der allgemeinen akustischen Eignung eines Raumes für die vorgesehene Art der Schalldarbietung, z.B. Sprachhörsamkeit, Musikhörsamkeit.^[69]

Durchsichtigkeit & Wortverständlichkeit

sind subjektive Maße für die Klarheit einer Schalldarbietung in einem Raum. Die Durchsichtigkeit setzt sich aus der **Registerdurchsichtigkeit**, also der Unterscheidbarkeit von Tonhöhenbereichen (z.B. unterschiedlicher Instrumentengruppen oder SprecherInnen) und der **Zeitdurchsichtigkeit**, also der Unterscheidbarkeit gleichzeitiger und aufeinanderfolgender Schallereignisse, zusammen. Bei Musikdarbietungen spricht man von Durchsichtigkeit, bei Sprachdarbietungen von Wortverständlichkeit. Beide hängen davon ab, wie sich das messbare Schallfeld zeitlich ausbreitet und sind mehrheitlich über die frequenzabhängige erste Reflexion und den Umgang mit späteren Reflexionen bestimmt.^[70] Die Durchsichtigkeit als Qualitätsmerkmal kann mithilfe von Messungen der sich ausbreitenden Reflexionen in Reflektogrammen dargestellt und analytisch objektiviert werden.

Raumeindruck

Der **Raumeindruck** ist ein mehrkomponentiger Sammelbegriff für eine Reihe von Hörempfindungen, nach Dickreiter:

1. die *Empfindung im gleichen Raum wie die Schallquelle zu sein, nicht – wie z.B. bei Stereowiedergabe – durch ein Fenster in den Aufnahmerraum hineinzuhören,*
2. die *Empfindung von der Größe – insbesondere Breite und Tiefe – des Raums,*
3. die *Empfindung der Halligkeit, d.h. Der Tatsache, daß außer dem Direktschall Diffussschall vorhanden ist, der nicht als Wiederholung des Direktschalls wahrgenommen wird,*
4. die *Empfindung der Räumlichkeit, d.h. Die Wahrnehmung, daß der Raum eine größere Ausdehnung als die Schallquelle besitzt.*^[71]

69 Vgl. Dickreiter 1997, 27.
70 Vgl. Dickreiter 1997, 27.
71 Dickreiter 1997, 27f

Hall, Nachhall und Nachhallzeiten

Hall als Oberbegriff ist der gesamte diffuse Schall in einem Raum. Wird eine Schallquelle in einem Raum plötzlich eingeschaltet, so baut sich das diffuse Schallfeld erst danach als Anhall auf, es begleitet dann das Schallereignis als Mithall und klingt nach Abschalten der Schallquelle als Nachhall ab.^[72]

Die **Nachhallzeit** T_{60} bei 500 Hz oder 1 kHz ist eine bekannte Kenngröße der Raumakustik und gibt Aufschluss über das generelle Verhalten von Schall in einem Raum. Gemessen in Sekunden wird die Zeit, innerhalb welcher der Schalldruckpegel im Raum nach plötzlichem Abdrehen eines Schallereignisses um 60 dB abnimmt. Vereinfacht gilt die Sabine'sche Formel^[73]:

$$\begin{array}{ll} \text{Nachhallzeit [s]} & T \\ \text{Raumvolumen [m}^3\text{]} & V \\ \text{Äquivalente Absorptionsfläche [m}^2\text{]} & A \end{array}$$

$$T = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$$

Da Raumvolumen und Oberflächenbeschaffenheit (Absorptionsflächen) direkt mit der Nachhallzeit zusammenhängen, gibt die Nachhallzeit ein relativ gutes Bild eines Raumes in einer einzigen Zahl ab.

Sie ist ein gutes Maß für die erste Beurteilung von Hörsamkeit, Durchsichtigkeit und Raumeindruck sowie ganz allgemein eine Eignung für akustische Darbietungen und gibt Aufschluss über den klanglichen Charakter des Raumes.

Raum	optimale Nachhallzeit [s]
Tonregie allgemein	0,3 - 0,4
Sprecherstudio	0,3
Hörspielstudio	0,6
großes Fernsehstudio	0,8
Vortragssaal	0,7 - 1,2
Opernhaus	1,5
Konzertsaal, großer Liveraum	2,0
Kirchen	2,5 - 3,0

Richtwerte für optimale Nachhallzeiten^[74]

72 Dickreiter 1997, 30.
73 Vgl. Dickreiter 1997, 31f.
74 Dickreiter 1997, 35.

Der Nachhall ist frequenzabhängig und weicht i.d.R. über das ganze Frequenzband von der Angabe bei 1 kHz ab. Dieser Umstand ist natürlich und verursacht eine klangliche „Färbung“ des diffusen Schallanteiles, der nach dem Direktschall auf Hörende eintrifft.^[75] Da die Oberfläche quadratisch, aber Volumen kubisch steigt, haben große Räume automatisch längere Nachhallzeiten.

Die Nachhallzeiten unterschiedlicher Frequenzbereiche beeinflussen den Charakter des Raumklanges:

Zu lange Nachhallzeiten tiefer Frequenzen lassen einen Raum dumpf und brummig, zu kurze unnatürlich dünn und körperlos klingen. Zu lange Nachhallzeiten von mittigen Frequenzen geben dem Raum eine „warme“ Färbung. Ein Abfall der Nachhallzeit von Höhen ist natürlich, da höhere Frequenzen mit kleiner Wellenlänge bereits an rauen Oberflächen und auch in der Luft absorbiert werden. Sehr kurze Nachhallzeiten in hohen Frequenzen lassen einen Raum trocken klingen.^[76]

Neben der Berechnung sind Messungen der Nachhallzeit T_{60} und der Impulsantwort eines Raumes die wichtigsten Methoden zur Ermittlung.



Abb.76. Diffusor in einem Tonstudio. Foto: unbekannt

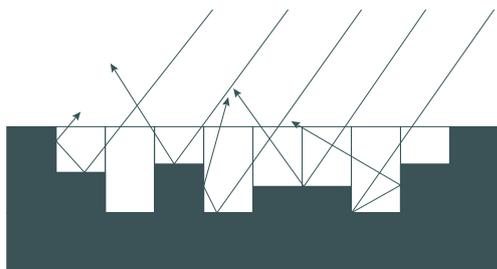


Abb.77. Prinzipskizze Diffusor

75 Vgl. Dickreiter 1997, 34 - 36.

76 Vgl. Dickreiter 1997, 34 - 36.

Methoden

Aus der Berechnungsformel für die Nachhallzeit T ergibt sich, dass Volumen und Oberfläche eines Raumes die primär maßgeblichen Faktoren für den Klang in einem Raum sind. Um frequenzabhängig die Nachhallzeit zu beeinflussen stehen bei der Akustikplanung einige Methoden zur Verfügung, um den Raumcharakter weiter zu optimieren.

Diffusoren

Diffusoren helfen dabei, Reflexionen über ein bestimmtes Frequenzband zu zerstreuen und damit Direktschall hervorzuheben. Sie kommen zum Einsatz, wenn Reflexionen im Raum das Nahfeld störend überlagern und kommen in Form von strukturierten Oberflächen mit Tiefenversatz zur Anwendung. Je tiefer Diffusoren gebaut werden, umso tiefere Frequenzen streuen sie und können so mit recht einfachen Berechnungsmethoden sehr effektive Verbesserungen des Raumklanges erzeugen.^[77]

Eine bereits sehr alte Variante des Breitbanddiffusors ist die Kassettendecke, die aufgrund ihrer in sich verschachtelten Formate ein großes Spektrum an Frequenzen streuen kann - großflächige Kassetten streuen lange Basswellen, die immer kleiner werdenden Iterationen korrespondieren mit der höher werdenden Frequenz und streuen Mitten und Höhen, sodass ein homogenes Diffusschallfeld entstehen kann. In Tonregionen kommen Diffusoren oft an der Rückwand zum Einsatz, um das direkte Zurückstrahlen von Lautsprechersignalen von hinten zum Abhörplatz zu hemmen.

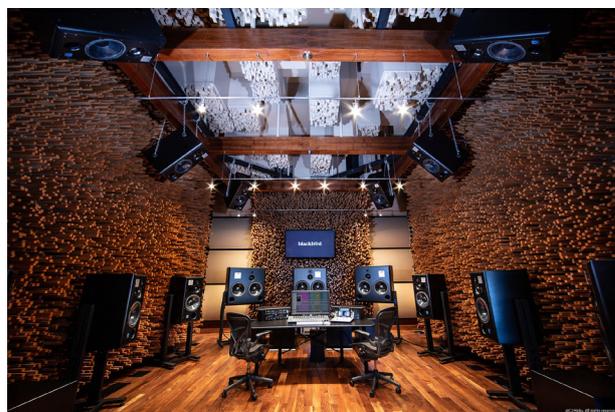


Abb.78. Diffusoren im Studioraum C der Blackbird Studios, USA

77 Vgl. Friesecke 2007, 177 - 188.

Absorber

Absorber schlucken Schall über ihre Materialeigenschaften, indem sie dem Schall Energie entziehen. Es gibt sowohl **Resonanzabsorber** aus biegeweichen Materialien, die durch Mitschwingen gleichfrequenten Gegenschall erzeugen und gezielt schmalbandige Frequenzprobleme lösen können als auch **Breitbandabsorber**, die aus porösen Materialien bestehen und in Abhängigkeit der Materialstärke ein breites Frequenzband absorbieren können.

Poröse Absorber

Poröse Absorber funktionieren aufgrund des Strömungswiderstandes des Materials, das die Schwingung von eingeschlossener Luft im Material hemmt. In Abhängigkeit der Materialstärke absorbieren poröse Absorber ab einer Grenzfrequenz Schallenergie, jedoch immer auch Frequenzen darüber mit zunehmendem Absorptionsgrad. Sie werden deshalb auch **Breitbandabsorber** genannt. Breitbandabsorber für Bässe, sogenannte Bassfallen, können deshalb mit leichten Folien verhängt werden, die höhere Frequenzen reflektieren und Höhen eher erhalten.

Mittensabsorber funktionieren nach dem selben Prinzip, jedoch mit geringeren Aufbaustärken. Einfache Modelle können in Form von hölzernen Rahmen mit eingelegtem porösem Material und einer Überspannung mit luftdurchlässigem Textil erzeugt werden.



Abb.80. t.akustik Spektrum A20 Absorber, Wirksamkeitsbereich von 250 Hz - 4 kHz

Resonanzabsorber

Resonanzabsorber funktionieren nach dem Feder-Masse-Prinzip und entziehen dem Schall Energie durch ihr Mitschwingen. Resonanzabsorber funktionieren in einem spezifischen Frequenzbereich um die Eigenfrequenz des Systemes, werden im Wesentlichen also gegengleich zu Bauteilen, die zur Schallisolation vorgesehen sind, entworfen, um mitzuschwingen.

Resonanzabsorber kommen als Platten-, Loch- und Schlitzplattenschwinger ausgeführt, vor allem in Räumen zur Sprachwiedergabe zum Einsatz, um im unteren Hauptsprachbereich von ca. 80 Hz - 500 Hz Nachhallzeiten zu verkürzen und ein Dröhnen von Stimmen zu hemmen. Baulich werden sie als Kassetten (= Masse) mit schwingenden Deckplatten (= Feder) hergestellt und für eine Verbreiterung der absorbierbaren Frequenzen mit porösem Material gefüllt. Löcher und Schlitze erlauben ein genaueres Einstellen der zu absorbierenden Frequenzen.^[78]



Abb.79. Delamar Schlitzplattenschwinger

Eine Variation des Lochplattenschwingers, mit der auch gezielt tiefe Frequenzen gehemmt werden können, ist der **Helmholtzresonator**, der durch eine massivere Platte mit einer oder mehreren Tunnelbohrungen über ein großes Luftvolumen (Größenordnung min.: 0,1 m³ - 0,5 m³) einen tieffrequenten Gegenschall erzeugt.^[79]

Reflektoren

Reflektoren kommen zum Einsatz, um Direktschall - besonders in höheren Frequenzen - in großen Räumen zu steuern und z.B. die Sprachhörbarkeit auf Publikumsplätzen zu verbessern. Die Raumbegrenzung und ihre Geometrie sind gewissermaßen die „erste Ebene“ von Reflektoren. In Form von Deckenspiegeln und Wandpaneelen, die über ihre Größe und Oberfläche ausgewählte Frequenzen leiten, werden frühe Reflexionen gesteuert.

78 Vgl. Friesecke 2007, 153 - 174.

79 Vgl. Friesecke 2007, 163 - 172.

Abb.82. Auditorium Max Weber Building der Universität Nanterre, Frankreich, Atelier Pascal Gontiere



Abb.81. Hörsaal der TU Graz in der Inffeldgasse mit angewinkelten Reflektorplatten an der Decke

Fallbeispiele

Vortragsraum

Wichtigstes Kriterium für diese Anwendung ist die Sprach-, bzw. Silbenverständlichkeit auf allen Plätzen. Man spricht von einem direkten Klangbild bzw. guter Sprachhörbarkeit, umgangssprachlich auch von einer trockenen Akustik: Eine gleichmäßige Ausbeute von Direktschall für alle Zuhörenden und prägnante erste Reflexionen der Schallquelle verstärken die Hörbarkeit. Die Absorption und Streuung von späteren, diffusen Reflexionen (bzw. kurze Nachhallzeiten $< 50\text{ms}$) sind erwünscht. Über die Anordnung der Sitzplätze (z.B. Amphitheater), gerichtete Oberflächen und Raumgeometrie oder spezielle Maßnahmen, wie freihängende Reflektorplatten, kann die erste Reflexion eingestellt werden. Absorbierende Oberflächen (z.B. Polster für leerstehende Sitzplätze) und Akustikdecken helfen, spätere Reflexionen, die als störend wahrgenommen würden, abzumindern.^[80]



Abb.83. Der Münchner Gasteig mit „misslungener“ Akustik. Leonard Bernstein kommentierte den Klang mit „Burn it!“ Foto: München.de

Darbietungsraum Musik

Anforderungen an Räume für Musikdarbietung hängen zwar im Detail stark vom aufgeführten Musikgenre ab, im Allgemeinen soll Musik jedoch meistens möglichst natürlich klingen. Man spricht von guter Musikhörbarkeit bei großer Durchsichtigkeit bzw. umgangssprachlich von „lebhafter“ Akustik.

Eine gute Versorgung mit Direktschall und die kontrollierte Leitung der ersten Reflexionen in das Publikum sind wichtig für die Musikhörbarkeit. Ein kontrolliertes Diffusschallbild, also ein gezielter Umgang mit allen Reflexionen, die danach noch auf das Publikum eintreffen, unterstützt die Natürlichkeit des Hörumfeldes. Diffusoren helfen dabei, Schallenergie innerhalb des Raumes durch Streuung gleichmäßiger zu verteilen (gleichmäßige Hallenergiedichte).

Im Gegensatz zu einem Vortragssaal wird das Diffusschallfeld für Musikdarbietungsräume nicht unterdrückt, sondern gezielt als qualitativer räumlicher Eindruck gebraucht. Streukörper im Raum (z.B. Säulen, strukturierte Oberflächen, etc.) unterstützen die Homogenität des diffusen Schallfeldes. Dabei verstärken besonders seitlich einfallende Reflexionen das Raumempfinden und wirken z.B. bei Solodarbietungen einer „spitzen“, „punkt-

förmigen“ Wahrnehmung der Schallquelle entgegen. Angewinkelte Reflektorplatten an den seitlichen Wänden sind gängige Maßnahmen, um die Hörbreite und Raumwahrnehmung zu verstärken.

Wegen der erwünschten lebhafteren Akustik müssen höhere Frequenzen gezielt über reflektive Oberflächen erhalten werden, da sie vermehrt an Personen im Publikum, rauen Oberflächen, etc. diffus gestreut werden und der Raum dumpf klingen würde.

Ein beliebtes Material ist deshalb immer noch das teilreflektive Holz, das eine natürliche und lebhaft Akustik unterstützen kann.

Um die Nachhallzeiten mit unterschiedlichen Publikumssituationen nicht übermäßig zu beeinflussen, werden Polstersitze verwendet, die auch leer ein ähnliches Absorptionsverhalten wie eine darauf sitzende Person aufweisen. Zusätzlich sollte die Situation auf der Bühne, z.B. über kontrollierte Deckenreflexionen, für eine gute Verständigung der Musizierenden untereinander gesondert bearbeitet werden.^[81]

81 Vgl. Dickreiter 1997,

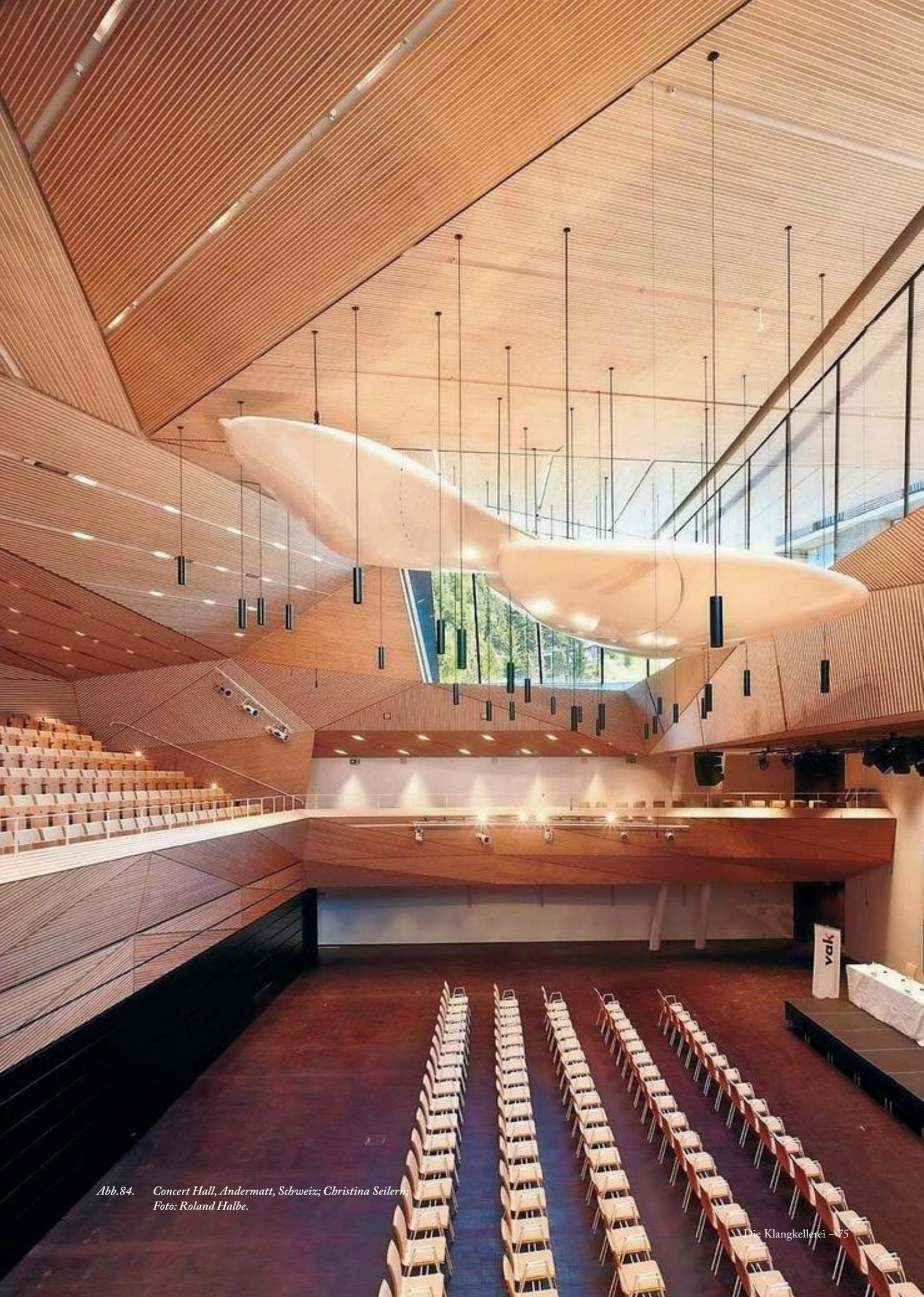


Abb. 84. Concert Hall, Andermatt, Schweiz; Christina Seilern;
Foto: Roland Halbe.



Theorie des Tonstudios

ANFORDERUNGEN | STRATEGIEN | REFERENZEN

Abb.85. Tonregie Studio A, Capitol Studios, Hollywood, USA. Foto: Capitol Studios

EXPOSITION

Seitensatz

„*Der Seitensatz, der das zweite Thema enthält, steht in einer anderen Tonart als der Hauptsatz. In der Reprise erscheint das Seitenthema meist in derselben Tonart wie das Hauptthema. Das Seitenthema bildet oft einen Kontrast zum Hauptthema und hat typischerweise einen lyrischeren Charakter als dieses.*

Das Spannungsverhältnis von Haupt- und Seitensatz ist ein wesentliches Merkmal der Sonatensatzform. Es drückt sich immer in der tonalen Spannung zwischen den verschiedenen Tonarten beider Teile aus. Oft besteht darüber hinaus zwischen erstem und zweitem Thema ein charakterlicher Kontrast. In solchen Fällen spricht man vom Themendualismus.^[82]



Abb.86. Aufnahmezimmer Studio B, Capitol Studios, Hollywood, U.S.A. Foto: Capitol Studios

Baufaufgabe Tonstudio

Ein Tonstudio ist eine Einrichtung, in der mit Schallereignissen gearbeitet wird. In Tonstudios entstehen klassischerweise Tonaufnahmen von Musik, Sprache und Klängen für CD-Produktionen, Kino, Fernsehen und Radio - und viele weitere Medien^[83] im weitesten Sinn daher grundsätzlich alle klanglichen Produkte, die mit dem menschlichen Gehör konsumiert werden können. Neben der Aufzeichnung von Schallereignissen umfasst der Arbeitsbereich eines Tonstudios - je nach betrieblicher Ausrichtung - meist auch die detaillierte Nachbearbeitung der Aufzeichnungen und die Aufbereitung einer finalen Version der Aufnahmen, das sogenannte Masterband, das als Ausgangspunkt für z.B. eine Vervielfältigung auf CD-R Verwendung findet. Als erstes Glied in der Wertschöpfungskette der Musikindustrie fungiert das Tonstudio damit als Produktionsstätte, aber auch als Ausgangspunkt der künstlerischen Vorbereitung von Tonaufnahmen. Es stellt die Schnittstelle zwischen der kreativen Idee und einer konkreten Umsetzung dar und

fungiert damit quasi als Katalysator des Hörbaren.

Traditionell besteht ein Tonstudio im Kern aus zumindest zwei funktionalen Einheiten, die auf einem „Sender - Empfängerprinzip“ beruhen und sich meist als zwei gesonderte Räume manifestieren:

Dem Kontrollraum, auch Regie genannt, und dem Aufnahme- oder Liveraum. Während im Liveraum die Ausführenden (MusikerInnen, SprecherInnen, etc.) die gewünschten Schallereignisse entstehen lassen, die mittels Mikrofonen aufgezeichnet werden, wird im Regieraum der gesamte Prozess der Tonaufnahmen betreut und die Schallereignisse verarbeitet. In der Tonregie werden die aufgezeichneten Schallereignisse während der Aufnahmen überprüft und danach die Audiosignale geschnitten, gemischt und für die weitere Verwendung aufbereitet.

Je nach betrieblicher Spezialisierung und kommerzieller Ausrichtung kann es besondere Räume geben, beispielsweise für die spezielle Vertonung von Filmmaterial (Sprachsynchrisation), Aufnahmearbeiten mit großen Personengruppen oder die Wiedergabe und Gestaltung von räumlichem Klang (5.1 - Surroundsound).

Weitere Räumlichkeiten umfassen allgemeine Bereiche, wie Sanitäreinrichtungen, Aufenthaltsräume für KundInnen und Personal sowie Technik-, Lager- und Verwaltungsräume.

83

Vgl.: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tonstudio>, 19.01.2020.



Anforderungen an Tonstudios

Philip Newell fasst die Anforderungen an die Gestaltung eines Tonstudios zusammen:

- *„Die Möglichkeit, während des geplanten Zeitraumes zu arbeiten (in vielen Fällen 24 Stunden pro Tag), ohne jemanden in der näheren Umgebung zu stören oder gestört zu werden.*
- *Das Studio sollte Musizierende ohne Verzögerungen oder Beeinträchtigungen der musikalischen Performance aufnehmen können.*
- *Studios sollten bei allen an Aufnahmen beteiligten Personen Vertrauen erwecken.*
- *Die erreichbare Aufnahmequalität sollte nicht durch Unzulänglichkeiten des Studiodesigns oder Infrastruktur limitiert werden. Ein bescheidenes Studio mit optimaler Leistungsfähigkeit mag wohl ein besseres Studio übertreffen, das mangelhaft konzipiert oder ausgeführt wurde.*
- *Das Studio sollte stets eine adäquate Versorgung von sauberer Frischluft in einer temperatur- und feuchtigkeitsgeregelten Umgebung bereitstellen.“^[84]*

Diese recht allgemeinen Anforderungen treffen auch auf andere Bauaufgaben zu. Ihnen kommt jedoch aufgrund der betrieblich bedingten und weitgehend unvermeidbaren hohen Schalldruckpegel in einem Tonstudio eine große Bedeutung zu, die als zentrales Thema der Planungsaufgabe in beinahe jedem Aspekt der Planungen berücksichtigt werden muss.

Die erste und wesentlichste Grundvoraussetzung für einwandfreie Tonaufnahmen ist eine gelungene Bauakustik und daher der Schallschutz entgegen der Umgebung. Es gilt in diesem Zusammenhang sowohl Schallübertragung von außen in den Raum zu verhindern (z.B. Verkehrslärm, Wetter, Musik aus Nebenräumen), als auch Geräusche aus dem Raum nach außen zu reduzieren (Belästigung der Nachbarn). Die exakten Anforderungen an die Schallisolierung sind u.a. in den sechs Schallschutzklassen der ÖNORM B 8115 (A-E) und der OiB-Richtlinie 5 „Schallschutz“ geregelt und betreffen den Schallschutz von Anrainern.

Effektiv meist höhere Anforderungen an den Schallschutz ergeben sich bei professioneller Anwendung aber vor allem aus dem dringenden Erfordernis, einen möglichst großen Dynamikbereich aufnehmen und abspielen

zu können: Nicht nur laute Schallereignisse, wie das Spielen eines Schlagzeuges (ca. 110 dB Schalldruckpegel) sollten über längere Zeiträume erzeugbar sein ohne jemanden zu stören, auch sehr leise Geräusche müssen verlässlich aufgenommen und abgehört werden können. Dabei können bereits die Eigengeräusche eines Raumes (z.B. Ventilation, PC-Festplatten, Wasser in Heizungsrohren, etc.) eine Aufnahme völlig unbrauchbar machen, denn die empfindlichen Mikrofone, die bei der Aufnahme sehr leiser Schallereignisse zur Anwendung kommen, können auch Geräusche aufzeichnen, die unter der menschlichen Hörschwelle oder außerhalb des hörbaren Frequenzspektrums liegen, sich aber in der Nachbearbeitung des Audiosignales stören. Der optimale Pegel der Eigengeräusche der Räumlichkeiten liegt bei unter 20 dBA, Pegel bis 25 dBA gelten als akzeptabel.^[85]

Eine weitere zentrale Anforderung an Räumlichkeiten, in denen Ton aufgenommen oder verarbeitet werden soll, ist die Raumakustik. Besonders bei guter bauakustischer Ausgangslage, also in „gut schallisolierten“ Räumen und Gebäuden, stellt sich die Planung der Raumakustik oft als Herausforderung dar. Die zunächst einmal sehr erwünschte Schallisolierung bringt mit sich, dass aufgrund der gehemmten Schallübertragung zwischen innen und außen auch ein wesentlich höherer Anteil der erzeugten Schallenergie innerhalb des Raumes verbleibt. Der etwas unintuitive Nebeneffekt ist, dass gut isolierte Räume ohne weitere Behandlung der Raumakustik für eine Verwendung als Tonstudio erst einmal recht ungeeignet erscheinen: Indirekter Schall, lange Nachhallzeiten und wirre Schallausbreitung, besonders in den langwelligeren, tieferen Frequenzen, sind das Ergebnis in der Praxis.^[86]

Besser vorstellbar wird dieses Problem mit der visuellen Analogie des „Verspiegelten Raumes“: Der völlig unbehandelte Raum verhält sich wie ein theoretischer, völlig verspiegelter Raum, in dem man mit einem Laserpointer einen Strahl abschickt: Nach einem ersten Auftreffen auf einen Spiegel wird der Strahl reflektiert und in einer Vielzahl von Reflexionen im geschlossenen System „herumirren“.^[87]

Besonders bei Umnutzungen von Bestandsgebäuden spielt die Vermessung der vorliegenden Bauakustik, die meist nicht mehr wesentlich zu verändern ist, deshalb eine große Rolle bei der Ausgestaltung der Innenraumakus-

tik. Die Raumakustik in Aufenthaltsbereichen unterliegt ähnlichen Anforderungen wie Wohnbereiche und andere Betriebsgestaltungen: Aufenthaltsqualitäten, Funktionalität und eine Umsetzung der Firmenidentität sind Schlüsselaspekte. Die Raumakustik in allen Arbeitsräumen eines Tonstudios muss hingegen in Abstimmung mit der geplanten Verwendung überlegt werden.



Abb. 87. Drumrecording. Foto: Josh Sorenson

Aufnahmeräume

Der Aufnahmeraum stellte in der Tonstudioteknik lange die einzige Möglichkeit dar, den Raumklang einer Aufnahme zu beeinflussen - lange, tragende Nachhallzeiten (z.B. für Oratoriengesang) konnten nur in einem entsprechend groß dimensionierten Raum mit entsprechender Ausbreitungsmöglichkeit des Schalls erzeugt werden. Der Wunsch, auch andere akustische Umgebungen in Tonaufnahmen abbilden zu können, führte mit der Zeit zu einer Reihe von spezialisierten Räumen mit eigenwilligem Klangcharakter, der mittels Raumvolumen- und Dimensionierung sowie der Innenausstattung gestaltet wurden. Während sehr spezialisierte und manche alteingesessene Studios, wie beispielsweise das traditionsreiche Hansa Studio in Berlin, über eine ganze Palette an Aufnahmeräumen mit sehr unterschiedlichen Klangcharakteristika verfügen und nach wie vor erfolgreich nutzen, setzen neue Studios oft auf multifunktionale Räumlichkeiten und / oder Räume mit veränderbarer Nachhallzeit über verschiedene Frequenzen.

85 Vgl. Newell 2012, 2f.

86 Vgl. Newell 2012, 85f.

87 Vgl. Newell 2012, 87-89.



Abb.88. Hollywood: Capitol Studios „Echokammer“ ohne parallele Oberflächen erlaubt Nachhallzeiten bis zu 5 s. Foto: Capitol Studios



Abb.89. Hansa Studio Berlin – Meistersaal mit Kassettendecke. Foto: Wikipedia.org

Besonders seit dem Aufkommen und der flächendeckenden Verbreitung von virtuellen Mischpulten auf PC und Mac (engl. „DAW“ für Digital Audio Workstation) und digitalen Audioeffekten haben sich in neueren Studios Räume mit tendenziell kürzeren Nachhallzeiten und trockenerer Akustik durchgesetzt. Aufnahmen, die in solchen reflexionsarmen Umgebungen entstehen, eignen sich gut als Ausgangsmaterial für die digitale Nachbearbeitung. So kann das Signal (z.B. ein Text einer Sprecherin) mittels elektronischer Effekte so manipuliert werden, dass für Zuhörende der Eindruck entsteht, die Aufnahme wäre z.B. in einem sehr großen Raum gemacht worden.

Ein moderner multifunktionaler Aufnahmeraum sollte eine Nachhallzeit von 0,4 s - 0,6 s aufweisen. Dabei wird ein „topfiger“ Klang aufgrund zu früher Schallrückwürfe vermieden und ein unverfälschtes, positionsunabhängiges Hören unterstützt, was Aufnahmen mit mehreren MusikerInnen zugute kommt.^[88] Auch moderne Studios ergänzen ihr Raumprogramm oft um kleinere Aufnahme Räume mit sehr kurzen Nachhallzeiten (<0,2 s), sogenannte Trackingkabinen, in denen klangneutrales Material (z.B.: Sprache, lautes Schlaginstrument) produziert werden kann. Bemessen werden Aufnahme Räume über ihr Abklingspektrum und die Nachhallzeit über alle nutzbaren Frequenzen.

Musikproberäume

Musikproberäume sind im Wesentlichen auch als Aufnahme Räume zu verstehen und die o.g. Anforderungen gelten sinngemäß. Im Rahmen dieses Projektes bestehen geringfügig erleichterte Bedingungen bei der Gestaltung der Akustikmaßnahmen der Musikproberäume. Einerseits ist keine Nutzung in der Nacht angedacht und die Anforderungen an die Schallisolierung, dh. die Bauakustik, sind geringer.

Weiterführend gilt für Musikproberäume allgemein eine etwas lebhaftere Akustik als angenehm, während reine Aufnahme Räume durch die digitalen Nachbearbeitungsmöglichkeiten grundsätzlich eher trocken gestaltet werden. In einem möglichst multifunktionalen Querschnitt liegt die optimale Nachhallzeit deshalb in Musikproberäumen als Kompromiss aus einer angenehmen Livesituation und der Nutzbarkeit als Aufnahme Raum bei Bedarf etwas höher. Für klassische Musik gilt ein lebhafter T_{60} -Wert zwischen 1,2 s und 2 s als angenehm, für moderne Musik steigt v.a. die Musikhörbarkeit bei kürzeren Nachhallzeiten. Ein praktikabler Kompromisswert für eine möglichst genreübergreifende Akustik in Probe Räumen liegt deshalb bei $T_{60} = 0,6$ s.



Abb.90. Capitol Studios, Hollywood; Tonregie A. Foto: Capitol Studios

Tonregien

Die Tonregie dient in ihrer Kernfunktion dem Hören. Sie sollte eine möglichst klangneutrale Raumakustik aufweisen, damit Schallereignisse möglichst direkt auf Hörende auftreffen und der Hall im Raum möglichst wenig Einfluss auf das Tonsignal hat, das die Person am Mischpult wahrnimmt.

Wichtige akustische Maßnahmen umfassen deshalb zumeist eine genaue Berechnung von Raumgeometrie und -volumen sowie eine Reihe absorbierender und streuender Maßnahmen, über die der Sekundärschall über das gesamte hörbare Frequenzspektrum stark unterdrückt und / oder gezielt gesteuert wird. So wird gewährleistet, dass die Reproduktion des Werkes in jeder anderen Umgebung und mit jedem anderen Hi-Fi-Gerät die qualitativen Ansprüche einer professionellen Aufnahme erfüllt.

Multifunktionelle Abhörräume haben eine Nachhallzeit von 0,3 s - 0,4 s über das nutzbare Frequenzspektrum, was in etwa einer (allerdings akustisch nicht optimierten) Wohnzimmerumgebung entspricht.^[89]

Im hinteren Bereich der Tonregie wird i.d.R. versucht, mittels Bassfallen das Frequenzspektrum unterhalb von 125 Hz zu kontrollieren und mittels Diffusoren die direkte Schalleinwirkung der frühen Reflexionen auf den / die ProduzentIn abzumindern. Über dem Abhörplatz kommt ein poröser Mittenabsorber zum Einsatz.

Im Rahmen dieses Projektes wird eine kleine Tonregie umgesetzt, die mit einer Nachhallzeit von $T_{60} = 0,2 \text{ s} - 0,4 \text{ s}$ geplant ist.

89 Vgl. Dickreiter 1997, 43.

Referenzprojekte

Das Projekt Klangkellerei orientiert sich konzeptionell an einigen Referenzprojekten:

- T-ON, Wien
- Noisy Musicworld, Berlin
- The Premises Studios, London

Liveräume sind akustisch optimierte Umgebung - viele Tonstudios vermieten deshalb in Leerzeiten an Musizierende. Darüber hinaus existieren z.B. im Wiener T-ON eigens geplante Räume, die ausschließlich an Musizierende vermietet werden und dem Unternehmen ein ausgeglichenes wirtschaftliches Standbein ermöglichen.

Im T-ON wurden sechs Räume mit unterschiedlichen Charakteristika umgesetzt, die verschiedenen Genres eine möglichst ideale Umgebung bieten sollen. Die Räumlichkeiten werden vollständig ausgestattet vermietet.^[90] Dieses Konzept spielt Noisy Musicworld in Berlin weiter und bietet gleich 23 Proberäume zwischen 16 m² und 65 m². Das Konzept ist weniger akustisch individualisiert, son-

90 Vgl. <https://t-on.at> [15.09.2019]

Abb.91. Noisy Musicworld Berlin, Proberaum 8. Foto: Noisy Music World



dern setzt auf universelle Nutzbarkeit mit hochwertiger Ausstattung. Der Projektmaßstab ermöglicht dabei eine interessante sozialökonomische Komponente und eine Betriebsführung unter den Bedingungen der Gemeinwohlökonomie.^[91] The Premises Studios in London verbinden wiederum ihr international erfolgreiches Tonstudio mit acht Proberäumen, angeschlossener Gastronomie und Sozialraum, einigen Veranstaltungsmöglichkeiten sowie einer interessanten ökologischen Komponente - es ist z.B. vollständig solarbetrieben.^[92]

Konzeptionell haben diese drei Projekte ihre Stadtlage und ihre multifunktionelle Nutzbarkeit mit fließendem Übergang zwischen den traditionellen Nutzungen der Musikbranche sowie ihre individuellen Lösungen für diese Zwischentypologie gemeinsam. Eine niedrige Einstiegsschwelle durch Ausstattung mit hochwertiger Gerätschaft und vielseitige Nutzbarkeit der Räume macht die Projekte für ein breites Publikum attraktiv, trägt aber auch zu ihrem Wert als nachhaltige kulturelle Standorte für ihre Stadt bei.



Abb.92. The Premises Studios, London. Foto: The Premises Studios



Abb.93. The Premises Studios, London: Gastronomie. Foto: The Premises Studios

91 Vgl. <https://noisy-musicworld.com> [15.09.2019]

92 Vgl. <https://www.premisesstudios.com> [14.04.2020]



Epilog

SYNTHESE | STRATEGIE

EXPOSITION

Schlussatz

„*Den Abschluss der Exposition bildet meist eine Schlussgruppe (auch ‚Epilog‘ genannt) in der gleichen Tonart wie der Seitensatz, die somit das Ziel der vorausgegangenen Modulation bekräftigt. Sie kann neues thematisches Material enthalten, motivisch an das erste Thema anknüpfen oder eine motivische Synthese aus erstem und zweitem Thema darstellen. Diese Schlussgruppe/Epilog entwickelt sich in Symphonien der späteren Romantik (siehe Bruckners Sinfonien) sogar teilweise zu einem eigenständigen, vollwertigen 3. Thema, das in der anschließenden Durchführung mitunter eine beherrschende Rolle spielt.*“^[93]

93 <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonatensatzform>,
12.04.2020.

Synthese

Im Untergeschoß des Bestandobjektes in der Grabenstraße 8 soll in den Räumlichkeiten der ehemaligen Weilkellerei F & C Reistenhofer und den Szeneklubs Push 'N Pull / Ska / After Dark ein Projekt nach der vorgestellten Typologie „Tonstudio“ errichtet werden. In der Klangkellerei werden einige der genannten funktionellen und unternehmerischen Aspekte aus Referenzprojekten aufgegriffen.

Unter dem Haupthaus sollen mehrere unterschiedlich große, multifunktionell verwendbare Proberäume entstehen, die im Zusammenspiel mit einem kompakten Abhörraum (Regie B) auch als praktikable Regiekette verwendbar sind. Die Infrastruktur soll einem breiten Publikum zur Verfügung stehen um zu proben und aufzunehmen.

Zeitgleich lässt die vielseitige Akustik der Musikproberäume eine Nutzung für ausgedehntere Aufnahmen auf einer vergleichsweise großen Fläche zu. Die Nutzbarkeit der größeren Räume für Veranstaltungen erweitert das Portfolio der Möglichkeiten und soll einen wichtigen Querschnitt zu den *Performing Arts* und dem Livecharakter der Musik herstellen.

Mit bequemen Aufenthaltsbereichen soll KünstlerInnen auch eine weitestgehend konsumfreie Zone als Aufenthaltsort geboten werden. Wie auch die Musikprobe-

räume sind Aufenthaltsbereich und allgemeine Bereiche funktionell mehrfach beispielbar. So kann im Bedarfsfall, z.B. bei Veranstaltungen, die Teeküche als Bar, ein Gang als Garderobe, etc. genutzt werden.

Im angeschlossenen Kellerteil unter dem Nebengebäude ist ein hochwertiges Tonstudio mit einer weiteren vollständigen Tonregiekette aus Abhörraum (A), Liveräumen und Aufenthaltsbereichen geplant, in dem die gesamte Palette an Dienstleistungen eines kommerziellen Tonstudios angeboten und qualitativ umgesetzt werden kann.

Die erste Tonregie (B), die in dieser Arbeit vorgestellt wird, ist als vielfach nutzbare Produzentenregie ohne Spezialisierung geplant und hat einen forschersischen Charakter. Die Hauptregiekette (A) soll auch mit Hilfe von Erkenntnissen und Messerergebnissen der Umsetzung der Regie B im Keller des Nebengebäudes umgesetzt werden und befindet sich derzeit noch in der Grobplanung und ist daher nicht Teil dieser Arbeit.

Um diese Anforderungen der Bauaufgabe umzusetzen, sind einige Kompromisse zu machen, die sich aus der Lage in einem Altbestand ergeben. Änderungen in der Bausubstanz des Bestandes sind nicht möglich, was eine vorgegebene Bauakustik bedingt und die Akustikplanung damit auf den Bereich der Raumakustik begrenzt. Raumaufteilungen und Funktionsketten müssen sich am Bestand orientieren und funktionelle Beziehungen müssen in der bestehenden Substanz umgesetzt werden.

Strategie

Im Epilog verbinden sich Hauptsatz und Seitensatz. Die Entwurfsfindung dreht sich um das alte Bestandsgebäude und seine schillernde Geschichte als familiärer Produktions- und Kulturbetrieb. Das Gebäude in der Grabenstraße 8 spielt damit sowohl als Fragestellung nach dem konzeptionellen Umgang mit dem Bestand und seiner Geschichte als auch in Form der eigenwillig gewachsenen Bausubstanz eine zentrale Rolle.

Dialog: Alt & Neu

Der Umgang mit dem Bestand und seinen vielen verschiedenen Ausprägungen soll ein weitestgehend wertschätzender sein. Dabei soll die historische Substanz und ihre ständige ästhetische, funktionelle und haptische Veränderung über die Zeit im Entwurf aber keineswegs museal abgebildet oder ausgestellt werden, sondern vielmehr in einer Art *ideologischen Denkmalpflege* assoziativ mit einfließen:

Das Aufeinanderfolgen verschiedener Funktionen, Nutzungen und Erscheinungsbildern in der Geschichte des Gebäudes wird nicht als eine Reihe von differenziert betrachtbaren Ist-Zuständen, sondern als ganzheitlicher baugeschichtlicher und soziologischer Prozess aufgegriffen. Die vielen, sich überlagernden Schichten von Putzen, Farben und Innenausstattungen, die eingerissenen und aufgebauten Mauern ebenso wie die Durchbrüche und Gräben durch die Grundfesten des Altbestands in das Erdreich können analog als Zusammenspiel von hohen, tiefen Tönen, Harmonien und Dissonanzen verstanden werden, die Baumaterialien und Oberflächen als klanggebendes Instrumentarium betrachtet werden, der Bestand als Gesamtes als kompositorische Partitur interpretiert werden.

Ein konstruktiver Dialog zwischen Alt & Neu kann deshalb nur aus einem Aufgreifen, Fortführen und Lenken des baugeschichtlichen Prozesses der Architektur - oder analog aus einem Weiterkomponieren der Partitur - erwachsen.

DURCHFÜHRUNG



” **A**uf die Exposition folgt die Durchführung, in der das in den verschiedenen Teilen der Exposition vorgestellte Material in motivisch-thematischer Arbeit verarbeitet wird.^[94]

94 <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonatensatzform>,
12.04.2020.



Durchführung

Entwurf

METHODE | ENTWURFSWERKZEUG | SKIZZEN



DURCHFÜHRUNG

Einleitung

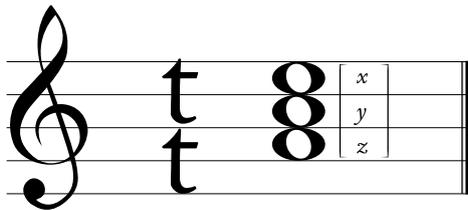
.....

„*D*urchführungen können sehr unterschiedlich gestaltet sein. Als typisch gilt eine „Durchführungseinleitung“, die von der Tonart am Ende der Exposition wegmoduliert, sowie darauf folgend das Aufstellen eines „Modells“, welches sequenziert oder anderweitig verarbeitet wird.

Im Falle eines vorliegenden Themenkontrastes kann auch eine dialektische Auseinandersetzung zwischen den beiden Themen stattfinden, wobei es zum charakterlichen Rollentausch und zu konflikthaft dramatischen Steigerungen kommen kann. Es kann aber ebenso vorkommen, dass nur eines der beiden Themen in der Durchführung verwendet wird, oder dass die Durchführung ausschließlich mit den Motiven der Schlussgruppe oder gar mit dem aus Überleitung oder Fortspinnung stammenden Figurenwerk bestritten wird.^[95]

Methode

Der Entwurf soll dem Bestand ebenbürtig als facettenreiches, prozesshaft komponiertes Werk gegenüberstehen, das gleichermaßen von einem durchgängigen Ordnungsprinzip, aber auch von einer exzentrischen Zufallskomponente und einer gewissen Eigenwilligkeit geprägt ist.

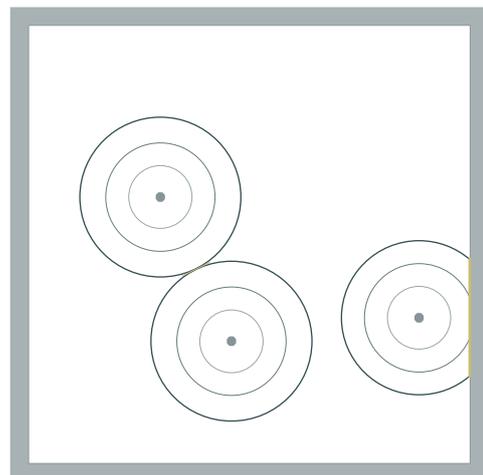
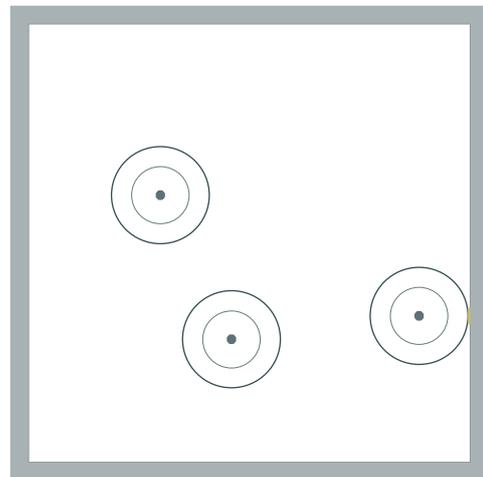
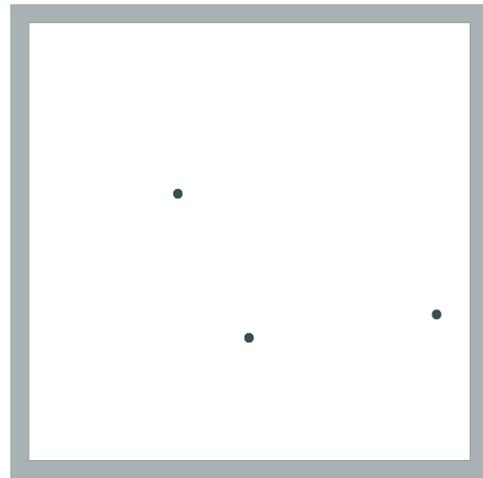
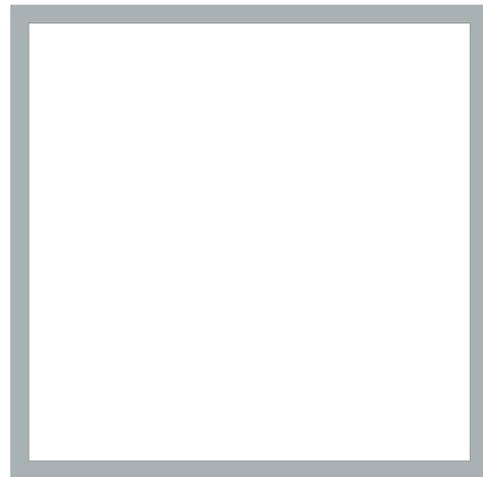


„Algo-rhythmische“ Komposition

Inspiriert von der Musik im weitesten Sinn und dem Schall im Speziellen, greift der vorliegende Entwurf das Ausbreitungsverhalten von Schallwellen im Raum als Bewegungsmuster auf. Seine sich sukzessiv propagierende Fortpflanzung in einem Medium wird zum Formprinzip der Gestaltung.

Wie in der Musik wird dabei das Rad nicht gänzlich neu erfunden, sondern eine „Grundtonart“ aufgegriffen, Themen und Stilistik zitiert, neu betont und ornamentiert: Die Partitur wird weiterentwickelt, ergänzt und moduliert und das Grundthema mit einer neuen Formensprache in einem gänzlich neuen Werk fortgeführt. Den Takt gibt dabei ein grafisch programmierter Algorithmus vor, der die eingemengten Analogien aus dem realen Raum in seine digitale Entsprechung übersetzt. Er rhythmisiert dabei die vorgegebene Notation, greift Elemente und Leitthemen des Bestandes und des Schalls auf, indem er mit ihnen interagiert und sie in einen neuen Zusammenhang setzt. In einem ersten Schritt wird in einer „Zerlegung“ des Objektes der Raum an sich mit seiner gesamten Tektonik erst einmal formell aufgelöst. Das Untergeschoß des Gebäudes wird - völlig wertbefreit von seiner Vorgesichte, Architektur und Funktion - als einfaches, leeres Volumen betrachtet - wie ein leeres Notenblatt.

In dieses Modell fließen ausgewählte Aspekte des Bestandes zurück: Einige interessante Orte im Untergeschoß, wie etwa markante, langgezogene Risse in der



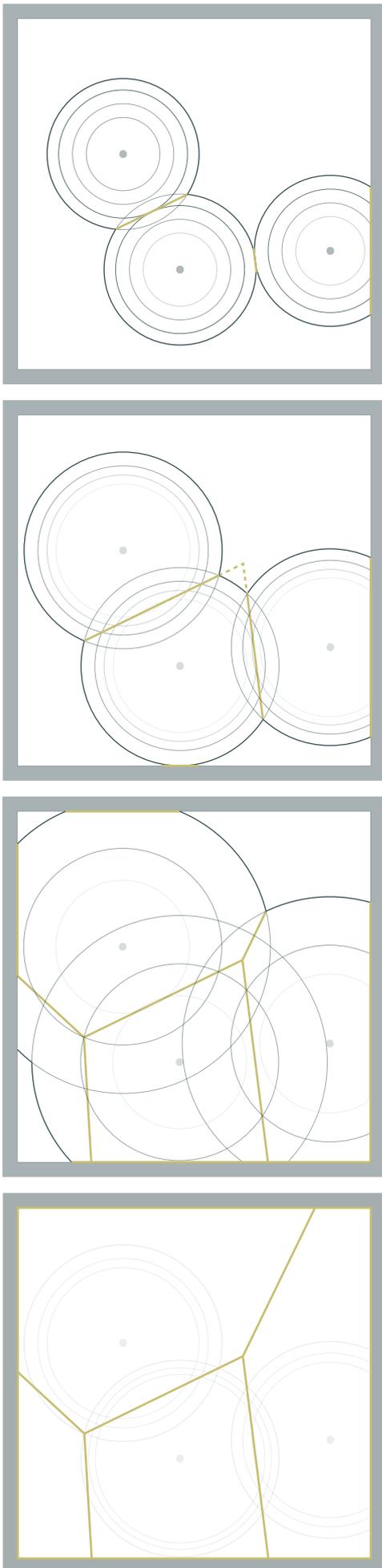


Abb.96. Schallausbreitung von Punkten aus in einem Raum: Sukzessive diagrammatische Aufteilung des Raumes als Gestaltungsprinzip in acht Schritten.

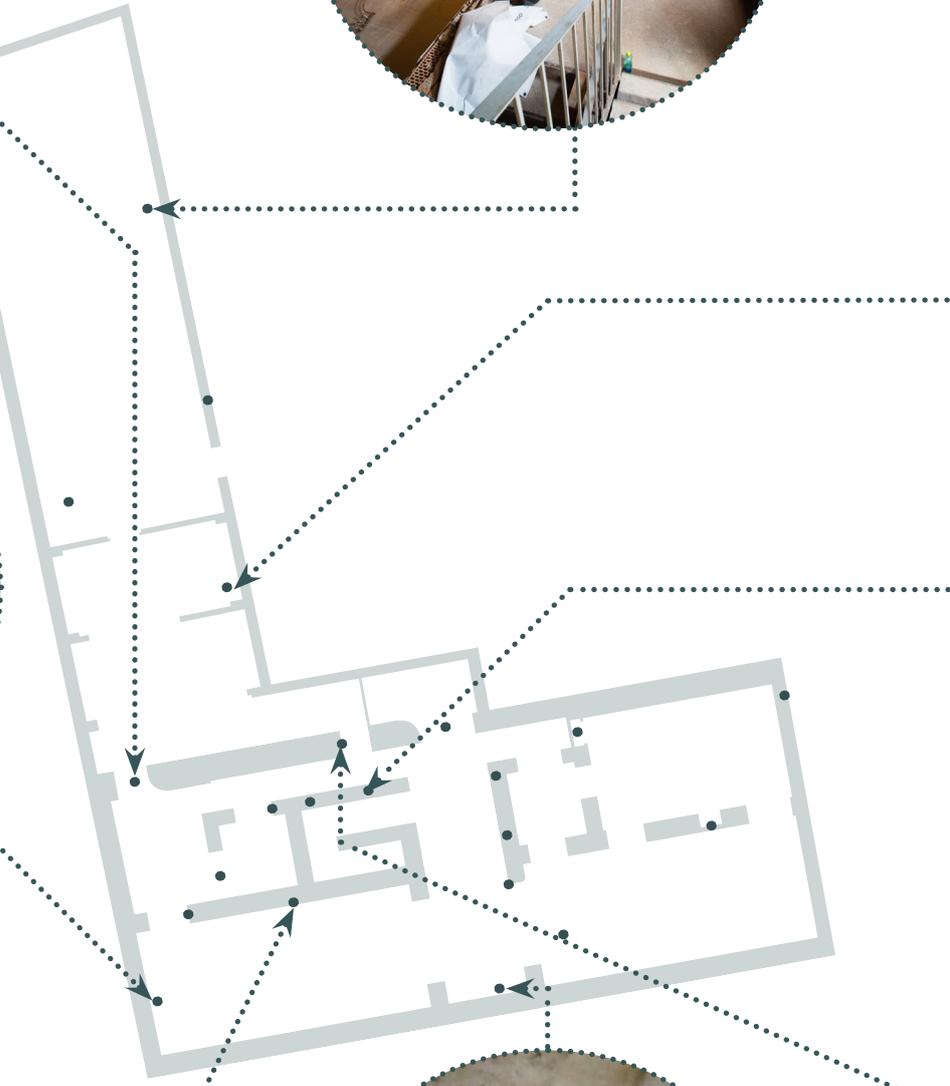
Substanz, Durchbrüche durch Wände, alte Kanal- oder Elektroleitungen, aber auch andere lineare Elemente, werden aufgegriffen und wie die fünf horizontalen Linien in der musikalischen Notation zu einer Grundstruktur umgenutzt. Auf diesen Linien (aber auch zwischen, über und unter ihnen) werden im nächsten Schritt wie Noten eindimensionale Punkte platziert, die als Thema der Komposition in das digitale Modell transferiert werden.

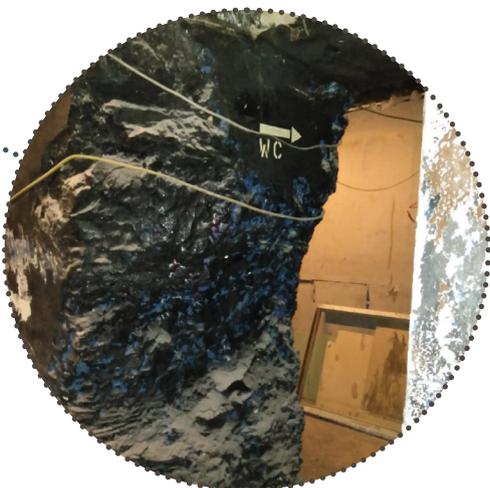
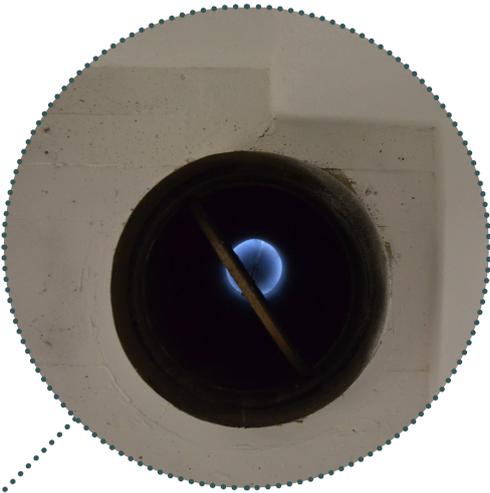
Als kleinstmögliches Element der Architektur - aber auch der Musik - ist der Punkt wie ein harmonischer Dreiklang über drei Koordinaten im Raum ganz klar definiert. Im digitalen Modell werden die derart verorteten Analogien zum Bestand zu den Ausgangspunkten eines sukzessiven Prozesses:

Wie ein angeschlagener Akkord geben die Punkte als Quellen im Raum Wellen ab, die sich kugelförmig in alle Richtungen zugleich ausbreiten. Diese Volumina dehnen sich von den Koordinaten aus, bis sie aneinander oder an die Grenzen des dreidimensionalen Modelles stoßen. Wo die Volumina zusammenstoßen, überlagern sich die Kugeln an ihren Grenzflächen und bilden ein diffuses Feld aus zufälligen Prismatoiden. Wo die Ausdehnung sich bis zu einer Grenze im Modell fortpflanzt, interagieren die Volumina mit dem Bestand: Als Abbild der propagierenden Ausdehnungsbewegung zeichnen sich die Überschneidungsflächen an der Grenze zwischen den Volumina und dem realen Bestand - ganz ähnlich wie eine Schallwelle auf einer Tonaufnahme - als polygonale Muster im wirklichen Raum ab.

Wieder in der Wirklichkeit angekommen, spielen die so erzeugten Formen in mehreren Ebenen der Struktur ihre Stimme in der Komposition - sie werden zu gestalterischen Elementen, Möbelstücken, Akustikmaßnahmen und Leuchten und auf diese Weise Teil der neuen kompositorischen Identität des Bestandes.

In einer thematischen Analogie zur Musik wird so das im Hauptsatz vorgestellte Thema „Bestand“ aufgegriffen und in der Überleitung über die Theorie des Schalls in den Seitensatz, die „Baufgabe Tonstudio“, geführt. An dieser Stelle im Epilog werden Hauptsatz und Seitensatz in einer ganzheitlichen Komposition mit einer völlig neuen Identität zusammengeführt. In der Durchführung soll die komplexe körperliche Partitur als „motivisch-thematischer“ Entwurf verarbeitet werden.





Quellorte

Die Orte, von denen aus die Ausbreitung beginnt, sind Durchbrüche, Ein- und Auslässe, Leitungen, Löcher und andere „Male“, die dem Gebäude seit Anbeginn seiner Geschichte von den verschiedenen NutzerInnen zur Erfüllung ihrer ganz unterschiedlichen Zwecke hinzugefügt wurden.

Einge Elemente „teilen“ oder durchlaufen das gesamte Gebäude vom Keller aus senkrecht oder horizontal (z.B. Kaltwassersteigleitungen, Lüftungstunnel, Schächte, Kanalrohre), andere durchbrechen Gebäudeteile nur punktuell (z.B. ovales Fenster im Treppenhaus, Stromverteiler) oder gestalten sich in Form von Gräben tief in der Substanz, die unter einer oberflächlichen Schicht verdeckt waren und die erst der Sanierungsprozess zu Tage brachte (Stemmschächte für Elektroleitungen im Treppenhaus unter Fliesen, eingeputzte Kabelleitungen).

Diese Quellpunkte wurden während der Vermessung im Plan verortet und in das digitale Modell übertragen.

Entwurfswerkzeug

Algorithmus

Der Algorithmus musste als Werkzeug für die Ausformulierung des Entwurfes erst hergestellt werden.

Programmiert wurde mithilfe der grafischen Programmieroberfläche „Grasshopper“, die ein integrierter Bestandteil der CAD-Modelingsoftware **Rhino** 6 ist.



Rhino bot sich wiederum als Plattform für die finalen Modellierarbeiten mit großen Mengen digitaler Geometrie und zum Austausch von Plandaten mit AutoCAD (in dem die Vermessungen dokumentiert wurden) an und ermöglichte außerdem eine schnelle und präzise Darstellung von dreidimensionalen Daten. Bereits in der Studierendenversion von **Rhino** 6 ist das Kernstück der algorithmischen Komposition, „Grasshopper“, als Plug-In integriert, dessen für den Entwurf wesentliche Funktionen kurz beschrieben werden sollen.



Grasshopper & Rhino 6

Das Plug-in „Grasshopper“ ist eine grafische Programmieroberfläche, die vor allem Nichtfachkundigen eine Schnittstelle zur Programmierung bietet, indem die grundlegendsten und häufigsten Funktionen, wie z.B. mathematische Operationen ($= + - / *$), über eine grafische Aneinanderreihung und Verknüpfung in einen Zusammenhang gebracht werden können. Das Prinzip des *visual programming* findet auch bei Programmierprofis immer häufiger Anwendung, da die Abstraktion der Programmiersprache in Form von fertigen Bausteinen besonders bei langen und komplexen Programmieraufgaben eine Arbeitserleichterung ist.

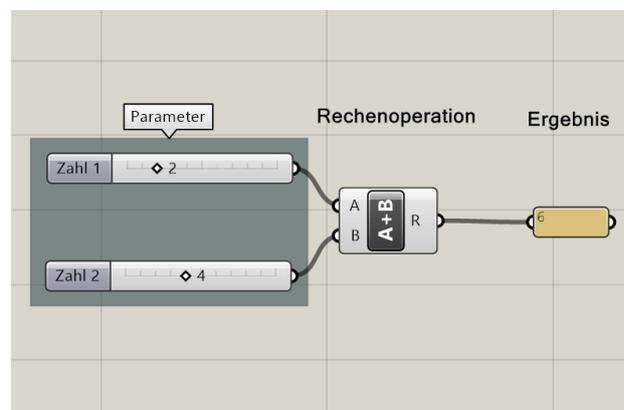


Abb. 98. Rechenoperation: zwei Variablen, Operator und Ergebnis

Die parametrische Programmstruktur ermöglicht im Unterschied zu herkömmlichen Liniengrafiken und 3D-Modellen eine Änderung jeden beliebigen Elementes zu jeder Zeit. So lassen sich nicht nur Variablen jederzeit austauschen, um zu einem neuen Ergebnis zu kommen, es ist auch zu jedem Zeitpunkt möglich, die Operatoren auszutauschen oder zu erweitern und eine andere Operation mit den selben Variablen auszuführen, Operatoren und Variablen vielfach miteinander zu verknüpfen und so - geplant oder spielerisch - das Ergebnis zu beeinflussen.

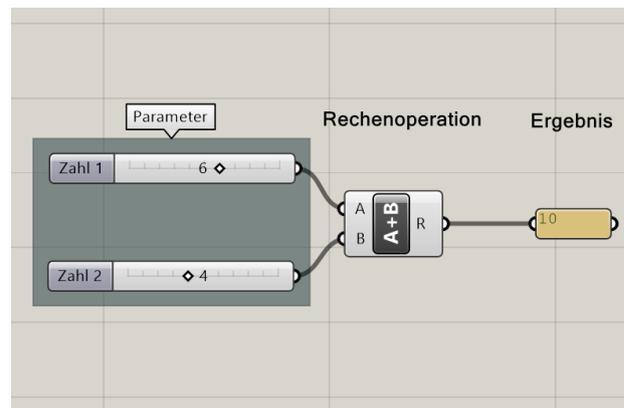


Abb. 99. Rechenoperation mit geänderten Variablen und neuem Ergebnis

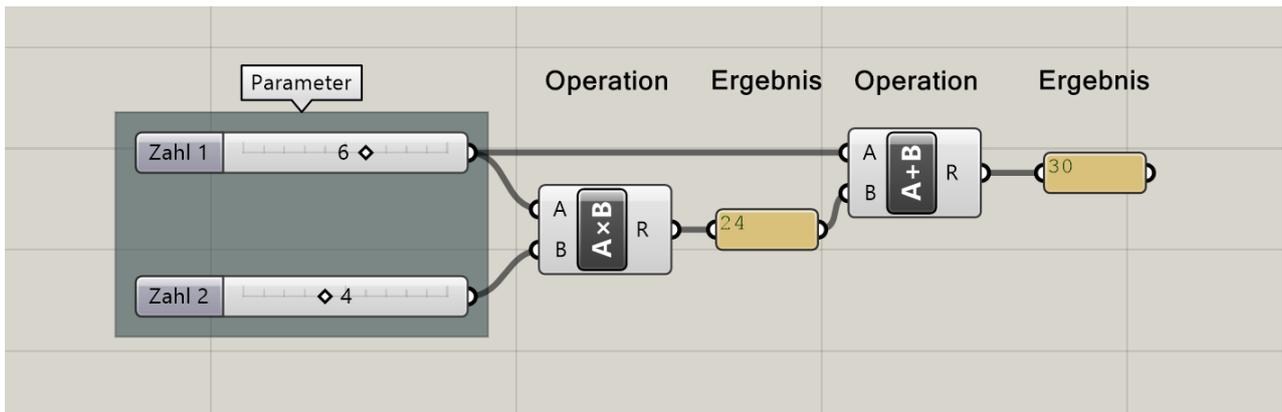


Abb.100. Rechenoperation mit veränderten Variablen und mehreren Operatoren

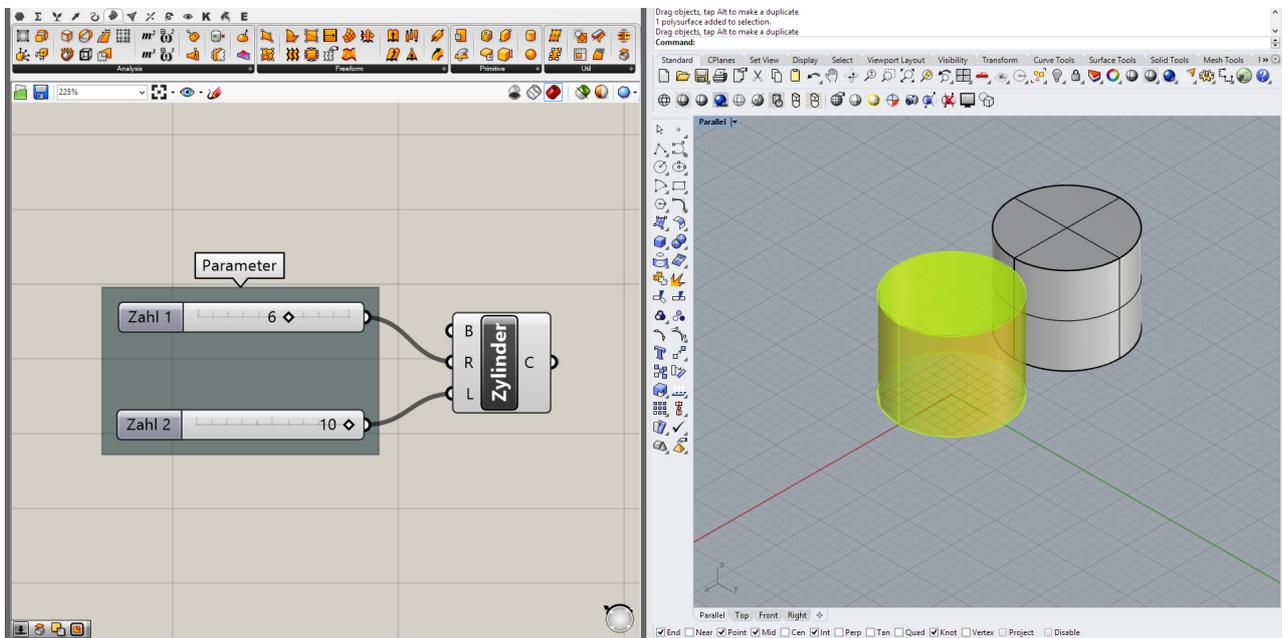


Abb.101. Anstatt einer Rechenoperation wird aus den Parametern Geometrie generiert.

Grasshopper bietet neben den Funktionen des Plug-ins auch direkten Zugriff auf alle Funktionen der Muttersoftware „Rhinceros“ und damit die Möglichkeit, komplexe Modelle vollständig parametrisch zu erstellen, ohne sie im eigentlichen Sinn aus digitaler Geometrie herzustellen. Dabei können alle programmierten parametrischen Objekte zu jedem Zeitpunkt innerhalb von Rhinceros als Geometrie erstellt werden - man spricht von „backen“.

Als reguläre Mesh- oder NURBS-Geometrien sind die parametrisch erstellten Formen wieder mit allen Funktionen von Rhinceros bearbeitbar, sie interagieren

nahtlos mit herkömmlich modellierter Geometrie und bleiben parallel dazu als Code innerhalb von Grasshopper erhalten. Mit den Parametern aus dem vorangegangenen Beispiel lässt sich auf diese Art mit zwei Zahlenwerten ein einfacher Zylinder (Zahl 1 als Radius, Zahl 2 als Höhe) erzeugen, der innerhalb von Grasshopper (links) als Codeschnipsel existiert und innerhalb von Rhinceros (rechte Bildhälfte) als Voransicht des Codes (in grüner Farbe) angezeigt wird. Nach dem „Backen“ ist die fixierte Geometrie (grau) mit allen verfügbaren Werkzeugen innerhalb von Rhinceros bearbeitbar.

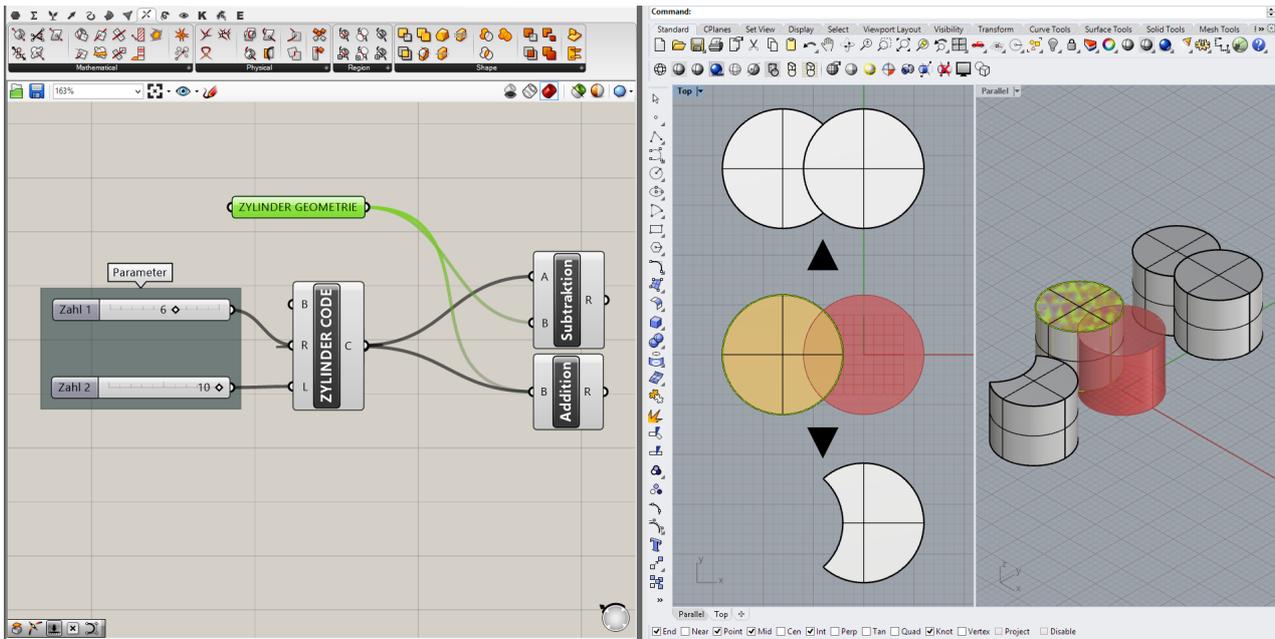


Abb.102. Operationen mit Geometrien aus Rhino in Kombination mit codegenerierten Geometrien: Subtraktion und Addition der zylindrischen Volumina

NURBS-Geometrien, die innerhalb von Rhinoceros erstellt wurden, sind ebenfalls als Elemente in den Code integrierbar. So können die Eigenschaften eines Objektes in Rhinoceros abgefragt und wiederum als parametrische Teile des Codes innerhalb von Grasshopper weiterverwendet werden. Dadurch kann Code jederzeit mit NURBS-Geometrie interagieren.

Im Beispiel wurde der Zylinder (rot) fixiert und wieder als Geometrie in den Code eingefügt (in der Programmoberfläche „Zylinder Geometrie“, in Rhinoceros: oranger Zylinder). Im Anschluss wird der fixierte Zylinder einmal in einer Operation („Subtraktion“) vom ersten Zylinder abgezogen, so dass eine Volumendifferenz verbleibt (unten) und einmal in einer zweiten Operation („Addition“) zum ersten Zylinder addiert, sodass eine Volumensumme (oben) entsteht.

Integration der Vermessung

Eine wesentliche Bedeutung kommt dieser Interkonnektivität zwischen dem Algorithmus und der digitalen Geometrie deshalb zu, weil der Algorithmus so als Schnittstelle zwischen digitalem Modell und dem realen Bestand agiert - die aus Vermessungsdaten erzeugten Formen müssen mit dem Bestandsgebäude zusammenpassen.

Die alte Bausubstanz bedingt jedoch einige Ungenauigkeiten, so dass im Verlauf des Projektes immer wieder weiter ins Detail vermessen werden musste und die Plan- und Daten nachgebessert wurden. In Anbetracht der Menge an randomisierten Formen wäre eine Herstellung ohne parametrische Geometrien in diesem Rahmen de facto unmöglich.

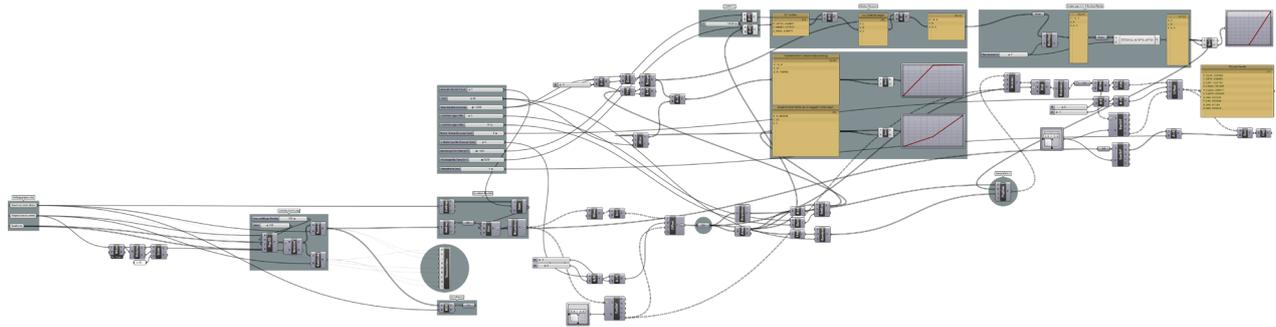
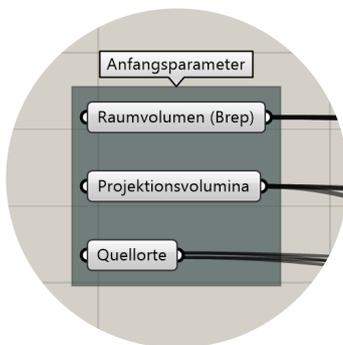


Abb.103. Ansicht des gesamten Entwurfswerkzeuges und all seinen Verknüpfungen und Knoten in „Grasshopper“ / Rhinoceros 6

Der Algorithmus

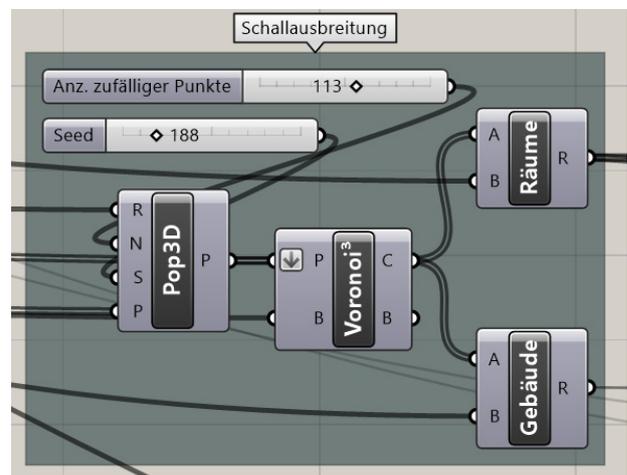
Der Algorithmus arbeitet mit den Anfangsparametern

- **Quellorte**, als Punkte
- **Raumvolumen** der neu zu errichtenden Räume
- **Projektionsvolumen** des vereinfachten Bestands



Die Funktion **Populate 3D** erzeugt 188 weitere Quellpunkte und verteilt sie zufällig im Raumvolumen. Die Zahlenkomponente **Seed** = 113 speist einen pseudo-zufälligen Faktor bei der Platzierung dieser neuen Quellpunkte in den Code ein. Im Knotenpunkt **Voronoi³** entsteht die „Schallausbreitung“ erster Ordnung.

Im Knoten **Voronoi³**, der das dreidimensionale Voronoidiagramm erzeugt, wird der Raum, ausgehend von den Quellpunkten, mittels sich ausbreitenden Kugeln aufgeteilt, so dass die Grenzflächen, an denen sich die Volumina überschneiden, genau auf halber Strecke zwischen den jeweils nächsten Punkten liegen. Das Ergebnis ist ein komplexes Muster aus Prismatoiden, das sich durch das



gesamte Geschoß durchzieht und ein *diffuses Feld* erzeugt.

Wo sich dieses Feld mit Wänden, Boden und Decke verschneidet, entstehen polygonale Formen, die wie eine Projektion wieder in den orthogonalen Ebenen der Bauteile Boden, Decke und Wände liegen - eine Struktur erster Ordnung. Die Polygone sind in einer Größenordnung, die maßstäblich eher Raumgröße hat und werden deshalb in einer zweiten Schallausbreitung weiter unterteilt. Die Schallausbreitung „zweiter Ordnung“ wird für jeden einzelnen Raum und für jedes Bauteil (Boden, Wände, Decke) extra berechnet.

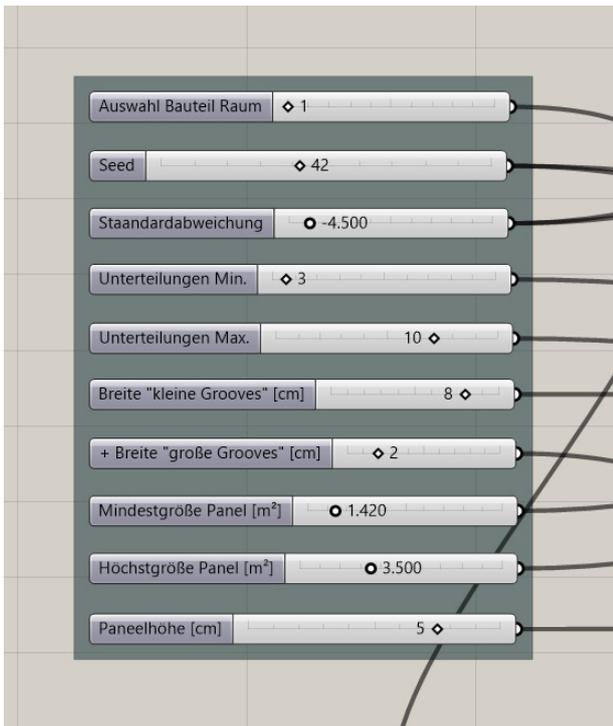


Abb.104. Per Hand änderbare Parameter zu Steuerung des Ergebnisses.

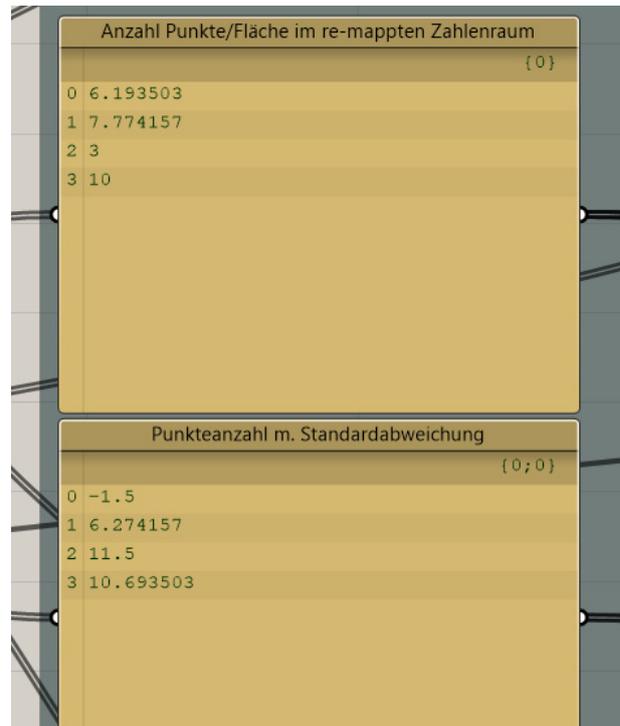


Abb.105. Erzeugte Punkte pro Fläche mit und ohne Standardabweichung

Dazu werden in Abhängigkeit der Größe jedes einzelnen Polygons auf einem Bauteil die Anzahl der zu berechnenden Unterteilungen, daher die Anzahl der neu zu erzeugenden Quellpunkte der zweiten Generation, bestimmt. Ein händisch vorgegebenes Größenintervall hat einen praktischen Grund, das Intervall von Mindest- und Maximalunterteilungen einen ästhetischen:

Da die erzeugten Formen letztlich funktionell sein müssen, ist die Größe nach oben und unten hin begrenzt. Wand- und Deckenpaneele müssen zwischen 1,42 m² und 3,50 m² groß sein, damit sie gut gebaut werden können. Eine gestalterische Entscheidung war es, auch die Anzahl der Unterteilungen in der zweiten Generation per Intervall zu limitieren, um mehr Variation im Erscheinungsbild zu erzeugen.

Indem vorgegebene Größenintervalle und Minimal bzw. Maximalanzahl der zu errechnenden Unterteilungen (=Anzahl der neuen Quellpunkte) auf die tatsächliche Größe jeder einzelnen, in erster Generation entstandenen Oberfläche *gemapt* werden, wird die Größe der jeweiligen Oberflächen in m² mit dem vorgegebenen Intervall an

möglichen Unterteilungen im Intervall [3,10] abgeglichen und diejenige Anzahl von Punkten auf der Oberfläche erzeugt, die am ehesten der entsprechenden Anzahl im neuen Zahlenraum entspricht. So werden Flächen mit weniger neuen Quellpunkten besiedelt, während auf größeren Flächen tendenziell mehr Punkte entstehen. Das Ergebnis dieser Flächenunterteilung „zweiter Ordnung“ liegt immer im Intervall der Minimal- und Maximalgröße, die per Hand eingegeben wird.

Weitere Parameter, die von Hand gesteuert werden, sind die **Breite der Abstände** zwischen den Formelementen der ersten und zweiten Ordnung in cm sowie ein weiterer pseudo-zufälliger **Seed**-Wert für die Verteilung der Punkte in der zweiten Ausbreitung.

Ein weiterer Faktor ist eine Standardabweichung, die dem natürlichen „Optimierungsverfahren Voronoidiagramm“ gelegentlich auch interessante Abweichungen unterjubelt und das Gesamtbild heterogener macht. Über den obersten Schieberegler kann das Bauteil (Boden, Decke, Wände) ausgewählt werden, für das die fertigen Formen angezeigt werden sollen.

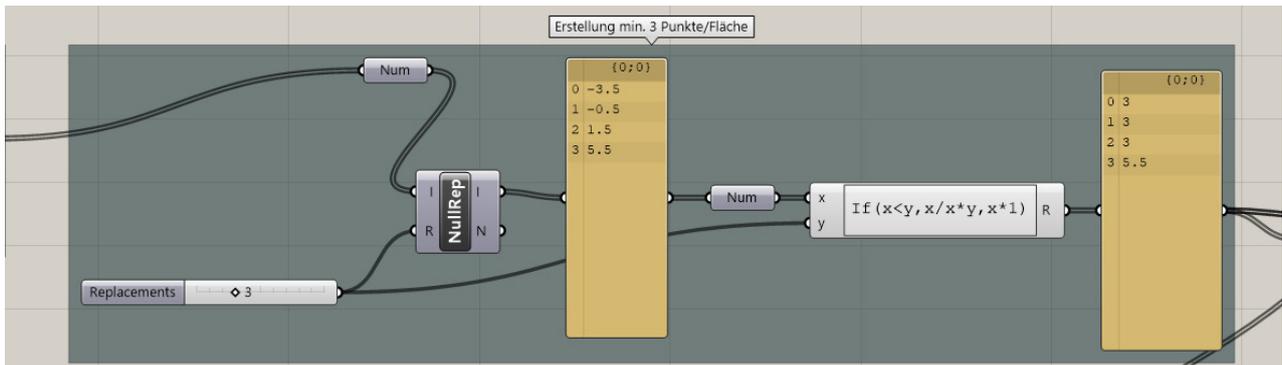


Abb.106. Werte kleiner 3 werden in dieser Bedingung auf 3 gesetzt, damit alle Flächen mit min. drei Punkten besiedelt und geteilt werden können.

Über einen Kniff wird das Ergebnis der Berechnung der Anzahl von neuen Punkten / Oberfläche noch einmal beeinflusst: Auch auf Oberflächen, die eigentlich aufgrund der vorgegebenen Parameter zu klein wären, werden mindestens drei Punkte erzeugt.

Das Codeschnipsel $If(x < y, y/y * x, x * 1)$ erhöht jeden x -Wert unter 3 auf $3 = y$. Ein Voronoi-Knoten erzeugt auf allen Oberflächen des ausgewählten Bauteils zweidimen-

sionale Diagramme aus den errechneten Quellpunkten der zweiten Generation. In einem letzten Schritt werden die erstellten Formen für die weitere Verarbeitung vorbereitet: Ein Versatz der Formen nach innen um 10 cm bzw. 8 cm soll die Hierarchie der Struktur erster bzw. zweiter Ordnung sichtbar machen. Ein Versatz nach Innen vom vermessenen Raumvolumen ist ein Toleranzmaß, das über Ungenauigkeiten der Messungen hinweghelfen soll.

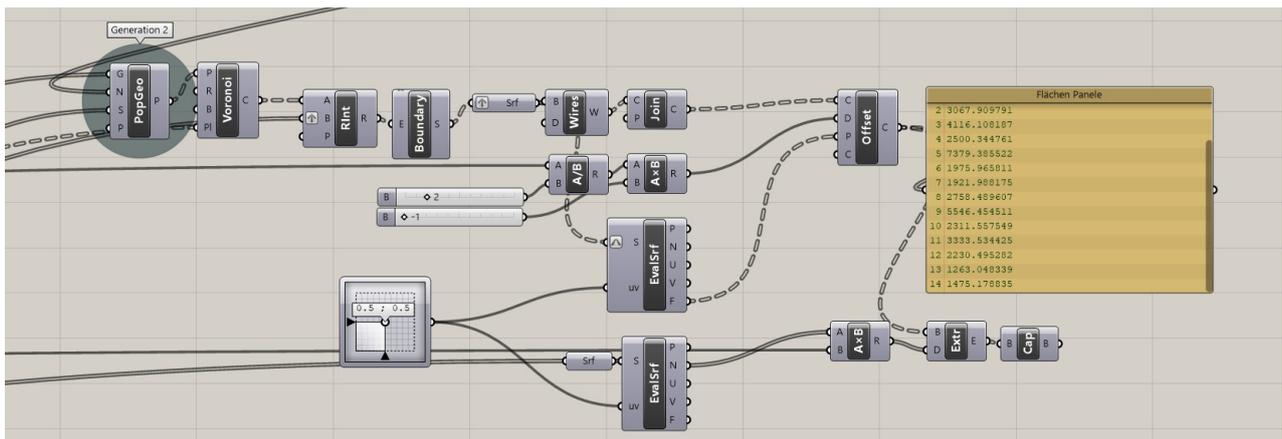


Abb.107. Abschließender Schritt der Generierung der Oberflächen zweiter Generation

Implikationen

Mit dem Algorithmus könnte auf diese Weise eine nahezu unendliche Vielzahl von sich unterscheidenden Entwürfen aus den selben Parametern gemacht werden. In einer weiteren Analogie zur Musik ist der vorliegende Entwurf gewissermaßen nur eine von unzähligen möglichen Interpretationen der „Komposition“, die als Entwurfsstrategie formuliert wurde. Wie die Live-Performance eines Orchesters, das ein und das gleiche Stück spielt, beeinflussen DirigentIn, Konzerthaus, aber auch jedes einzelne Element im Orchester das Stück, sodass jedes Mal gewissermaßen ein unikates Werk entsteht.

Fazit

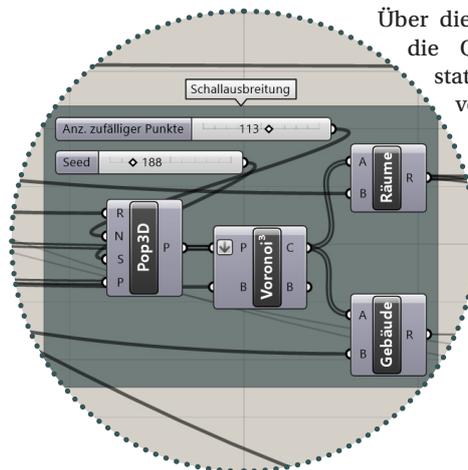
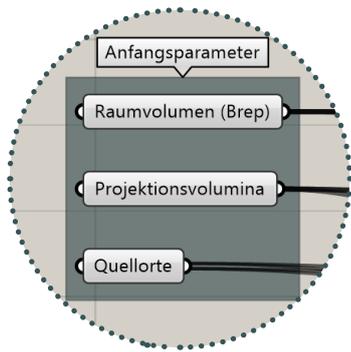
Die Herangehensweise des *visual programming* ermöglicht in diesem Zusammenhang das Kunststück, zwischen einfachen Datensätzen von einigen Punkten und Volumina über nur einige wenige Parameter einen enorm komplexen Zusammenhang in der Verknüpfungen der Datensätze herzustellen - und so gewissermaßen die gesamte Baugeschichte des Gebäudes zusammenzufassen und in neuer Form wieder zurück in die Realität zu spielen.

Komposition

Über die Funktion **Pop3D** werden die Quellpunkte ergänzt und statistisch im Modellvolumen verteilt. **Voronoi³** erzeugt ein *diffuses Feld* von Prismatoiden.

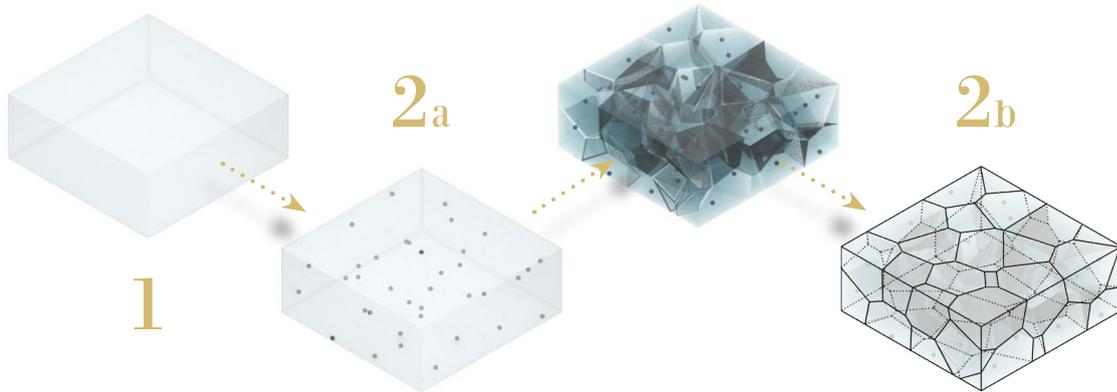
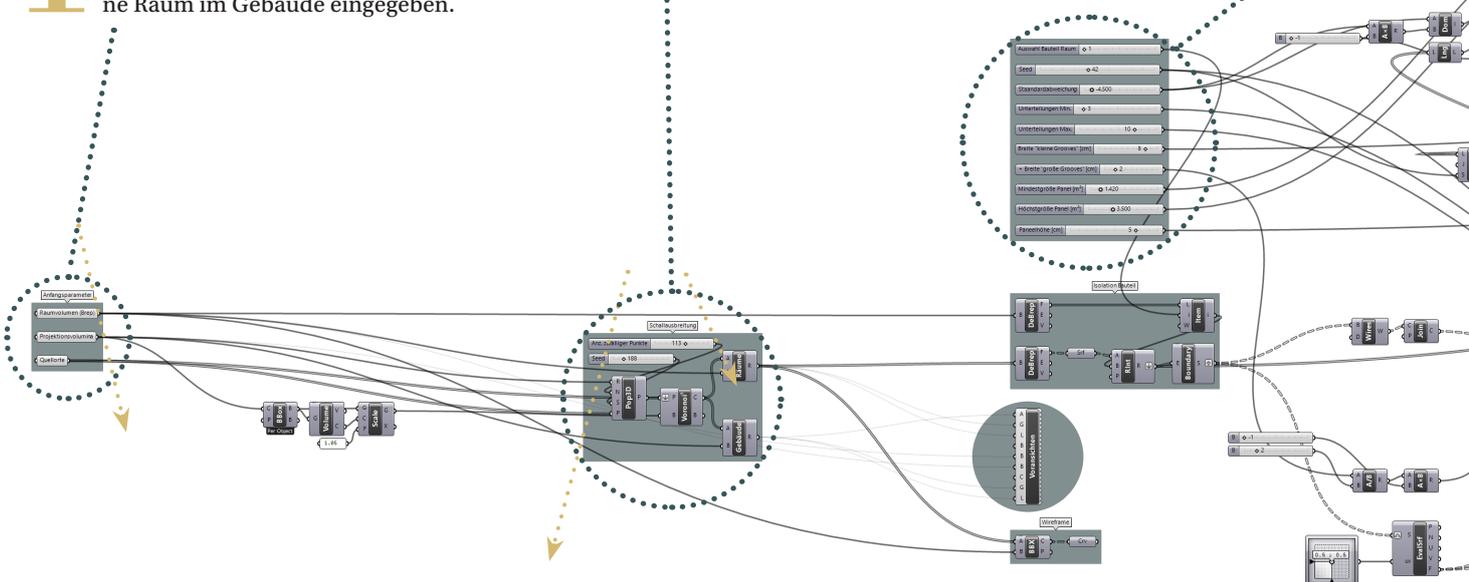
2a

DURCHFÜHRUNG



EXPOSITION

1 Als Anfangsparameter werden die ausgesuchten Quellpunkte im Gebäude, ein vereinfachtes Modell des Bestandes und der jeweils anzuzeigende einzelne Raum im Gebäude eingegeben.



DURCHFÜHRUNG

2b

Das diffuse Feld projiziert einen Abdruck an Decke, Boden und Wände, wo es auf diese Bauteile trifft. Das Muster zeichnet sich in Form von zweidimensionalen Polygonen ab, die als unverzerrte Flächen in den Ebenen der Bauteile liegen. Sie bilden die großflächige Struktur erster Ordnung.

Abb.108. Die Komposition. Collage: Gerald Mörth

3

Für die Struktur der zweiten Ordnung werden Einstellungen über Schieberegler per Hand eingegeben. Zunächst wird das Bauteil im ausgewählten Raum ausgewählt, ein *Seed*-Wert und die Standardabweichung ergänzen Zufallskomponenten. Je ein Intervall für Anzahl der Unterteilungen der Flächen erster Ordnung und die Größe der resultierenden Flächen sowie der Abstände dazwischen erlauben Kontrolle über das Erscheinungsbild der Komposition. Über einige mathematische Formeln im Mittelteil wird das Ausgangsmaterial in Form erneut moduliert und die Schallausbreitung wiederholt sich ein zweites Mal.

Wahl Bauteil Raum ▾ 1

Seed ▾ 42

Standardabweichung ▾ -4.500

Unterteilungen Min. ▾ 3

Unterteilungen Max. ▾ 10

Breite "kleine Grooves" [cm] ▾ 8

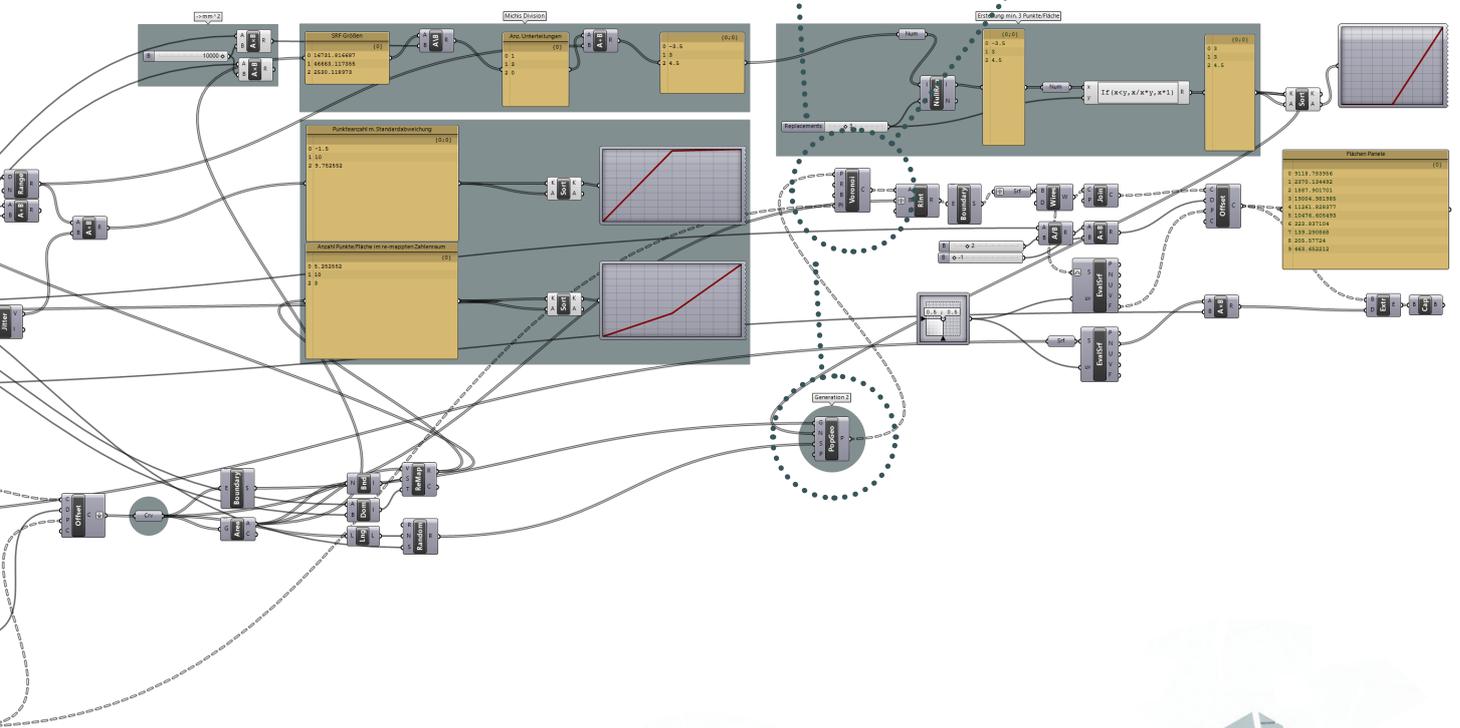
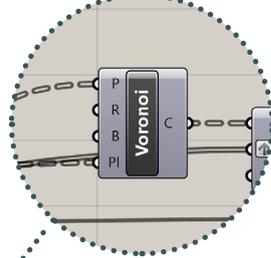
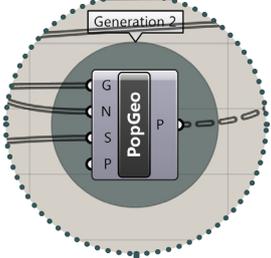
+ Breite "große Grooves" [cm] ▾ 2

Mindestgröße Panel [m²] ▾ 1.420

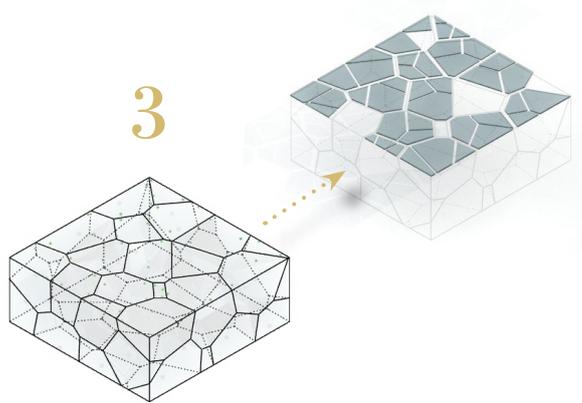
Höchstgröße Panel [m²] ▾ 3.500

Panelgröße [m] ▾ 1.5

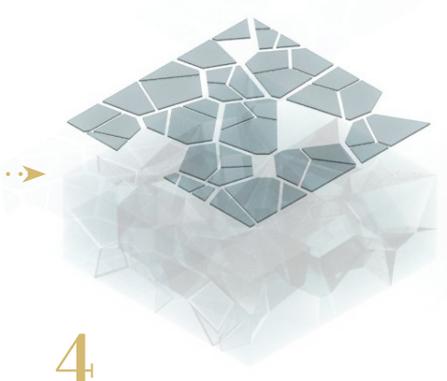
REPRISE



3



4



CODA

Für jedes ausgewählte Bauteil jeden ausgewählten Raumes entsteht so ein Rechteck das in zwei Strukturordnungen in Polygone unterteilt ist. Die Struktur erster Ordnung - das diffuse Feld - zieht sich dabei durch das gesamte Gebäude durch und ist als Muster auch klar an den Übergängen zwischen Bauteilen zu erkennen.

4

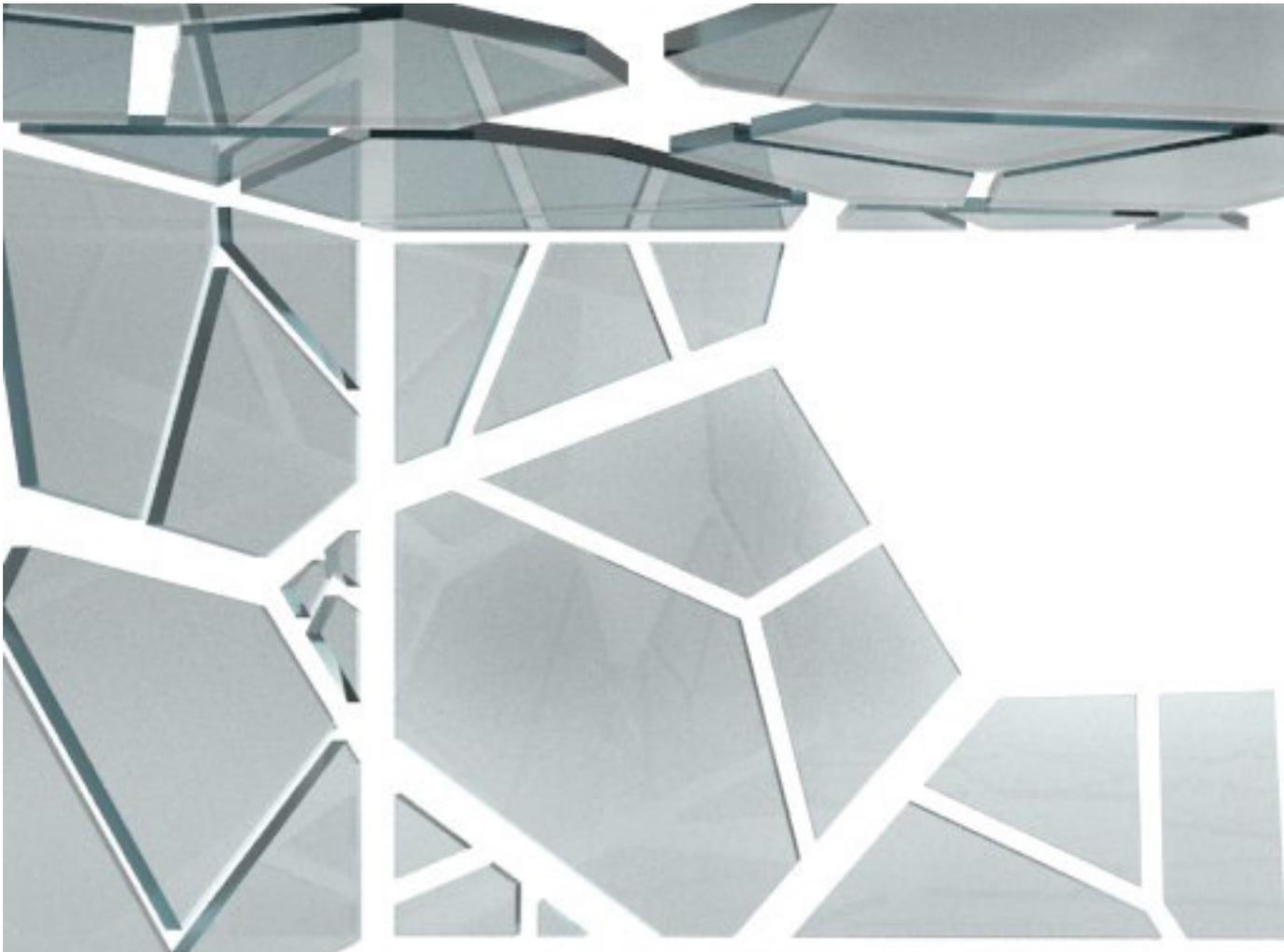


Abb.110. Rendering: Innenansicht der generierten Oberflächen.

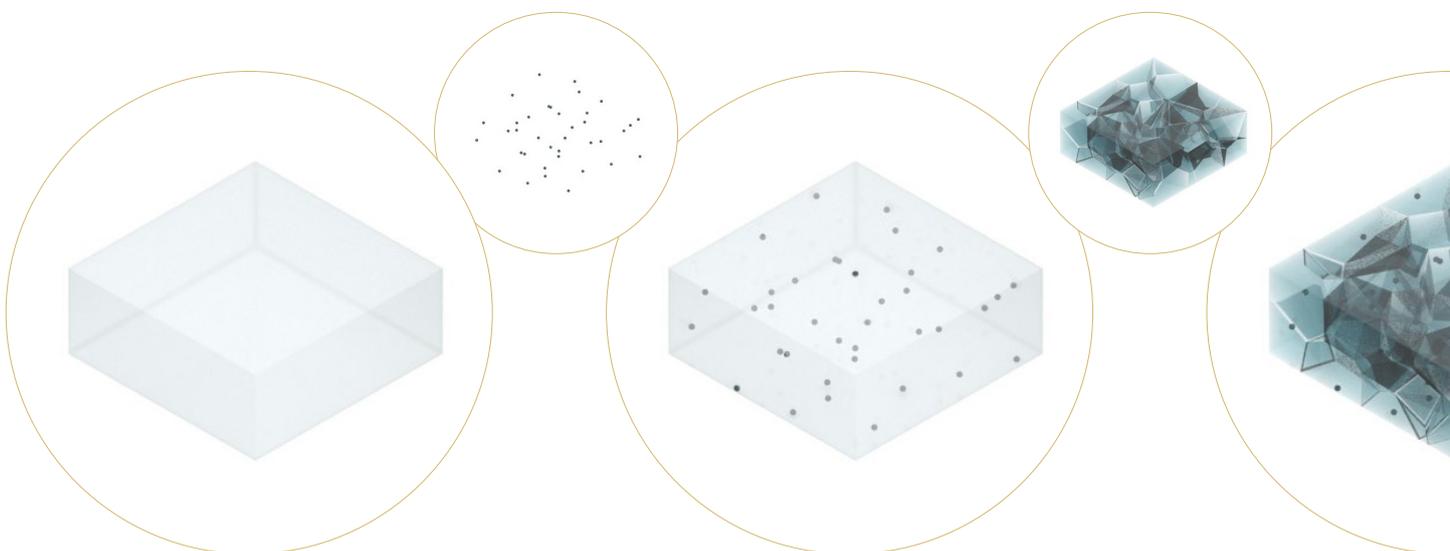
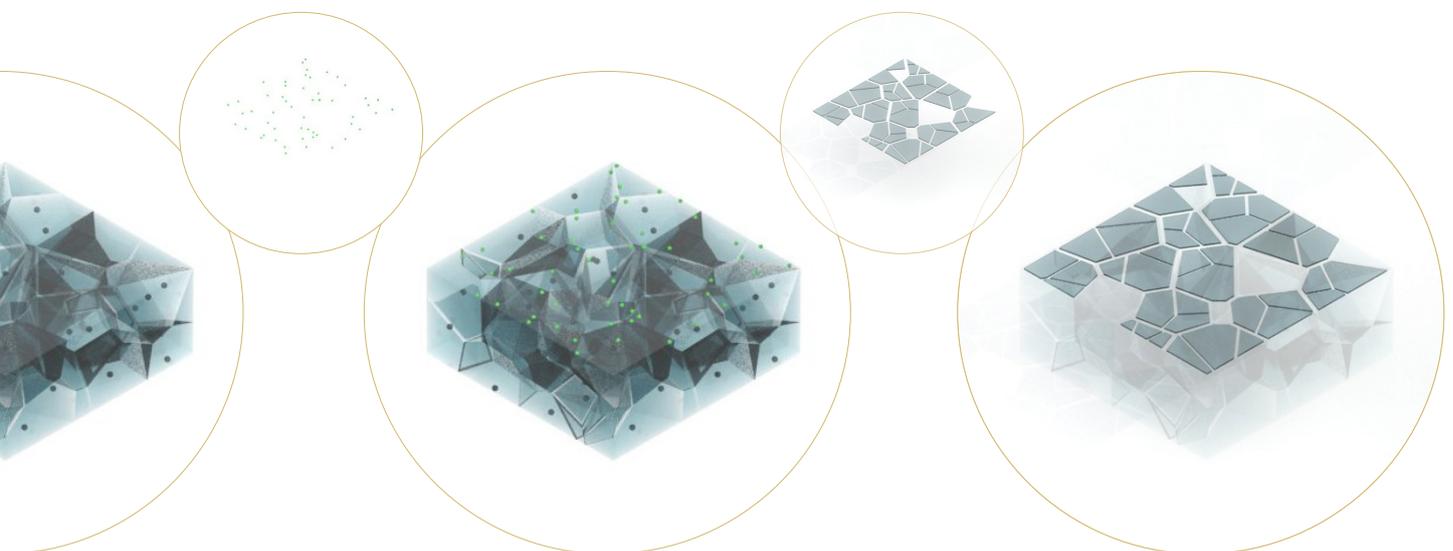


Abb.109. Prozess der Entstehung der Formen erster und zweiter Ordnung



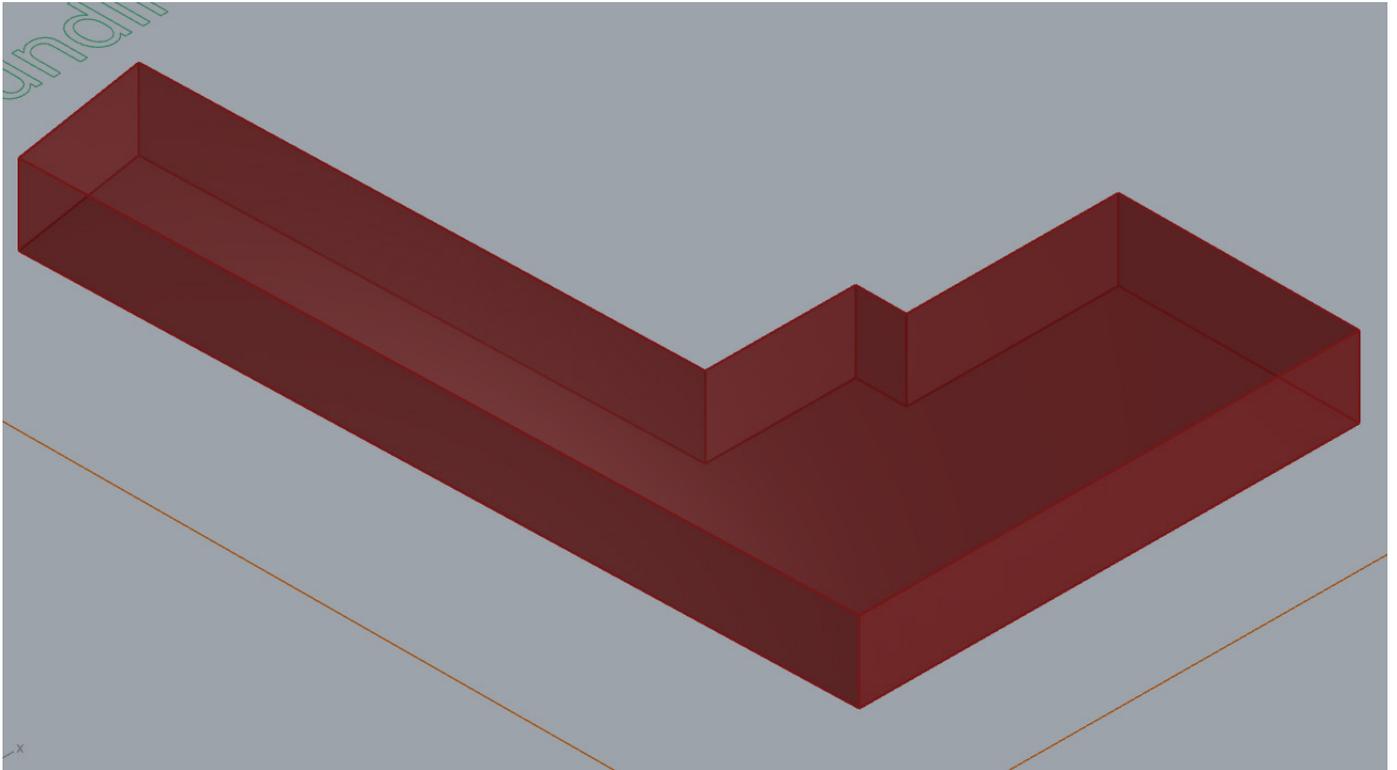


Abb.111. Prozessbild: Volumenmodell des Untergeschoßes

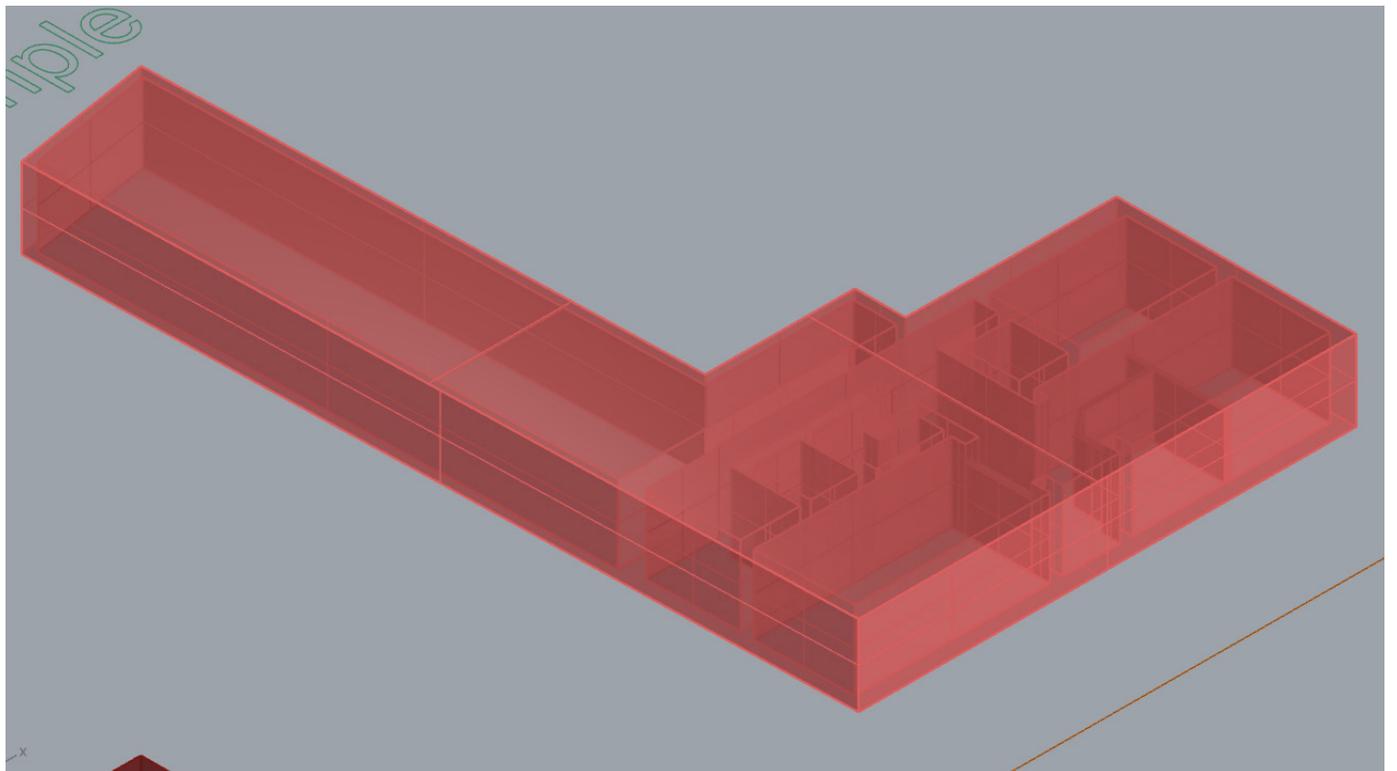


Abb.112. Prozessbild: Simple Modell der Wandgeometrien im Untergeschoß

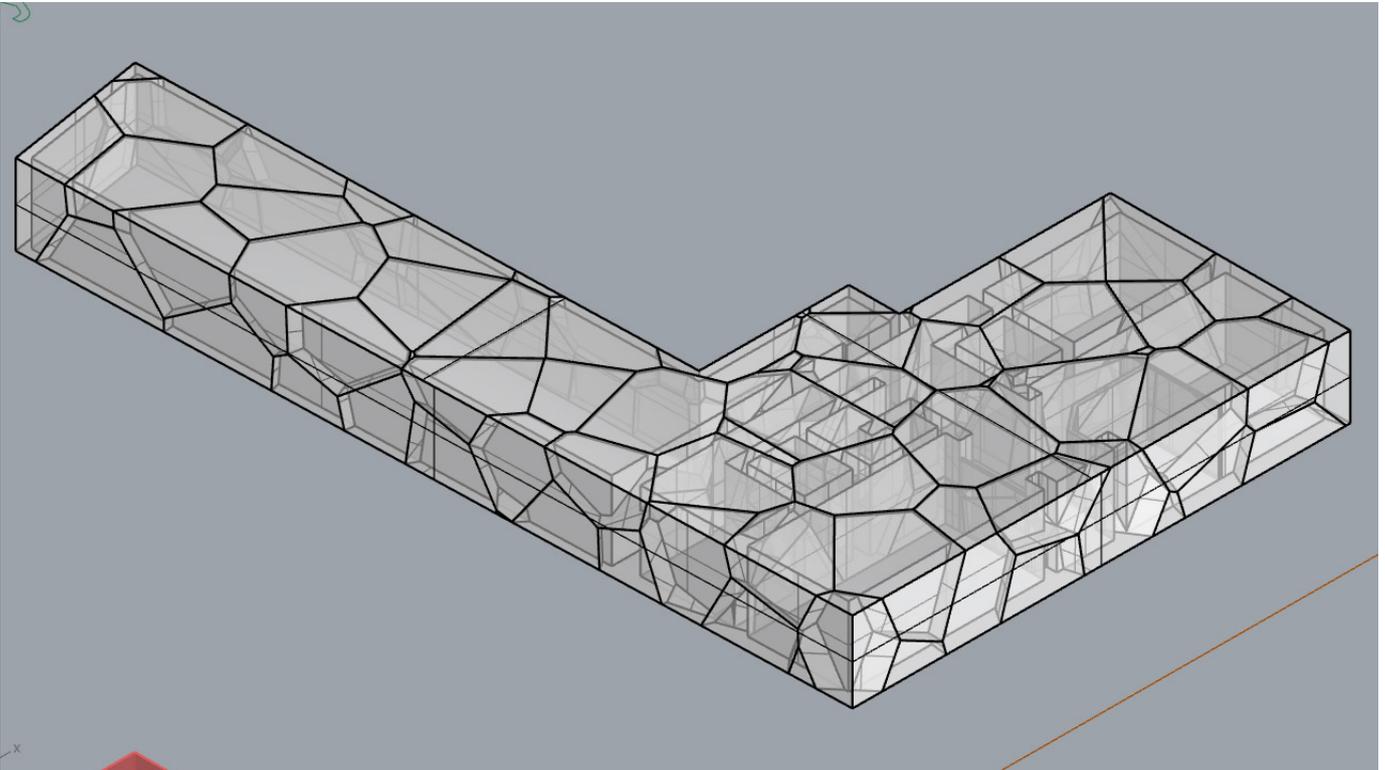


Abb.113. Prozessbild: Die Struktur erster Ordnung im Untergeschoß

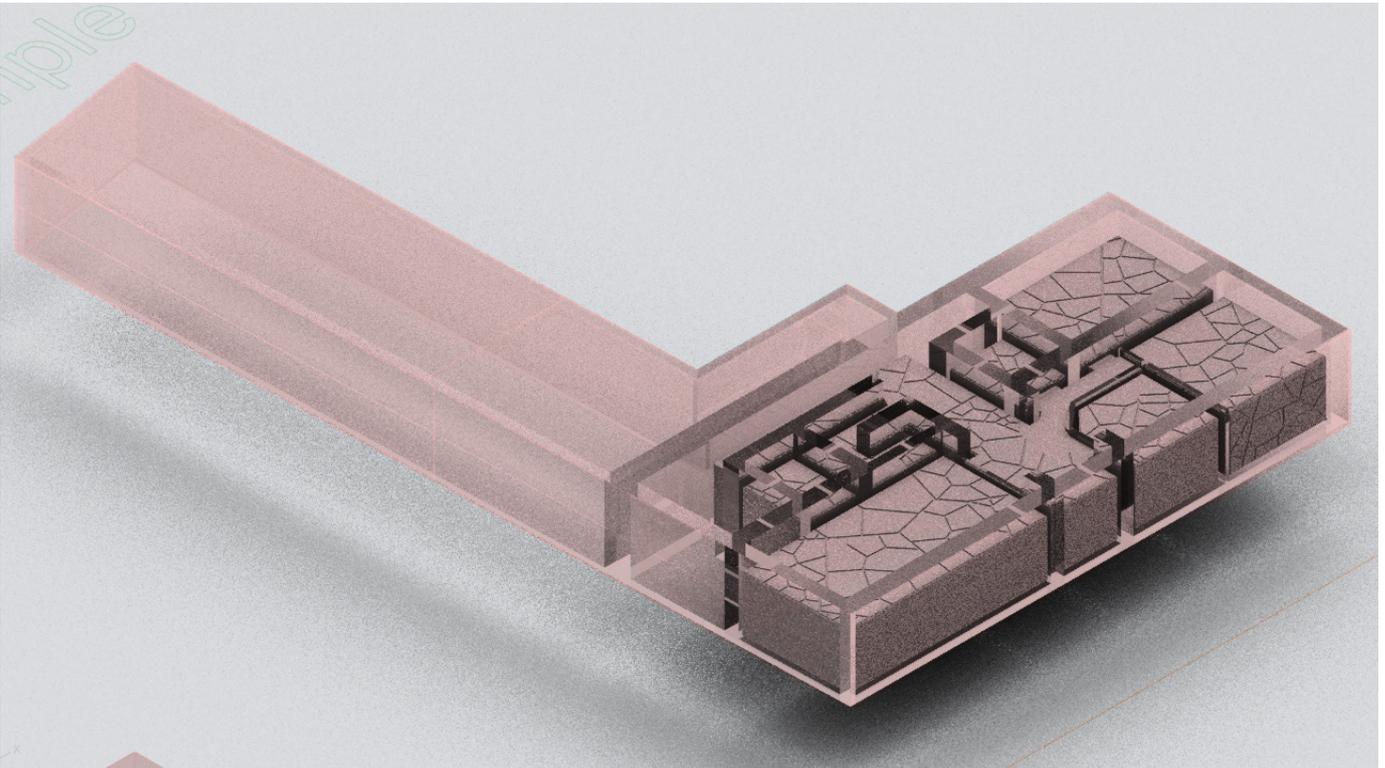


Abb.114. Rendering: Struktur zweiter Ordnung an die Oberflächen der Innenräume projiziert

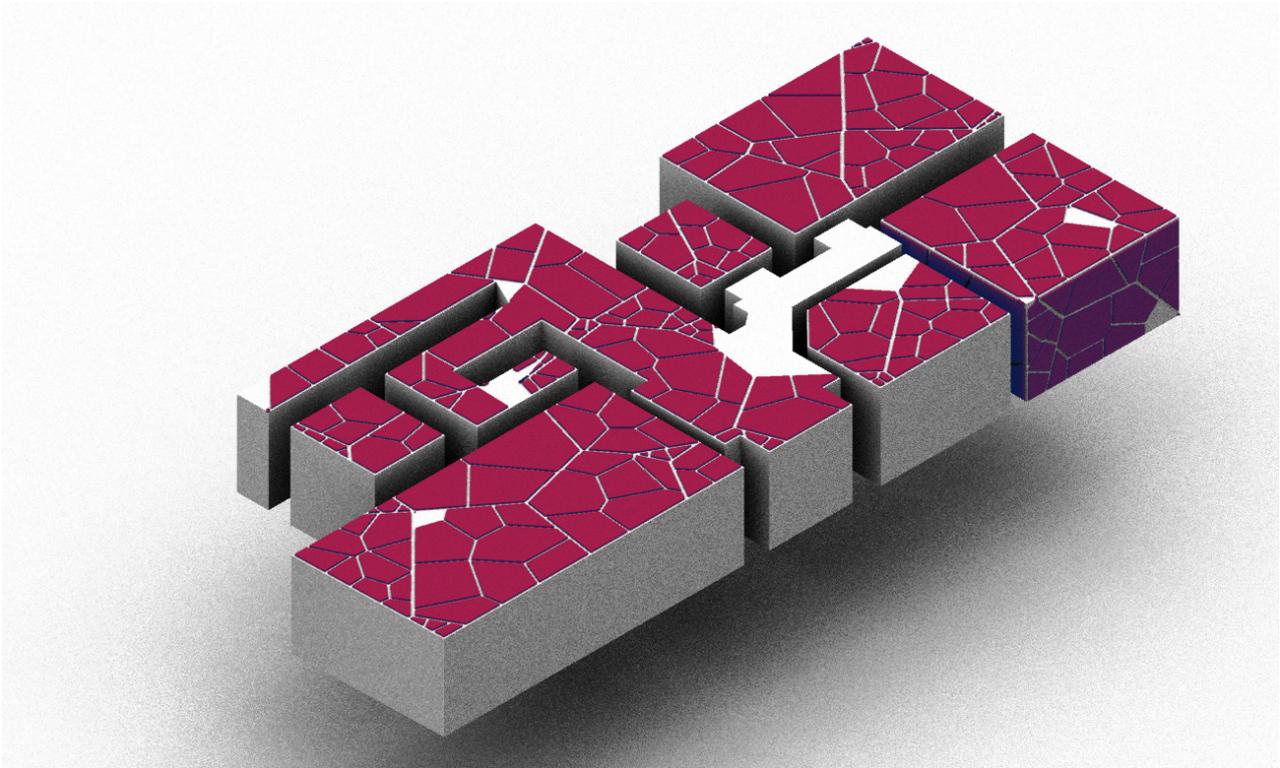


Abb.115. Rendering: Struktur zweiter Ordnung an den Decken der Innenräume

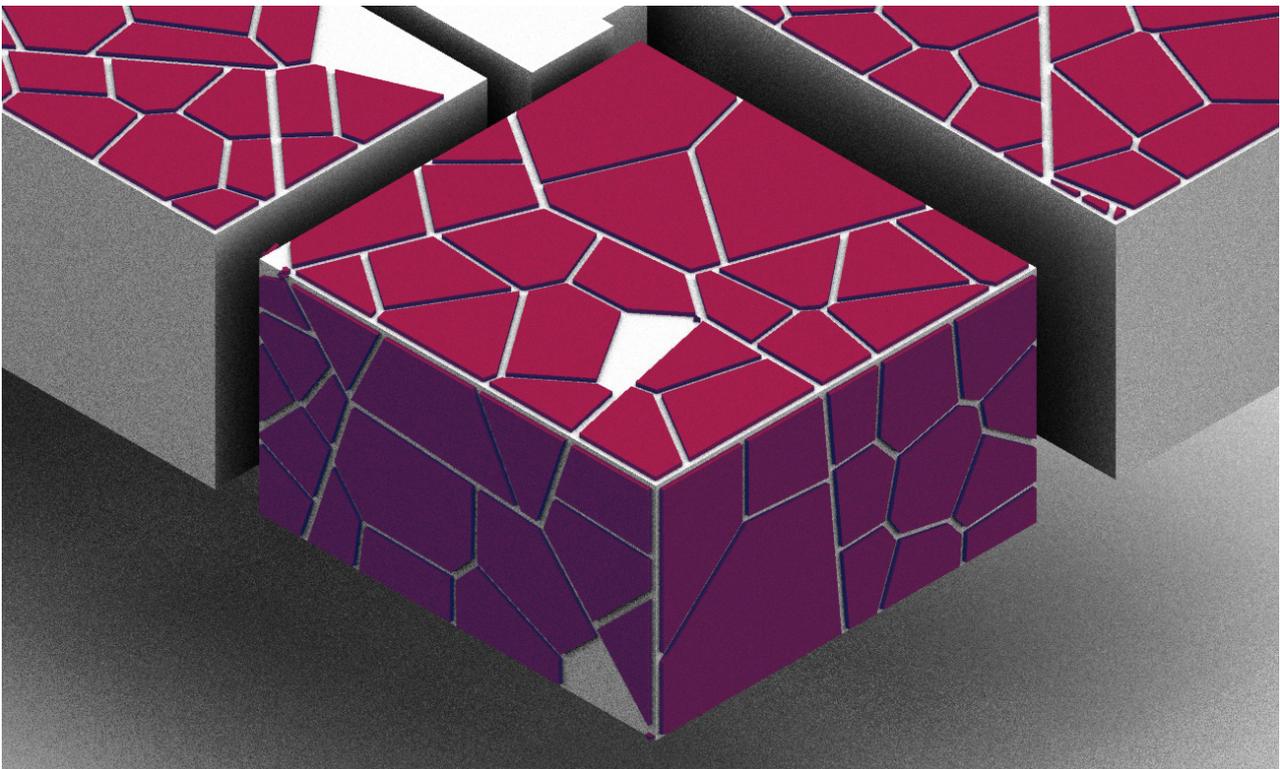


Abb.116. Struktur zweiter Ordnung an den Oberflächen des Innenraumes des Proberaumes 2

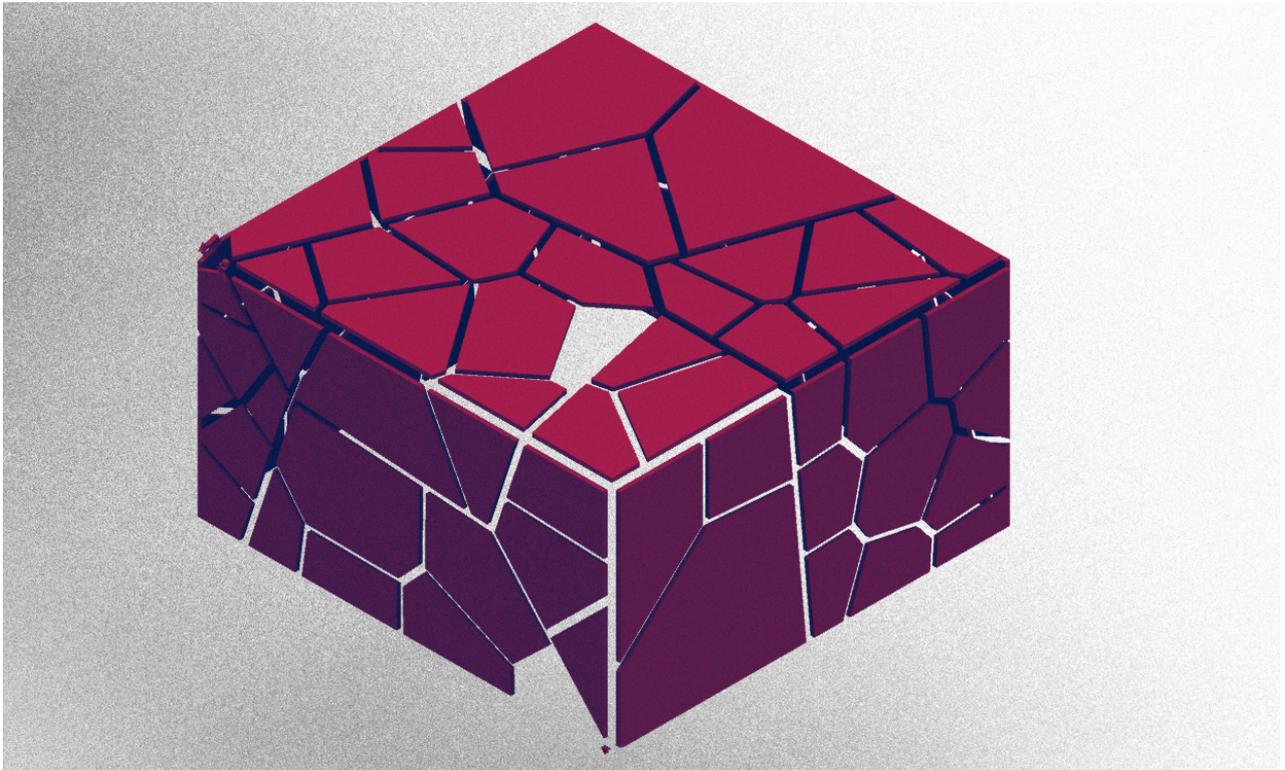


Abb.117. Rendering: Funktionsflächen für Beleuchtung und Akustikpaneele Proberaum 2

Abb.118. Umgang mit dem Bestand im Neuen Museum Berlin, David Chipperfield Foto: Gerald Mörth

Architektonisches Leitbild

STRATEGIE | METHODE | ENTWURF

DURCHFÜHRUNG

Modulation



„**C**harakteristisch für nahezu alle Durchführungen ist eine verstärkte Modulationstätigkeit, die oft auch in harmonisch weit entfernte Bereiche vordringt. Üblicherweise führen Durchführungen letztlich zu einem „Verweilen auf der Dominante“ (manchmal auch einer „falschen“), wodurch die Reprise harmonisch vorbereitet wird.“^[96]

96 <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonatensatzform>,
12.04.2020.

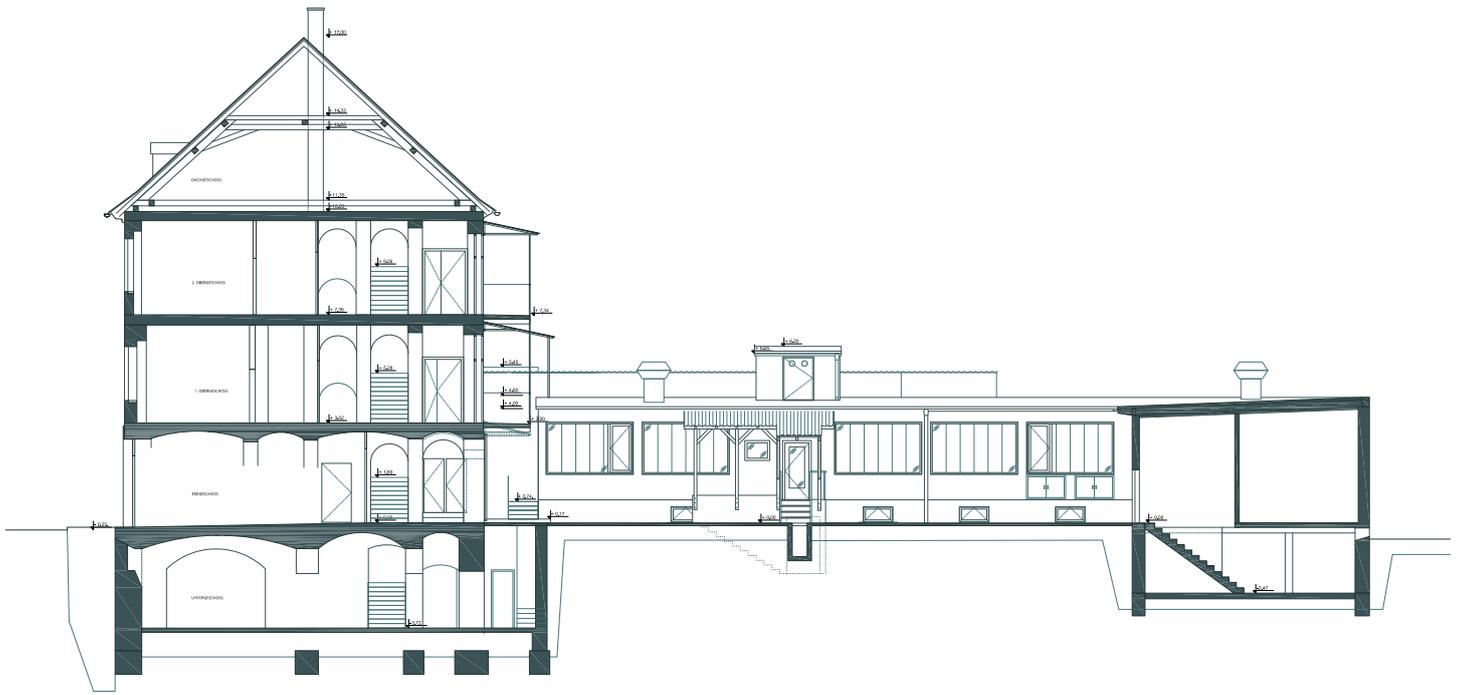


Abb.119. Schnitt B-B, M = 1:375

Baukörper

Die Baukörper der beiden Gebäudeteile bleiben äußerlich unbearbeitet.

Erschließung

Die bestehenden Erschließungen werden erhalten, aber funktionell verbessert: Ein Sichtfenster in der Kellertür in der Durchfahrt soll erhöhte Sicherheit in Bezug auf ein- und ausfahrenden Verkehr gewährleisten. Die Errichtung eines Vordaches über dem Kellerabgang im Hof wurde bereits von der Eigentümerin umgesetzt. Es soll der Erosion der Betrontreppe vorbeugen und besserem Regenschutz des Eingangsbereiches dienen.

Barrierefreiheit

Das Gebäude ist derzeit nicht barrierefrei. Ein Aufzug, der alle Geschosse des Haupthauses vertikal erschließt, ist grundsätzlich vorgesehen, wegen der beschränkten finanziellen Kapazitäten kann die Barrierefreiheit aber erst zu einem späteren Zeitpunkt bzw. in Zusammenarbeit mit der Eigentümerschaft hergestellt werden. Mit dem Errichten eines Aufzuges muss das Raumprogramm geringfügig abgeändert werden, da die einzig sinnvolle Stelle für einen Aufzug zwischen allen Geschossen im Durchgang zu den Sanitäranlagen des Kellers ist.

Raum- & Funktionsprogramm

Die Anordnung von Funktionsräumen sind im Altkeller allgemein durch den Bestand vorgegeben. Mithilfe einiger neuer Unterteilungen und einigen neuen Verbindungen sollen funktionelle Zusammenhänge räumlich in kompakten Blöcken gruppiert werden.

Funktionen

Die vier funktionellen Blöcke des Projektes sind die Bürobereiche, das Tonstudio, Lager- und technische Flächen sowie die Musikproberäume. Die drei Hauptbereiche Büro - Tonstudio - Proberäume sind baulich differenziert, um in den Proberäumen größere Fluktuation zu ermöglichen und Verwaltungsbereiche und Tonstudio als ruhigere Umgebungen zu etablieren. Der Verwaltungsbereich soll vom Betrieb gänzlich abgesetzt funktionieren und liegt deshalb im Erdgeschoß. Verschiedene Zugänge zu allen Bereichen und Verkehrsflächen sind ein wesentlicher Teil des Raumprogramms und waren gleichzeitig eine Herausforderung an den nachhaltigen Umgang mit dem verwinkelten Bestand und dem Platzangebot im Altbau.

Abb.120. Funktionsprogramm, M = 1:200



Räume

Block 1: Verwaltung & Büro

Büroarbeitsplätze sind nach geltendem Arbeitsrecht im Erdgeschoß vorgesehen, wo es natürliches Licht gibt und eine räumliche Differenzierung zwischen dem täglichen Betrieb im Untergeschoß und der Verwaltung stattfindet. Die Büroräume fungieren damit außerdem als repräsentative erste Anlaufstelle für Interessierte und KundInnen zur Straße hin. Die Räumlichkeiten in der kleineren nördlichen Hälfte des Gebäudes bieten Platz für zwei separat von der Straße erschließbare Büroräume und einen Lagerraum zum Hof, der als Teeküche genutzt wird.

Block 2: Tonstudio

Die Kapazität des Studiobereiches beschränkt sich auf eine kleinere Anzahl an Personen, weshalb dieser Teil bei der Flächenbemessung wie Wohnraum behandelt wird.

Eingangsbereich / Foyer und Aufenthaltsbereich

Der Eingangsbereich stellt eine Möglichkeit dar, persönliche Gegenstände für die Dauer der Aufnahmen sicher zu verwahren und anzukommen. In diesem funktionellen Bereich verbinden sich weitere Aufenthaltsqualitäten mit der Möglichkeit, in einer kleinen Teeküche einfache Speisen zuzubereiten und zu konsumieren.

Der Aufenthaltsbereich stellt eine Rückzugsmöglichkeit und Platz zur Entspannung für Musizierende und das Personal dar und ist räumlich getrennt vom Kernbereich des Studios, damit auch wartende MusikerInnen sich neben den konzentrierten Aufnahmearbeiten erholen können.

Kernstudio

Der Hauptabhörraum (Regie A), ein großer Liveraum, eine Vokalkabine und ein Trackingraum bilden eine geblockte Einheit, eine Tonregiekette, die auch im Arbeitsprozess als solche zu verstehen ist. Aufnehmende MusikerInnen und der/die ProduzentIn halten sich während der Aufnahmen in diesem Teil auf, um zu recorden. Das Kernstudio ist an der östlichen Stirnseite des Nebengebäudes verortet und wird über den Eingangsbereich vom Aufenthaltsbereich getrennt.

Raumgrößen

Das Tonstudio umfasst folgende Räume:

Hauptregie	22,5 m ²
Liveraum	31,0 m ²
Vokalkabine	4 m ²
Trackingkabine	4 m ² - 6 m ²
Aufenthaltsräumlichkeiten	40,0 m ²
Erschließung / Garderobe	29,9 m ²
Treppenhaus	4,8 m ²

Block 3: Technische Flächen

Haustechnikzentralen, Werkstätten sowie Lagerräume im UG bilden eine getrennt von Tonstudio und Musikproberäumen erschließbare Schleife, die zentral liegt und über versperrbare Zugänge verfügt.

Werkstätten

Eine elektrotechnische Werkstatt und eine mechanische Werkstatt sind wesentlicher Bestandteil des Projektes und wichtig für spätere Wartungsarbeiten an Gerätschaft und Instrumentarium. Während der Bauarbeiten bieten sie außerdem Platz für die Herstellung spezieller Bauteile und Prototypen. Sie sind im funktionellen Block mit Lager- und Technikräumen zentral angelegt.

Aufnahmeräume



Erschließungsflächen



Sanitär



Proberäume



Aufenthaltsräume



Lager



Werkstatt

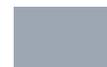


Abb.121. Raumprogramm. M=1:200



Sanitäranlagen

Eine Unisextoilette mit 2 WCs sowie eine getrennt begehbare Dusche mit WC sind im Obergeschoß des halbhoher Zwischenstockes geplant. Bei Veranstaltungen können die beiden Räume als getrennte Damen- und Herrentoiletten genutzt werden, im Normalbetrieb steht der Duschaum nur den StudionutzerInnen zur Verfügung.

Lagerflächen

Zentrale Lagerflächen für Instrumentarium und Geräte können vom Tonstudio und den Musikproberäumen im Altkeller erschlossen werden. Der Lagerraum für Instrumente erfüllt dank versperrbarer Kästen eine Doppelfunktion als Bühnenerschließung (ohne Aufenthaltsqualitäten) für Bands.

Haustechnik

Serverraum und der Hauptstromverteiler sowie eine Brandmeldezentrale und ein Videoüberwachungssystem sind im versperrten Durchgang in geschlossenen Kästen gesichert. Die Lüftungszentrale ist ebenfalls im unteren Teil des halbhoher Zwischengeschoßes geplant und wird zeitgleich als Lagerraum und Werkstatt genutzt.

Räume

Gang	7,5 m ²
Werkstatt 1 / Belüftungszentrale	11,3 m ²
Lager	7,3 m ²
Werkstatt 2	11,9 m ²
Haustechnikzentrale	4,8 m ²
Treppenhaus	6,6 m ²
Duschaum mit WC	7,9 m ²
Unisextoilette	8,5 m ²
Lager Instrumentarium	18,4 m ²

Block 4: Musikproberäume

Block 4 bespielt im Wesentlichen den gesamten Altkeller und organisiert sich wiederum in zwei funktionelle Bereiche: Im südlichen Teil des Altkellers liegen vier Proberäume, die über einen gemeinsamen Gang erschlossen werden. Im nördlichen Teil liegen eine zweite Regie (B), ein Lagerraum und ein großer Proberaum / Veranstaltungsraum.

Foyer, Küche und Aufenthaltsbereich

Ein klar definierter Bereich zwischen den Bereichen fungiert als Verteiler zwischen dem Außenbereich, den beiden Probereichen, den Sanitär- und technischen Anlagen und erfüllt eine Schleusenfunktion. Der Bereich soll Musizierenden im Probebetrieb die Möglichkeit bieten, bequem zu warten, persönliche Gegenstände (versperrt) zu lagern und gemütlich ins Gespräch zu kommen.

Für die Zubereitung einfacher Speisen und Getränke ist eine Teeküche vorgesehen. Der gesamte Block 4 kann in einer alternativen Nutzung als Veranstaltungslokal bespielt werden. Der große Raum im nördlichen Teil bietet die Möglichkeit kleinerer öffentlicher Aufführungen. Zu diesen Anlässen kann die Teeküche über ihre Durchreiche als kleine Bar funktionieren, die größeren Proberäume als weitere Darbietungsräume mit intimer Atmosphäre und das Foyer als Empfangsraum dienen.

Proberäume

Vier verschiedene Proberäume, die getrennt, jedoch über einen gemeinsamen Gang erschlossen werden, bieten unterschiedlichen Anwendungen im südlichen Bereich Platz: Ein großzügiger Proberaum für acht bis zwölf Personen (Rockbands, Funkband mit Bläsern), ein Proberaum für Rock- und Popbesetzungen mit sechs bis acht Personen, ein kleiner Bandproberaum für Duette, Trios und Quartette, (z.B. Jazzstandards oder Kammermusik) sowie eine kleine Kammer für Einzelmusizierende bzw. das Üben von Schlagwerk und Percussion sind geplant.

Veranstaltungsraum

Ein großer, hybrid verwendbarer Probe- bzw. Veranstaltungsraum mit flexibler Bestuhlung und mobilen Bühnenelementen bietet eine multifunktionelle Nutzungsmöglichkeit und kann nach Bedarf angepasst werden. Der Raum schließt sich an den („öffentlicheren“) Musikproberaumbereich an, wo sanitäre Anlagen, Küche / Bar, Garderoben und Aufenthaltsbereiche im Veranstaltungsfall mitgenutzt werden können.

Der Veranstaltungsraum ist sowohl für interne Veranstaltungen, wie etwa Schulungen, als auch für öffentliche Aufführungen mit musikalischen Darbietungen gedacht.

Nebenregie

Die Nebenregie ‚B‘ ist als Produzentenraum mit guter Abhörqualität bzw. als zweite Abhöreinheit für zeitgleiche Aufnahmen verschiedener Instrumente bei größeren Bandproduktionen geplant. Sie ist damit ein unabhängig von der Kernstruktur des Tonstudios bespielbarer Teil des Studios und findet deshalb im Block 4 Platz. Wie alle Räumlichkeiten ist die Regie mittels Videosignal optisch mit allen Räumen im Kernstudio verbunden.

Aus dem Standort ergibt sich die Möglichkeit, direkt aus den Proberäumen aufzunehmen.

Raumgrößen

Probe- und Veranstaltungsraum	52,3 m ²
Nebenregie	8,2 m ²
Verteilergang	10,8 m ²
Garderobe	16,3 m ²
Abstellraum	1,7 m ²
Teeküche / Bar	8,9 m ²
Foyer	35,3 m ²
Treppenhaus	11,6 m ²
Abstellraum	4,0 m ²
Musikproberaum 1	33,6 m ²
Musikproberaum 2	27,9 m ²
Musikproberaum 3	17,3 m ²
Musikproberaum 4	7,7 m ²

Planung

Der algorithmische Entwurf gibt Form und Lage der funktionellen Elemente an Wänden und Decke vor. Diese werden in einer symbolischen Anlehnung an die Wertfreiheit des Entwurfes und aufgrund der exzentrischen Formgebung in schlichtem Weiß gehalten, um die Formsprache zu akzentuieren.

Die Decke gestaltet sich als ein durchgängiges horizontales Element, das sich wahrnehmbar durch das gesamte Gebäude erstreckt. Mit der Funktion ändert sich auch die Materialität. In den Gängen und Aufenthaltsbereichen ohne akustische Anforderungen sind die Deckenpaneele als verputzte Gipskartonkassetten ausgeführt und kleiden sich visuell in einem Verbund mit den vertikalen Scheiben als Putzoberfläche.

Wo die akustische Funktion es erfordert, werden Paneele als textil bespannte Elemente ausgeführt und so über die Materialität auch ihre Funktion unterstrichen.

Als weitere Gestaltungselemente werden Materialien aufgegriffen, die sich bereits an Ort und Stelle befinden - oder einmal befanden: Von den Weinfässern, die im Keller gelagert wurden, leitet sich das Material Eiche und Esche für die Gestaltung der horizontalen Bödenflächen in Aufenthaltsräumen und Funktionsräumen sowie der Beleuchtungsmodule an der Decke und der Möbel ab.

In der Gestaltung der technischen Flächen kommt die Analogie der Kohle als farbgebender Faktor zur Anwendung - wie schon die Gussasphaltböden und die Farbgebung vieler Wände und Decken im Ska werden Elemente wie Möbel und Böden der Lager- und Werkstättenräume betont kontrastreich in Schwarz ausgeführt.

Mit der Ausgestaltung der Beleuchtungselemente, denen im tageslichtfreien Untergeschoß besondere Beachtung zukommt, werden im ganzen Keller stellenweise Fenster in die Gewölbestruktur darüber geschaffen: Die Leuchten sind als Teil des algorithmischen Musters als polygone LED-Linienleuchten konzipiert, die an den Kanten der Muster entlanglaufen. Als Teil der Gewölbeleuchtung und um den Raum spürbar über die abgehängte Decke zu erweitern, sind alle Deckenpaneele mit LED-Dioden bestückt, die als diffuses Licht die Abstände zwischen den Formen an der Decke und die senkrechten Flächen der Paneele beleuchten und der Decke so mehr Körper verleihen.

Der Putz, der im Laufe der Geschichte immer wieder als Oberfläche angebracht und abgeschlagen wurde, wird ausgebessert und weiß gekalkt. Wo sich kein Putz be-

findet oder stellenweise andere Oberflächen im Gebäude vorherrschen, laufen die Putzflächen in das algorithmische Muster und letztlich in die bestehenden Ziegel- und Steinwände aus und bleiben offen sichtbar. Dabei ergibt sich aus dem Bestand eine Verdichtung des algorithmischen Musters nach innen - zum Foyer hin und im Treppenhaus löst sich das Muster nach dieser Regel in den bestehenden Ziegelwänden auf, während es nach innen im Putz verschwimmt und nur noch an der Decke wahrnehmbar ist.

Konstruktion & Bauweise

Dem massiven Bestand werden im Altbau Wandscheiben in mehrfach beplankter Trockenbauweise hinzugefügt und der Raum funktionell neu unterteilt. Die Ausführung der Wände im Nebengebäude erfolgt als Raum-in-Raum Konstruktion, je nach schalldämmendem Erfordernis in Leichtbauweise und / oder Massivbauweise aus vergossenen Hohlblocksteinen.

Schallschutztüren werden als mehrschichtige MDF-Elemente hergestellt und trennen für verbesserten Schallschutz mit Bodeneinstand die Fußbodenaufbauten angrenzender Räume. Schwellen sind in Hinblick auf spätere Barrierefreiheit mit minimaler Anschlagshöhe als Auflaufdichtung geplant.

Fußböden im Altkeller erfolgen in Leichtbauweise aus einer Holzunterkonstruktion und einer Beplankung mit verleimten OSB/3 Platten. Um eine ebene Bodenfläche zwischen den verschiedenen Niveaus des Altkellers herzustellen, wird die Unterkonstruktion als Ausgleichsebene konstruiert. Auf eine Trittschalldämmung folgt Vollholzbelag.

Wirtschaftlichkeit

Die Planung sieht einen Ausbau in mehreren Schritten vor. Diese Vorgehensweise ist einerseits dem experimentellen Charakter des Vorhabens geschuldet und ermöglicht andererseits einen Teilbetrieb, in dem laufende Einnahmen zur Fertigstellung des Projektes lukriert werden können. Zuerst wurden die Büroräume (Block 1) saniert und in Betrieb genommen. Im nächsten Bauschritt wurden die zentralen Technikräume und die Infrastruktur parallel zu Block 4, den Musikproberäumen, errichtet und ausgestattet und ermöglichen bereits einen Probebetrieb. Im letzten Schritt wird der Tonstudiobereich ausgeführt. Mit wenigen Ausnahmen (z.B. Schweißarbeiten) werden alle Arbeiten in Eigenleistung der Projektbetreiber erbracht.

Bestandsvermessung

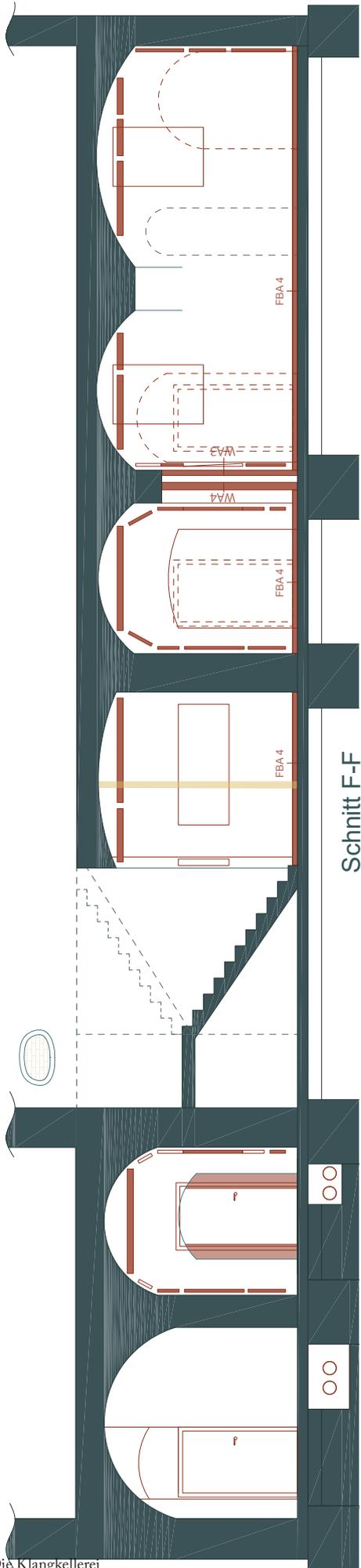
Aus einer Digitalisierung der Pläne von 1950, 1972, 1980 und 1999 wurden zunächst Pläne gefertigt, die zum Abgleich unentdeckter Leitungsführungen und als Referenz zur Vermessung der Naturmaße dienten. Bis 2017 wurden in einer Mischung aus Verifizierung vorliegender Plandaten und Neuvermessung und in mehreren sich überschneidenden Teilstücken Bestandspläne des Kellers erstellt. Die verwendeten Messgeräte umfassten Laser-Entfernungsmessgeräte zur genaueren Abnahme größerer Längenmaße und zur genaueren Triangulation der vielen unregelmäßigen Winkel sowie analoge Instrumente für Detailmessungen.

Bei der Vermessung wurde neben der Ermittlung verlässlicher Naturmaße besonders auch auf die Erhebung von Leitungsführungen und Bauteilaufbauten geachtet, die als planerische Grundlage für die bauakustischen Überlegungen und als Ersatz für aufwändige und kostenintensive geeichte Messungen dienten.

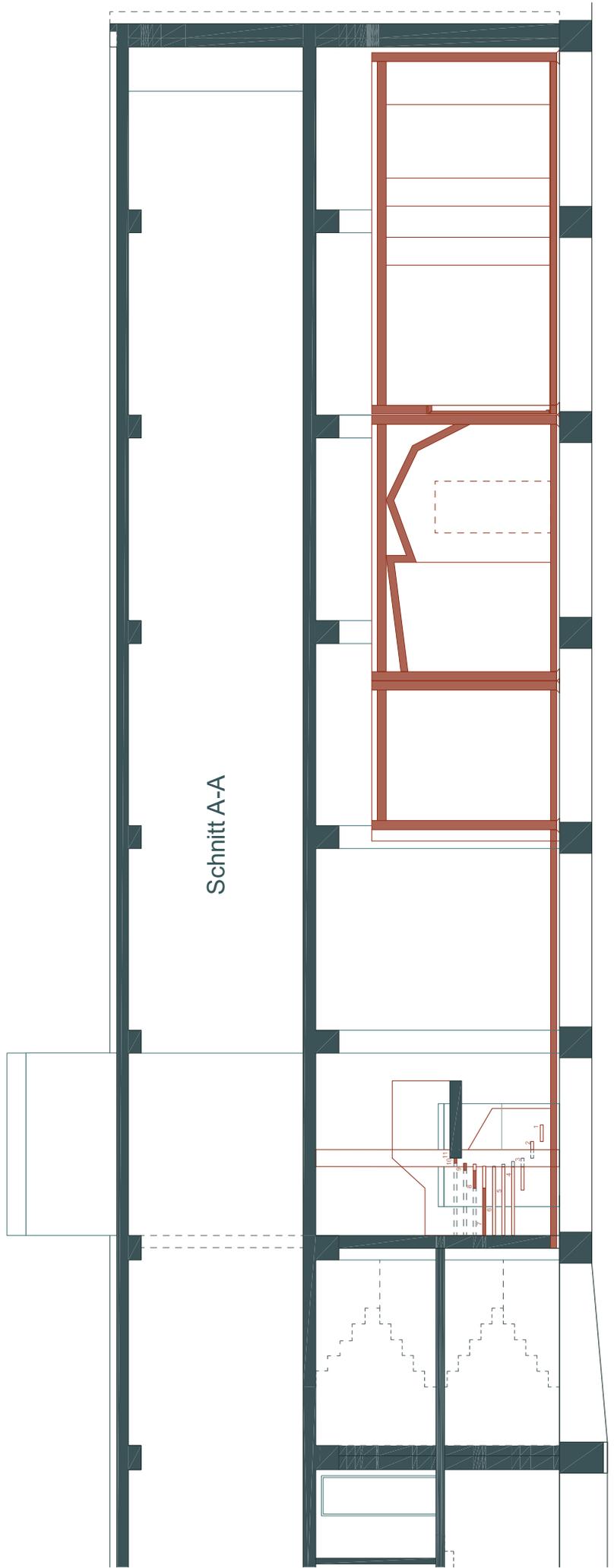
Zuletzt wurden Anfang 2020 von der Firma ecoplan Baumanagement GmbH, auch aus den im Rahmen des Projektes erhobenen Vermessungsdaten, erstmals ganzheitliche Pläne des Gebäudes gezeichnet.

Abb.122. Entwurfspläne - Grundriss. Pläne: Gerald Mörth





Schnitt F-F



Schnitt A-A

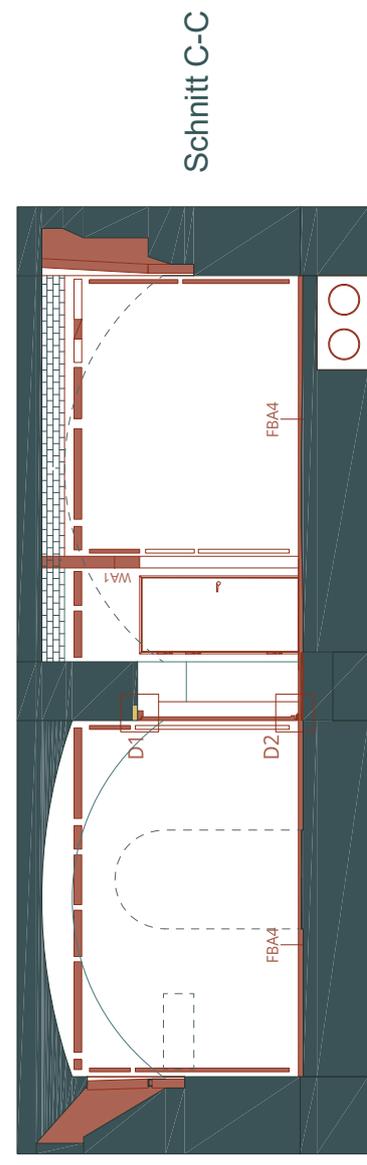
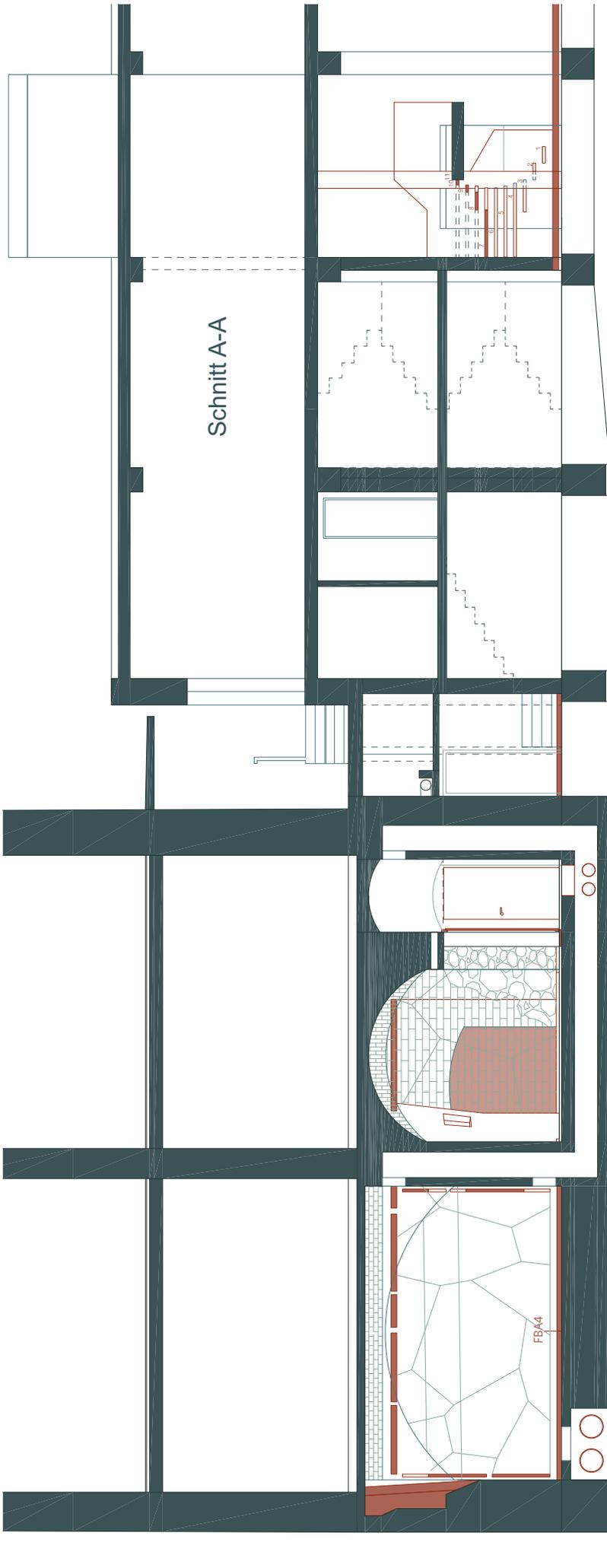


Abb.123. Entwurfspläne – Schnitte. Pläne: Gerald Mörth

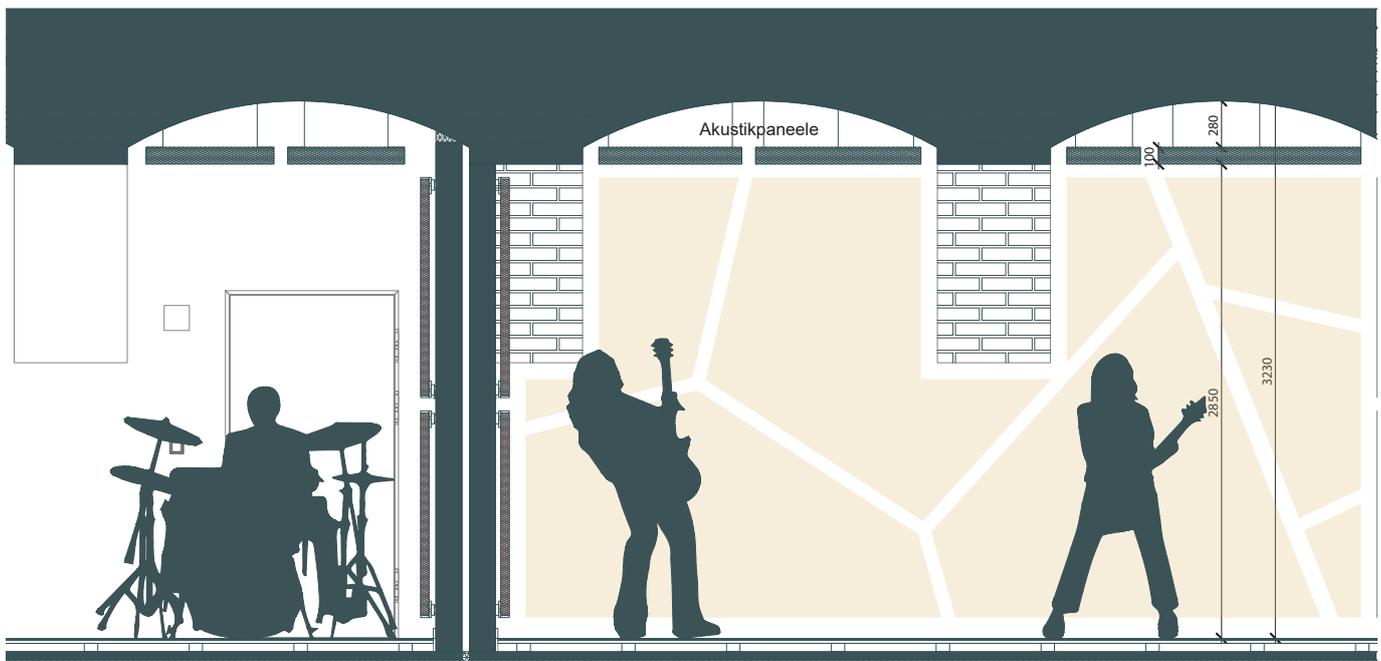


Abb.124. Bemafte Skizze Akustikpaneele in Proberäumen.

Akustikplanung

Ergänzend zu den Ausführungen zur geplanten Nutzung in der Exposition soll an dieser Stelle auf spezielle Anforderungen und Maßnahmen in einzelnen Bereichen und Räumen eingegangen werden, die sich konzeptionell von der allgemeinen Akustikplanung abheben.

Allgemeines Konzept

Decken und Wände in den Proberäumen werden großflächig mit Mittenabsorbern verkleidet, die die Nachhallzeit in den mittigen Frequenzen kontrollieren. Alle Räume werden nach Fertigstellung mittels Messung über das gesamte Frequenzband analysiert und danach letztgültig mit entsprechenden weiterführenden Maßnahmen zur Kontrolle der Nachhallzeiten in tieferen Frequenzen optimiert. Diese Maßnahmen sind voraussichtlich Bassfallen, die nach spezifischer Anforderung nachgerüstet werden.

Besonders resonante Frequenzen (Moden, stehende Wellen) werden nach Messergebnis mit Helmholtz- und Plattenresonatoren verkürzt.

Proberäume 1-3

Die multifunktionalen Räume sind mit trockener Akustik für flächendeckende Nutzbarkeit ausgelegt.

Wände des Bestands wurden bei der Sanierung leicht geneigt, um Reflexionen in die Decke zu leiten.

Proberaum 4

Der Perkussionsraum ist aufgrund seiner Größe möglichst schalltot gestaltet mit Nachhallzeiten von 0,3 s, linear über alle Frequenzen.

Proberaum 5

Der Veranstaltungsraum für musikalische Darbietung soll mit variabler Akustik gestaltet werden und einerseits mithilfe von Mittenabsorbern gute Aufnahme- und Probeakustik aufweisen. Mit wenigen Handgriffen soll eine gerichteterere lebhaftere Akustik für Sprachdarbietungen herstellbar sein.

Vorstellbar sind wechselbare Bezüge und tauschbare Wand- und Deckenelemente. Eine spezifische Lösung ist nicht Teil dieses Projektes.

Infrastrukturplanung

Allgemeines

Für moderne multifunktionelle Studios ist vor allem die Zukunftstauglichkeit ein Qualitätsmerkmal der Infrastruktur: Änderungen von Standards und neue Technologien in der Signalübertragung sind immer denkbar und Revisionen und Ergänzungen, besonders von Kabelwegen, sollten immer leicht machbar sein.

Verteilerzentralen (Strom, Netzwerk, Brandschutz, etc.) sind deshalb leicht zugänglich und veränderbar, Kabelwege - so weit baulich möglich - als offene Kabeltrassen und wartbare Kabelkanäle geplant.

Studioinfrastruktur

Audio

Direkte Audioverbindungen spielen in der modernen Studioinfrastruktur eine untergeordnete Rolle, da die digitale Signalübertragung über lange Strecken per Netzkabel wesentlich effizienter und kostengünstiger ist. Lokal zwischen Geräten und für bestimmte Anwendungen finden konventionelle Audioverbindungen aber derzeit noch Anwendung, deshalb werden in der ersten Produktionskette auch direkte analoge Audioverbindungen vorgesehen. Die Verbindung zwischen Regie B und den Proberäumen 1-3 erfolgt in Form eines symmetrischen Multicorekabels mit 8 Wegen.

Video

Zwischen allen Liveräumen und Regieräumen ist eine Sichtverbindung mittels Kamera / Bildschirm geplant, da eine direkte Sichtverbindung vielerorts nicht möglich ist. Auf diese Weise soll Aufnehmenden jederzeit der Eindruck möglich gemacht werden, sich „nebenan“ zu befinden. Pro Raum kommen jeweils zwei RG59-Koaxialleitungen zum Einsatz, die sich für die Live-Übertragung von HD-SDI Signalen eignen.

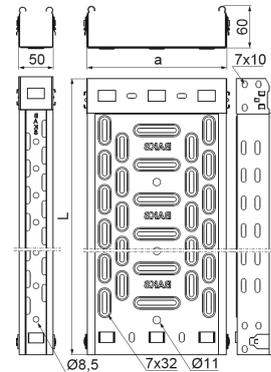


Abb.125. Kabelrinne Firma BAKS



Abb.126. 8-fach Multicore mit XLR Steckverbindungen, Custom Lynx.



Abb.127. RG58 BNC Koaxialstecker, Foto: Cablematic.



Abb.128. CAT 7-Netzwerkkabel mit vergoldeten Steckern, UGREEN.

CAT 7 - Netzwerk

Die Übertragung von Audiodaten bei Tonaufnahmen im Studio und die Übertragung aller konventionellen Daten zwischen PCs/MACs und dem Datenserver erfolgt im gesamten Komplex über hochleistungsfähige CAT 7 - Verbindungen. Diese schnellen Netzwerkleitungen sind multifunktionell und derzeit hoher Standard in der professionellen Netzwerktechnik.

Die direkte Vernetzung aller Räumlichkeiten untereinander, mit dem internen LAN oder dem Internet erfolgt über eine versperrbare Schnittstelle (das Patchfeld) im Netzwerkverteiler, an der mittels Steckverbindungen die jeweils benötigten Verbindungen flexibel gesteckt werden können. Diese Variante ermöglicht alle benötigten Optionen an Verbindungen und gewährleistet einen sicheren Datenaustausch bei Aufnahmen, verhindert aber auch eine ungewollte physische Verbindung in das interne Netzwerk und ist damit auch Teil der Datensicherheitsstrategie.

Angebunden sind die Proberäume 1 bis 4 jeweils mit einem CAT 7 Duplexkabel, Proberaum 5 über drei Duplexkabel und die Regie B über zwei Duplexkabel.

Haustechnik

Strom

Das Stromnetzwerk ist im Wesentlichen als funktionelle betriebliche Anlage geplant. Bedarf an Drehstromanlagen für leistungsstarke Maschinen besteht generell nicht über das gewöhnliche Haushaltsmaß hinaus, elektronische Geräte im gesamten Studio bewegen sich in der Leistungsaufnahme ebenso in üblichen Haushaltsgößen. Der Hauptstromverteiler befindet sich in der Verteilerzentrale im Technikraum und wird aus der 20 kV-Transformationsstation im Nebengebäude mit 400 V – 80 A gespeist. Von dort aus erfolgt die Verteilung aller Stromkreise für Licht und Schukostrom für den gesamten Komplex.

Die Proberäume sind jeweils über einen eigenen Verteilerkreis mit einer max. Leistungsaufnahme von 3600 W abgedeckt, um den sicheren Betrieb von Verstärkern und PA-Anlagen zu gewährleisten. Eine vollständige Liste der Verteilerkreise befindet sich im Appendix.

Licht

Die Beleuchtung im gesamten Komplex ist als netzwerkbasierendes, intelligentes Beleuchtungssystem ausgeführt, das auf Personenbewegung ebenso wie auf manuelle Steuerung reagiert. Die Lichtsteuerung erfolgt über das OpenSource Smarthome System *openHAB*, das sich in vielen Tests als verlässliche und vielseitige Softwarelösung erwiesen hat, die sich nahtlos in andere Systeme integrieren lässt.

Die Software erlaubt dabei nicht nur einen Fernzugriff auf das Beleuchtungssystem, also beispielsweise ein Abschalten aller Lichtquellen von zu Hause aus, sondern auch die Erfassung und Protokollierung von Daten, wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur, CO₂-Gehalt, etc. aus einem Sensorenarray in jedem Raum. Eine Anbindung an das Belüftungssystem soll in weiterer Folge zu einem konstanten Raumklima und ökologischen Stromverbrauch beitragen.

Alle Nicht-Aufenthaltsräume (Gänge, Treppen, Technikräume, Abstellräume) sind mit Bewegungsmeldern versehen und Lampen in diesen Räumen schalten nach einer Zeitspanne automatisch ab, um den Stromverbrauch zu senken. Die Lichtschalter in allen anderen Räumen sind nicht - wie konventionelle I/O Schalter - an das Lichtstromnetz angebunden, sondern schalten über ein Steuersignal im *openHAB*-Netzwerk die Stromzufuhr manuell um. Da dimmbare Leuchtmittel eingesetzt werden, ist auf diese Weise mit mehrmaligem Betätigen der

Schalter auch ein Durchschalten zwischen verschiedenen, voreinstellbaren Beleuchtungsmodi möglich, z.B.: 0% (dunkel) -> 25% -> 50% -> 75% -> 100% -> 0% usw.

Belüftung

Um alle Räumlichkeiten im Untergeschoß mit Frischluft zu versorgen, ist eine zentrale, mechanische Belüftung für das Hauptgebäude und eine dezentrale, kleinere Einheit für das Nebengebäude geplant. Aufgrund verschiedener Lärmschutzauflagen sind hocheffiziente schalldämpfende Maßnahmen an allen Schwellenpunkten zwischen Räumen mit hohen Schalldruckpegeln vorgesehen. Die gesamte Belüftung ist als aktive Wohnraumbelüftung (inkl. leichter Überkapazitäten) mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten geplant.

Um die Gestaltung der Gewölbe und das ästhetische Gesamtbild der Akustikmaßnahmen an der Decke nicht zu stören, wurde die gesamte Belüftungsanlage im Boden verlegt.

Wasser

Das Wassernetz stellt eine potenziell gefährlich effektive Schallbrücke dar. Die Leitungsführung ist deshalb derart geplant, dass es zu keinem Punkt zu unerwünschter Schallübertragung kommen kann: Der bestehende Anschluss an das örtliche Wassernetz erfolgt für das Haupt- und Nebengebäude über Leitungen im Foyer des Haupthauses straßenseitig und wird über zwei Kaltwasserleitungen einmal in das Hauptgebäude (Steigleitung im Foyer) und einmal in das Nebengebäude geleitet. Hauptabsperrventile sind im Umverteilerknotenpunkt im Abstellraum neben der Küche bzw. dem Foyer geplant. Die Leitungsführung ermöglicht einen Anschluss der Küche im UG und der WC-Anlage im Halbgeschoß an die Leitung zum Nebengebäude.

Abwässer aus der Küche / Bar im Untergeschoß müssen mittels Hebeanlage über eine Rücklaufschleife auf das Hauskanalniveau gepumpt werden, die Nasszellen liegen über der Kanalsohle und können direkt in den Mischwasserkanal entwässert werden.

Der Mischwasserkanal, auf den ein ähnliches Schallübertragungspotential entfällt, verläuft bereits als Bestand unproblematisch durch Küche und Gang, bzw. Lagerräume und muss nur im Verlauf des Proberaums 5, wo er aus dem Gebäude in das öffentliche Kanalnetz austritt, akustisch bedämpft werden. Hierfür ist eine luftdichte Umkofferung in Trockenbauweise mit Revisionsöffnung sowie ggf. ein Tausch der Rohrteile gegen schalldämmende Elemente geplant.

Sicherheit

Brandschutz

Das Brandschutzkonzept sieht eine klare Fluchtwegbeschilderung, kurze Wege und ausreichende Fluchtwegbreiten unter Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben vor. Geringe Brandlast soll v.a durch brandhemmende Vorbehandlung textiler Oberflächen (Akustikpaneele, Vorhänge, etc.) und den Einsatz nicht brennbarer Oberflächen erzielt werden.

Alle Räume sind am höchsten Punkt mit optischen Rauchmeldern ausgestattet, die per Ringleitung mit der Brandmeldeanlage verbunden sind und im Brandfall per Modem direkt mit der Feuerwehr kommunizieren. Zuluftauslässe sind grundsätzlich bodennah bzw. als Bodenöffnungen ausgeführt, die Abluftabsaugung erfolgt deckennah. Auf diese Weise kann das Belüftungssystem mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten dazu beitragen, aufsteigendes Rauchgas im Brandfall abzuführen und Frischluft in Bodennähe zuzuführen.

Eine selbsttätige Löschanlage ist aus Gründen der Schallübertragung über Wasserleitungen nicht umsetzbar, aber auch nicht vorgeschrieben. Stattdessen kommen Feuerlöscher lt. gesetzlichen Vorgaben zum Einsatz.

Videüberwachung

Aus Versicherungsgründen ist die Überwachung der beiden Erschließungsmöglichkeiten mittels IP-Kameras angedacht.

Notbeleuchtung

Die Notbeleuchtungsanlage ist aufgrund der Lage im Untergeschoß ohne Tageslicht als dezentrale Batterieanlage mit akkugepufferten Leuchten geplant. Damit im Notfall sowohl Fluchtwegkennzeichnung als auch Notbeleuchtung funktionieren, verfügen die Notleuchten über LED-Beleuchtung, die einsetzt, wenn die Stromzufuhr unterbrochen wird.

REPRISE

.....

„*D*ie Reprise ist eine Wiederholung der Exposition, allerdings mit einem entscheidenden Unterschied: Hier zeigt sich die Wirkung der Durchführung: Das zweite Thema erklingt nun auch in der Grundtonart, d.h. der Gegensatz zwischen den Themen wurde hier zu einem gewissen Grad ausgeglichen. In einer Moll-Sonate ist dieser Effekt stärker, da nun beide Themen in Moll erklingen. Damit das geschehen kann, muss die Modulation wegfallen, die in der Exposition den Tonartenwechsel ermöglichte. Diese Veränderung wird Einrichtung genannt. Die Einrichtung kann durchführungsartige Elemente enthalten. Auch die Reprise endet mit der Schlussgruppe, diesmal aber in der Grundtonart.“^[97]

3

Reprise

Abb.129. Rückseitig datiertes Holzbauteil, das bei den Abbrucharbeiten zum Vorschein kam.

No. 2. 78

Bestandssanierung

ABBAU DES KLUBS | RENOVIERUNG | BAUTEILRECHERCHE

BESTANDSSANIERUNG

Wiederholung Hauptsatz

Nach der Übernahme des bankrott
gegangenen Klubs musste zuerst
eine Menge Müll entsorgt werden,
der von den Pächtern hinterlassen wurde.
Da der Innenausbau in katastrophalem
Zustand und teilweise unwiderruflich
kaputt war, musste vieles davon abge-
brochen werden, bevor überhaupt eine
Vermessung des Bestandes möglich war.



Abb.130. Lounge mit kleiner Bar, 2014: Zustand bei Übernahme



Abb.131. Eingangsbereich, 2014: Schimmel an der Innenausstattung



Abb.132. Glastunnelhalle, 2014: Demontage der Stahlbar



Abb.133. Lounge, 2014: Schimmel an der Innenausstattung



Abb.134. Lounge, 2014: Feuchteschäden an Vollholzböden



Abb.135. Glastunnelhalle, 2014: Demontage Glaspaneel



Abb.136. Glastunnelhalle, 2014: Demontage Stablunterkonstruktion

Hauptgebäude

Neben Müllansammlungen, die an den abwegigsten Orten zu Tage traten, wurde auch die gesamte Inneneinrichtung, die aufgrund von Schimmelbildung nicht mehr verwendbar und aufgrund von Rost auch statisch gar nicht mehr tragfähig war, abgebaut und entsorgt. Im Hauptgebäude wurde der ikonische Glastunnel abgebaut, da in der Vergangenheit eine fachlich fragwürdige Innendämmung aus vermeintlichen Schallschutzgründen flächendeckend in die Gewölbe eingebracht worden war und das Kondensat darüber bereits strukturelle Schäden verursacht hatte.

Zwischen 2014 und 2017 wurde das verbliebene Inventar des Clubs überwiegend abgetragen und entsorgt, damit grobe Schäden an der Substanz in Stand gesetzt werden konnten. Im Hauptgebäude aufgebrauchte Latexfarbe führte laut Messungen mit dem Hygrometer vermehrt zu Staunässe in der Sockelzone des Gebäudes und dem Ziegelgewölbe. Diese Anstriche wurden deshalb in Handarbeit mit einer Sanierungsfräse abgenommen, um den historischen Putz darunter zu erhalten.



Abb.137. Galtunnelhalle im Altkeller, 2014: Zustand bei Übernahme des Klubs



Abb.138. Galtunnelhalle Altkeller: Rückbau der Unterkonstruktion und Innendämmung



Abb.139. Glastunnelhalle im Altkeller, 2014: Demontage der Elektroleitungen



Abb.140. Glastunnelhalle im Altkeller, 2014: Raum nach Entsorgung der Innendämmung und Ausstattung



Abb.143. Keller Fabrikationshalle 2009: Ansammlungen von Müll und Hausrat, Schimmelbildung an Wänden erkennbar.



Abb.141. Fabrikationshalle, 2014: Hausrat und Müllansammlung



Abb.142. Fabrikationshalle, 2014: Ausgeprägter Pilzbefall

Nebengebäude

Im Nebengebäude wurde nach der Entrümpelung durch die Projektbetreiber ein größerer Gebäudeschaden offenkundig, der bislang verdeckt geblieben war. Da sich an der ostseitigen Mauer der langen Halle unter dem Nebengebäude bereits großflächig Schimmelpilz mit expansivem Myzel ausgebreitet hatte und die Bausubstanz aufgrund der unfachmännisch ausgeführten Innenverkleidung aus Holz ohne Hinterlüftung ernsthaft gefährdet war, beauftragte die Hausbesitzerin ein Unternehmen

mit dem Abbruch der gesamten Innenausstattung unter Schutzatmosphäre. Im Zuge der Arbeiten wurde ein Wasserschaden bemerkt, der von der unfunktionellen Entwässerung der Außentreppe verursacht worden war. 15 Jahre nach Bau der Treppe wurde auch der Bau eines einfachen Vordaches ausgeführt, um zukünftigen Schäden vorbeugen zu können.

Die gemauerte Bühne, die mit insgesamt 32 Tonnen Baurestmasse befüllt war, sowie die Raumteiler von 1972 und 1999 wurden abgetragen und die Halle völlig entleert.



Abb.144. Fabrikationshalle, 2017: Leere Halle nach Abbruch der Innenausstattung und des Putzes, Abbruch der Bühne und nichttragenden Wände.

Prototypenentwicklung

PLANUNG | AUSFÜHRUNG | ANALYSE

Abb. 145. Übertragung des Werksplans auf den Prototypen Schallschutz für ml.1. Einstem. schloss für die Bearbeitung mit Oberfräse und Stechbeitel angezeichnet.

PROTOTYPEN LICHT & AKUSTIK

Wiederholung Zwischensatz



***D**ieser Teil der Reprise soll exemplarisch die Planung einiger Prototypen ausführen und in einer Beschreibung der praktischen Versuche im Altkeller ihre sukzessiven Verbesserungen dokumentieren.*

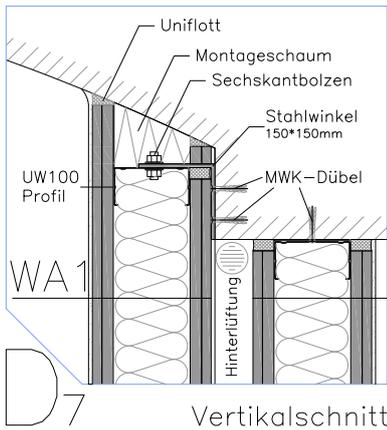


Abb. 148. Detail 7 - Kopfpunkt im Gewölbe
M= 1:10

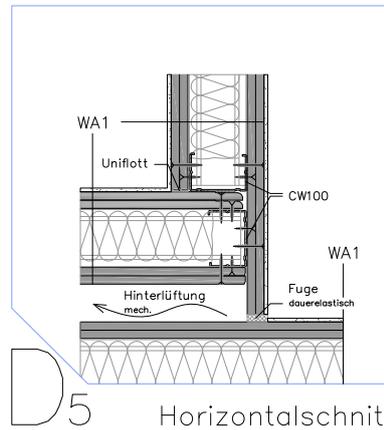


Abb. 150. Detail 5 - Eckstoß Vorsatzschale
M=1:10

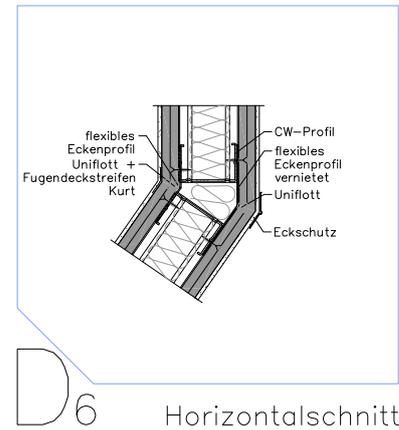


Abb. 149. Detail 6 - Eckdetail, M= 1:10

Trockenbauwände

Die Trennwände der Proberäume, die an den massiven Bestand angeschlossen werden, sind derart gestaltet, dass ein möglichst hohes Schalldämmmaß R_w erzielt wird, um näherungsweise an das Schalldämmmaß der Massivwand anzuschließen. Die Konstruktionsweise erfordert bereits per se eine gewisse Kompromisshaltung bezüglich der Schallisolierung, denn ein Unterschied in der Resonanzkurve über das gesamte Frequenzband ist aufgrund der hohen flächenbezogenen Masse der 1 m starken Bestandswände besonders in tiefen Frequenzen nicht aufzuholen. Das Ziel bei der Gestaltung der Trennwände war es deshalb, einen Wandaufbau mit mittlerer flächenbezogener Masse anzuwenden, der im Verbund mit den Flankenbauteilen nach dem Feder-Masse-Prinzip möglichst Frequenzen im Bereich über 120 Hz - 150 Hz reflektiert. Als Teil des Akustikkonzeptes würden Frequenzen darunter möglichst im Raum selbst absorbiert oder als Kompromiss im Altbau nach außen übertragen.

Nach ersten Messungen mussten die Erwartungen zum erzielbaren *bewerteten Schalldämmmaß* R_w gesenkt werden, da die vergleichsweise dünne Gewölbedecke als schwächstes Glied der Isolierung besonders in den tieferen Frequenzen Flankenschall übertrug. Die Konstruktion ist daher als symmetrisches, zweiseitig doppelt beplanktes Stahlständerwerk mit Mineralwollfüllung ausgeführt. Aufgrund der Messungen wird vermutet, dass die Innenwände, die das Gebäude längs durchlaufen, nicht durch die Geschoßdecke geteilt werden, sondern vertikal durchlaufen. Zwischen Proberaum 1 und Proberaum 2 besteht aus dem Bestand erhöhter Schallschutz. Der Übertragungsweg zwischen Proberaum 2 und 3 wird über ein zusätzlich aufgestelltes doppelt beplanktes Ständerwerk verbessert.

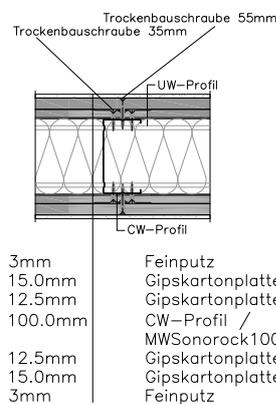


Abb. 146. WA1 - Trockenbau
M = 1:10

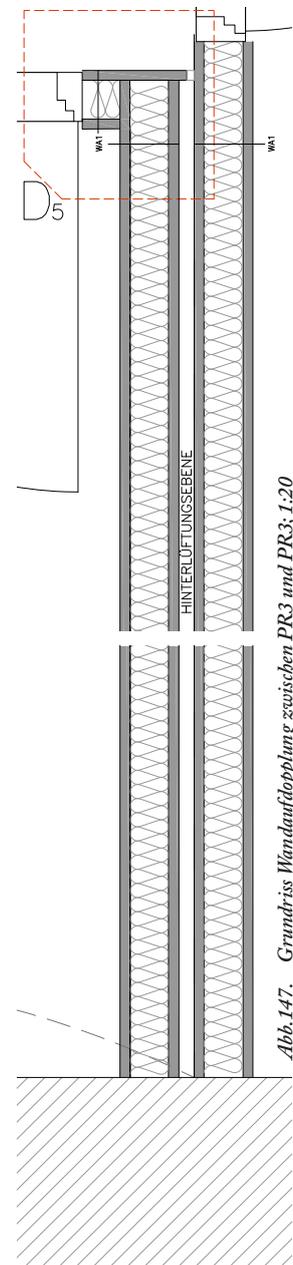


Abb. 147. Grandris Wandaufdopplung zwischen PR3 und PR3, 1:20



Abb.151. Einrichten und Vernieten des Ständerwerkes zu einem Bauteil

Das Ständerwerk musste, um die Rückseite auch bearbeiten zu können, als ganzes Bauteil liegend hergestellt werden. Dazu wurde zunächst Naturmaß genommen und das Ständerwerk kraftschlüssig vernietet und umgelegt. Die innenliegende Seite wurde doppelt beplankt und verspachtelt. Im Anschluss daran wurde das gesamte Bauteil aufgestellt und an Stahlwinkeln an der Decke und im Boden verankert und zum Gewölbebogen und zur Bestandswand (rechts im Bild) mit Uniflott verspachtelt.



Abb.152. Liegendes Bauteil, rückseitig beplankt und verspachtelt

Als nächstes wurde die anlaufende Wand fertiggestellt. Dabei erforderten die diagonalen Verschneidungen eine besonders achtsame Montage der UW 100-Profile im Gewölbe. Die Profile wurden in den Flanschen eingeschnitten, um besser in das Gewölbe zu passen. Lücken wurden mit Montageschaum verfüllt.

Der Zwischenraum zwischen den Wänden ist mechanisch belüftet um Schäden durch Staukondensat zu vermeiden. In der Planung der Trockenbauwände kamen die allgemein als verlässlich bewertbaren Herstellerangaben von Knauf zur Anwendung.



Abb.153. Aufstellen des Bauteiles hinter anlaufender Wand



Abb.154. Das fixierte Bauteil hinter beplankter anlaufender Wand



Abb.155. Verschneidung mit der Wand mit komplexer Gewölbegeometrie



Abb.156. Verlegen der Dampfsperre mit Vlies und Verkleben der Stöße

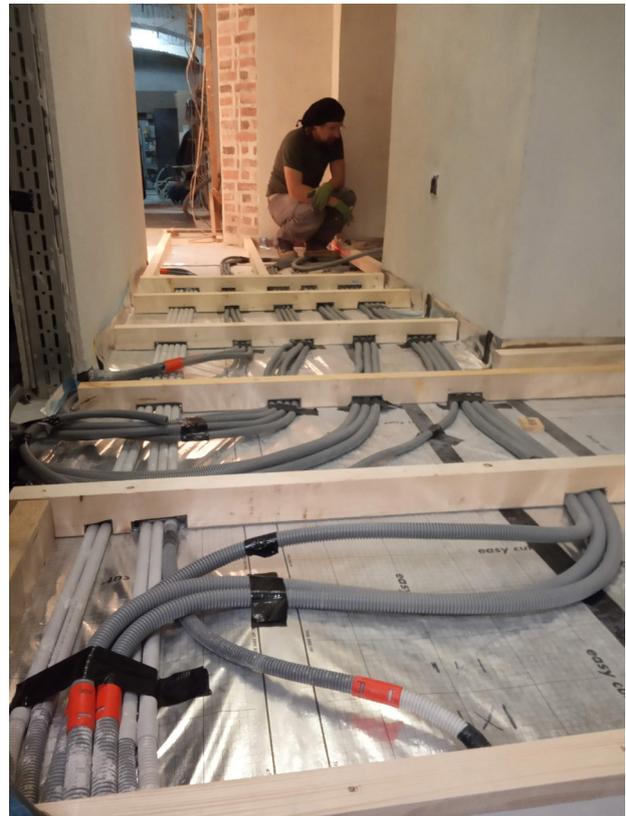


Abb.157. Elektrik mit leeren Reserveverschläuchen, Haupttraster der UK

Prototyp Fußboden

Die Fußböden in allen Proberäumen sind als Verlegeplatten aus OSB/3 auf einer ausgleichenden Holzunterkonstruktion ausgeführt. Da die meisten Böden innerhalb des Altkellers bereits als schwimmende Böden (Gussasphalt und STB auf Trittschalldämmung) ausgeführt wurden, trennen lediglich Trennschnitte zwischen den neu zu errichtenden Wänden im Boden die Schallübertragung.

Der Prototyp in Proberaum 1 wurde 2018 installiert und musste im Herbst 2019 erneuert werden. Die Achsabstände der Unterkonstruktion (zwischen 60 und 70cm längs der Plattenrichtung) in Kombination mit den nur 12,5 mm starken OSB/3-Platten hatten sich als zu sparsam erwiesen: Verformungen und leichtes, geräuschvolles Wippen des Bodens veranlassten eine Verkleinerung des Rasters der Unterkonstruktion, die bei dieser Gelegenheit auch mittels Dübeln kraftschlüssig im Stahlbeton verankert wurde sowie eine Aufdopplung der Platten durch eine weitere Lage 18 mm starker Platten. Die beiden Schichten wurden mit einem stark verbesserten Ergebnis flächig miteinander verleimt. Alle weiteren Böden wurden bisher entsprechend mit 18 mm starken OSB/3 Verlegeplatten ausgeführt, ebenso im Boden verankert und verleimt.

FBA 4

8,0mm	Bodenbelag
2,2mm	Trittschalld. SkandorSilent Faltpatte
18,0mm	OSB/3 Verlegeplatte, verschraubt
50,00mm	Ausgleichsschicht KH Fi/Ta, verdübelt
00,2mm	Filzaufgestreifen
00,1mm	Dampfbremse, sd = 75m

Bestand

25,0mm	Gussasphalt
00,01mm	Trennschicht Krepppapier
99,00mm	Aufbeton, bewährt
0,1mm	Dampfsperre
50,0mm	Trittschalldämmung (TSD)
0,1mm	Dampfsperre
????.?mm	Sauberkeitsschicht
	Erdreich

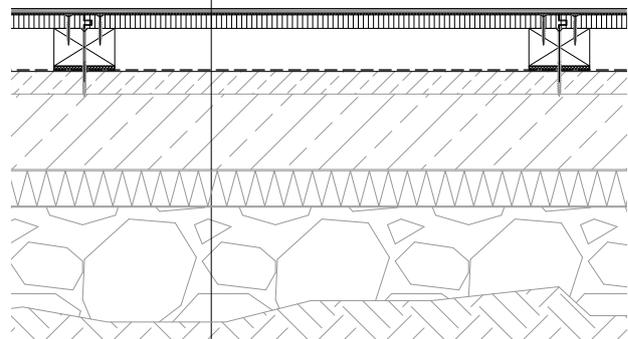


Abb.159. FBA 4



Abb.158. Bestandsboden im Schnitt. v.l.n.r.: Gussasphalt, Trennschicht, STB, Dampfbremse, Trittschallplatten, Sauberkeitsschicht, Schüttung / Erdreich



Abb.160. Nebenraster und Verdübelung des Haupttrasters im Boden



Abb.161. Plattenbelag der Unterkonstruktion mit OSB/3-Platten

Wärmeschutz

$$U = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

EnEV Bestand*: $U < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Feuchteschutz

Kein Tauwasser

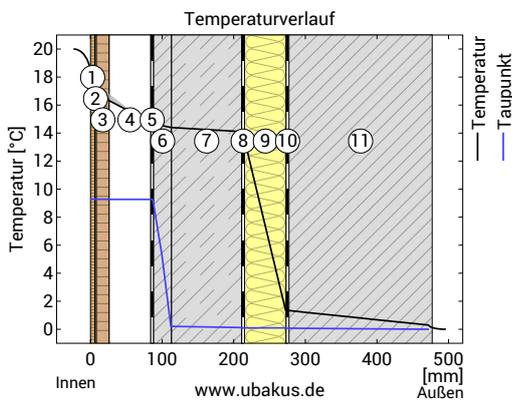


Hitzeschutz

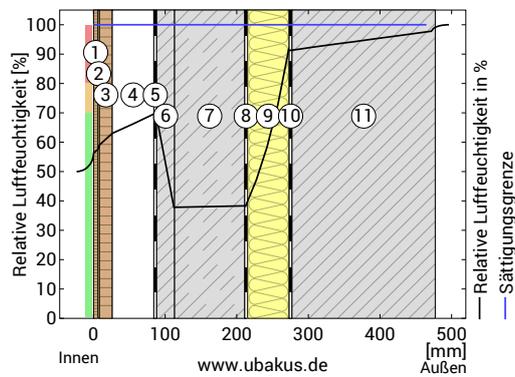
Bauteil grenzt an Erdreich:
TAV und Phase nicht relevant.
Wärmekapazität innen: 236 kJ/m²K



Temperaturverlauf



Luftfeuchtigkeit



- ① Parkett (6 mm)
- ② Hartschraum, XPS 040 (2,2 mm)
- ③ OSB/3 (18 mm)
- ④ Luftschicht (60 mm)
- ⑤ Folie, PP
- ⑥ Gussasphalt (25 mm)
- ⑦ Beton armiert (100 mm)
- ⑧ Folie, PP
- ⑨ Knauf Insulation Kellerdämmplatte
- ⑩ Folie, PP
- ⑪ Luftschicht (200 mm)
- ⑫ Zementestrich (200 mm)
- ⑬ Estrich

Links: Verlauf von Temperatur und Taupunkt an der in der rechten Abbildung markierten Stelle. Der Taupunkt kennzeichnet die Temperatur, bei der Wasserdampf kondensieren und Tauwasser entstehen würde. Solange die Temperatur des Bauteils an jeder Stelle über der Taupunkttemperatur liegt, entsteht kein Tauwasser. Falls sich die beiden Kurven berühren, fällt an den Berührungspunkten Tauwasser aus.

Abb.162. Bauphysikalische Näherungswerte: Vermeidung v. Staunässe und Schäden durch aufsteigende Feuchtigkeit sowie Verbesserung der Wärmedämmung



Abb.171. Die MDF-Platten auf Maß geschnitten im Zulieferbetrieb

Vom Zulieferer wurden die MDF-Teile auf Plattenmaß geschnitten. Alle Nuten und Einstimmungen wurden zunächst in der Zarge und nach der Montage der Zarge im Blatt gemacht. Zarge und Blatt wurden vollflächig verleimt, verschraubt und verspachtelt, dann mit Epoxygrund gesprüht. Spätere Prototypen wurden mit besserem Ergebnis mit feinen Schaumstoffrollen grundiert.

Im ersten Prototyp wurden die Fräsungen für die äußere Dichtung im Blatt gefräst. Das dünne MDF brach bereits unter geringer Belastung aus. Die Dichtung wurde deshalb neu im Stock angebracht und in allen weiteren Modellen dort vorgesehen.

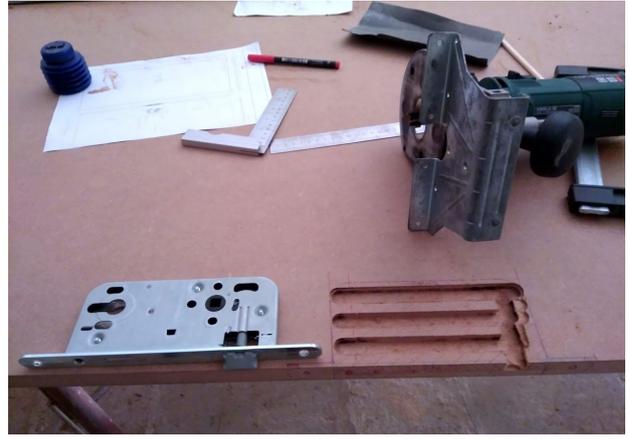


Abb.172. Fräsen und Ausstemmen des Einstemmschlösses vor Verkleben



Abb.173. Einstimmen des Winkelschließblechs im der rohen Türzarge



Abb.167. Verleimung des Blattes aus MDF-Platten



Abb.170. Prototyp 1: Montage der Zarge mit Blatt im rechten Winkel



Abb.168. Grundierung mit 2k-Epoxygrund



Abb.169. Prototyp 1: Nut für Dichtung im Blatt eingefräst

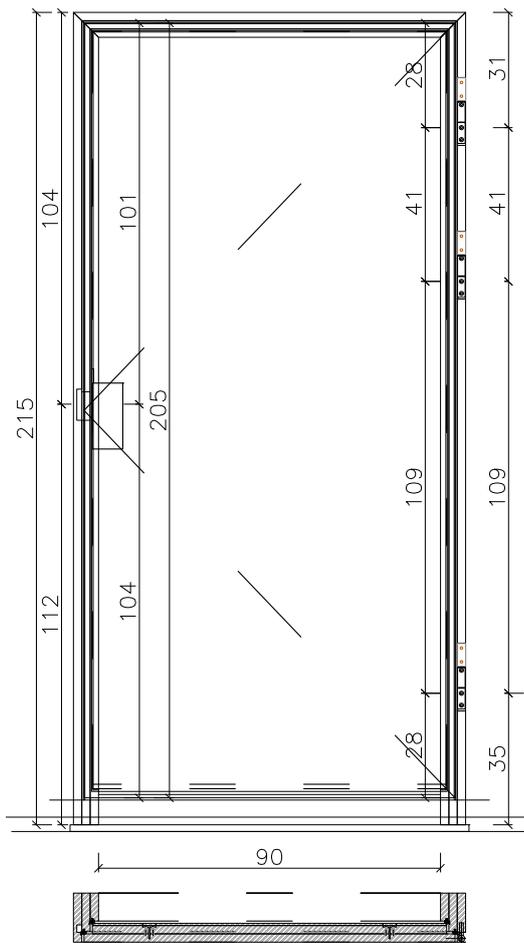


Abb.174. Ansicht und Horizontalschnitt Tür Prototyp 2, M = 1:20

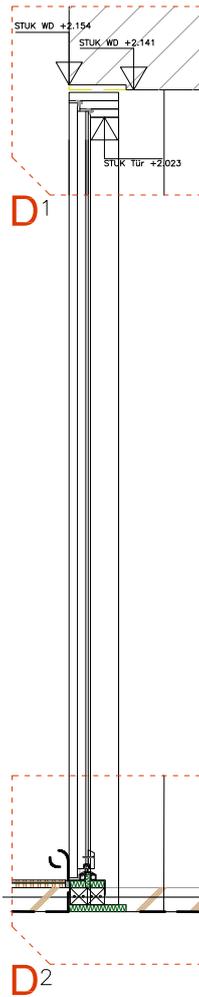


Abb.175. Vertikalschnitt Tür 2, M=1:20

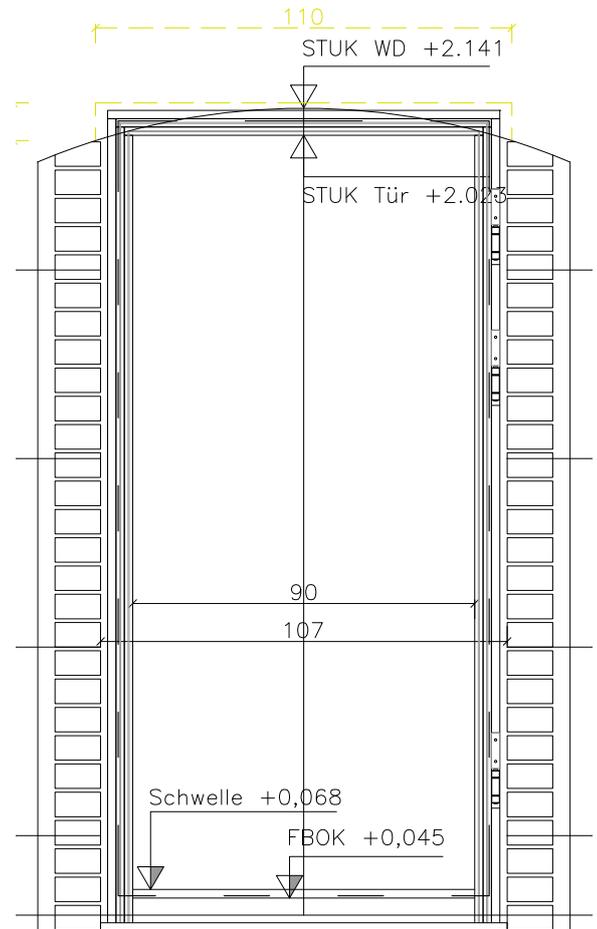


Abb.176. Einbaudetail Tür 2, Ansicht, M = 1:20

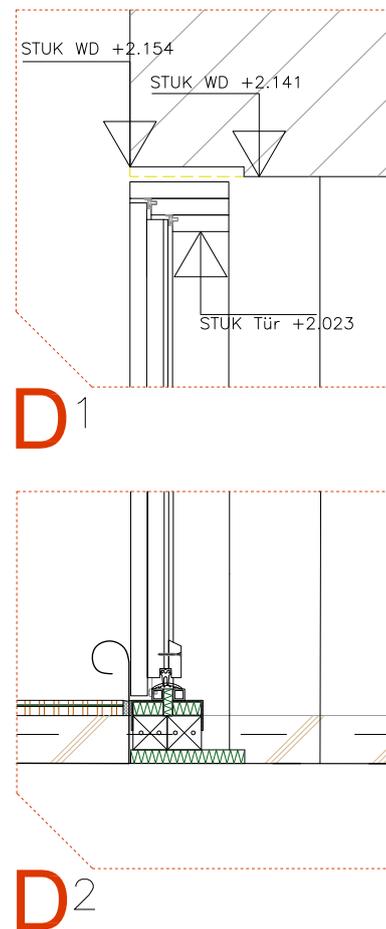


Abb.177. Detail 1 und 2: Kopf- und Fußpunkt Tür 2, M = 1:5

Über einen längeren Testzeitraum stellte sich außerdem heraus, dass aufgrund des hohen Blattgewichtes in der Größenordnung 80-90kg der Rahmen leichte Biegung aufwies und die Dichtheit der Tür abnahm. Deshalb wurde im Nachhinein die Zarge mittels eingeklebter Gewindestangen kraftschlüssig im gemauerten Stock fixiert und letztlich auch der bandseitige Teil des Türblattes abgetrennt und durch einen Streifen Hartholz ersetzt.

Ein Türbandprodukt mit der Möglichkeit, auch bei eingehängtem Türblatt in allen drei Richtungen die Neigung einzustellen, wurde aus Bequemlichkeit nachgerüstet.

In einer dritten Iteration wurde dem Rahmen ein quer stehender MDF-Flansch hinzugefügt um dem auftretenden Drehmoment entgegenzuwirken und in Blatt und Rahmen wurden jeweils in zwei Richtungen T-Profile aus Stahl in eingefrästen Nuten verschraubt und verspachtelt um ein Verziehen von Blatt und Zarge zu verhindern.



Abb.178. Winkelbeschläge aus Aluminiumprofilen

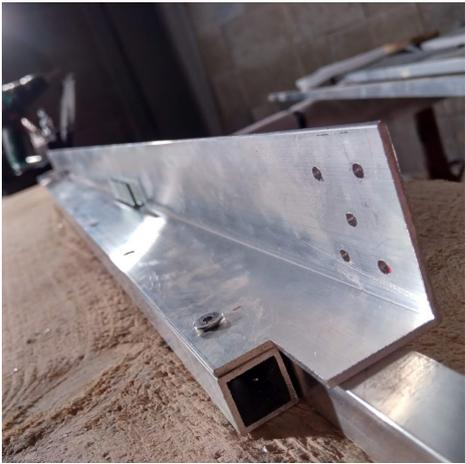


Abb.179. Winkel für Schwelle mit Aufstufdüchtung



Abb.180. Gummilippe mit Keder



Abb.181. Fertige Schwelle



Abb.182. Tür Proberaum 1 nach Einbau, geöffnet



Abb.183. Tür Proberaum 1 nach Einbau, flächenbündig geschlossen

Prototyp Akustikpaneele

Bei der Entwicklung der Mittenabsorber an Wänden und Decke wurde vor allem auf praktikable Umsetzbarkeit des komplexen Entwurfes geachtet. Da die Mittenabsorber nur als großer Flächenverband funktionieren und deshalb enorme Flächen und Stückzahlen benötigt werden, lag der Fokus bei der Entwicklung darauf, ein System zu konstruieren, das materialgünstig und möglichst einfach zu montieren ist.

Allgemein

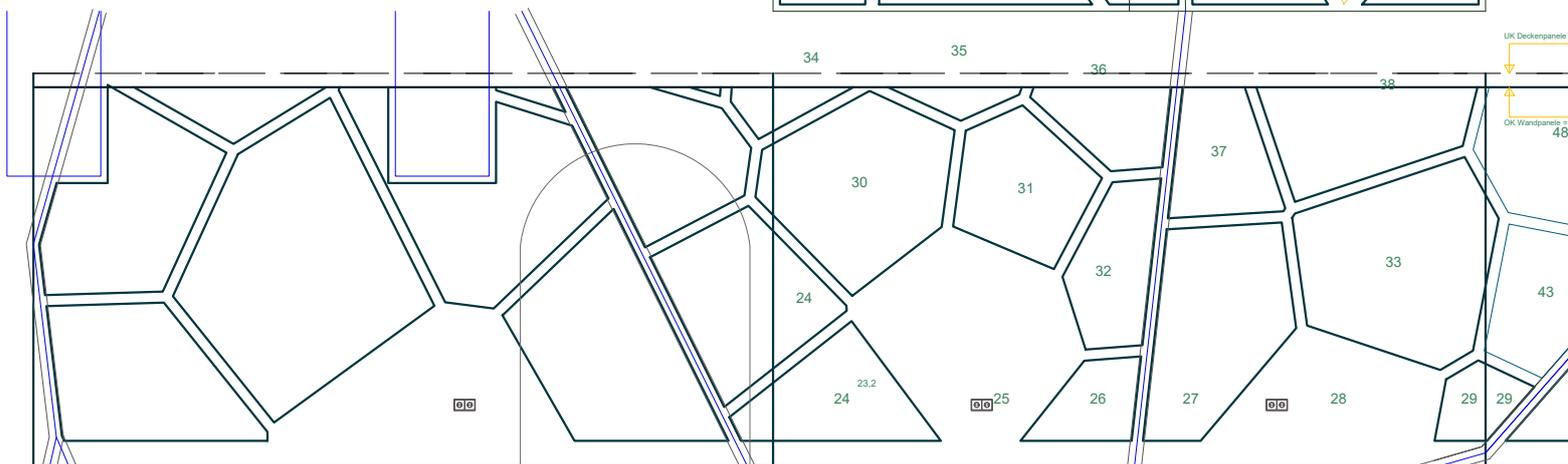
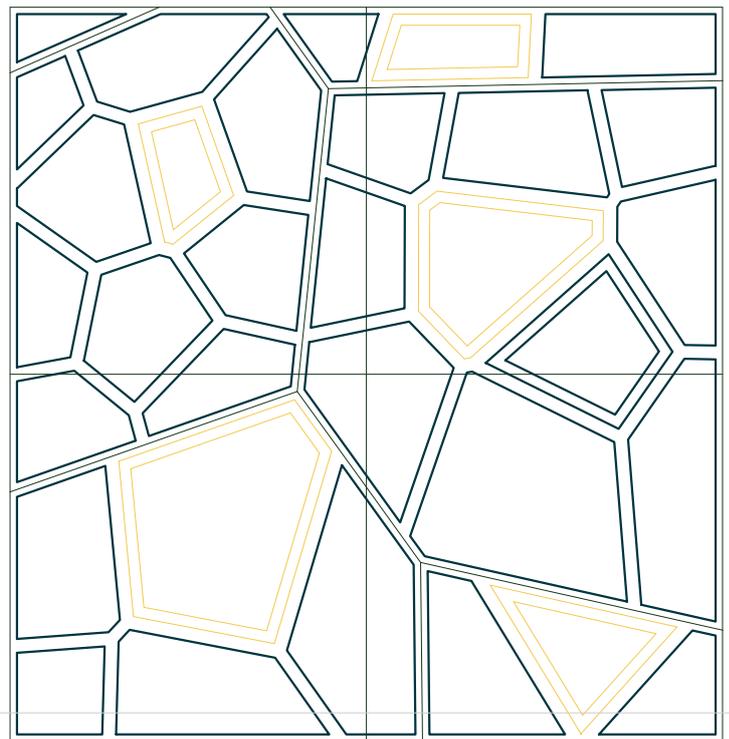
Als strukturelles Material wurde die kostengünstige Grobspanplatte gewählt. Die Tragfähigkeit über die Spannweiten der größten Wand- und Deckenkassetten und ausreichende Formstabilität gegen auftretende Feuchtigkeitsspitzen sind mit 12,5mm starken Spanplatten der Klasse OSB/3 nach EN 300 gewährleistet. Grobspanplatten sind mit einfachen Werkzeugen präzise bearbeitbar. Alle Verbindungen erfolgten durch Kleben mit Holzleim der Beanspruchungsklasse D3 und ein Verriegeln mit verzinkten Stahlstiften per Druckluftnagler.

Herstellung

Ohne Zugang zu automatisierter Fertigung wurde der handwerkliche Prozess der Herstellung aller individuellen Teile möglichst zeitoptimiert. Die Größe der polygonalen Elemente machte eine Fertigung im Ganzen (z.B. aus Platten) sehr unwirtschaftlich. Um komplexe Optimierungsaufgaben vollständig zu vermeiden, wurden die Teile für die polygonalen Kassetten der Akustikpaneele deshalb aus 100mm breiten Streifen OSB/3 zusammengefügt. Hierfür wurden die Kantenlängen und Winkel der Kanten zueinander digital bemaßt und in einer manuellen Optimierung sämtliche Teile in einem Verschachtlungsplan angeordnet. Die nummerierten Einzelteile der polygonalen Formen konnten so weitestgehend in Serie



Abb.184. 18 mm OSB/3, Hornbach



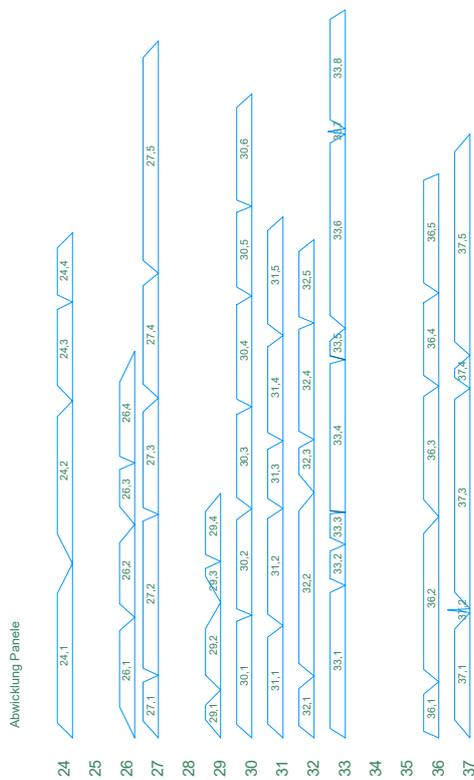
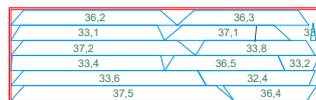
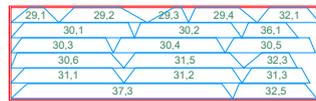
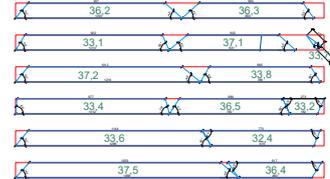
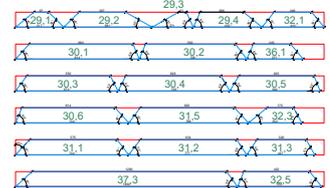
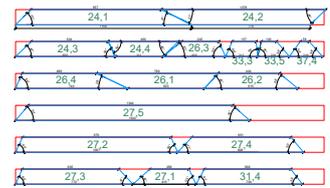


Abb.186. Verschachtelungs- und Zuschnittpläne



Gehrungsschnitte



und nahezu verschnittfrei hergestellt werden, indem die 100mm breiten OSB/3-Streifen an der Gehrungssäge nach Plan abgewinkelt bzw. abgelängt und die Einzelteile stumpf zu einem Polygon verleimt werden.

Zunächst wurden alle Verbindungen jeweils im halben Winkel geschnitten, um eine möglichst lange Leimkante zu erzeugen. Spitze Winkel über 47° zur langen Kante der Streifen mussten per Hand gesägt werden. Belastungsversuche mit den ersten fertigen Strukturen haben jedoch gezeigt, dass diese stumpfe Leimkante nur sehr wenig Einfluss auf die gesamte Stabilität hat, weshalb in der Fertigung dazu übergegangen wurde, auch Teile mit spitzen Winkeln zeitsparend mit der Gehrungssäge zu schneiden, indem der Gesamtwinkel einfach asymmetrisch geteilt wurde.

Robuste Tackerklammern gewährleisteten eine Sicherung der Klebeflächen über die Trocknungszeit provisorisch. Danach wurde in ähnlicher Manier ein weiterer

Rahmen als stehender Flansch aufgesetzt, verleimt und vernagelt und die formstabilen L-Profile konnten als fertige polygonale Kassette aushärten.

Wo das Trockenbaurastermaß von 1000 mm x 625 mm überschritten wurde, kamen aussteifende T-Profile aus OSB/3 als Auflage für die Füllung zum Einsatz, um ein unschönes Durchhängen zu vermeiden.

Als Füllmaterial wurde Mineralwolle SonoRock 50 (für Wandpaneele) bzw. 100 (für Deckenpaneele) gewählt. Die akustischen Eigenschaften des Materials sind für Mittenabsorber ideal, es ist aufgrund der breiten Verwendung im Bauwesen als nicht brennbares Dämmmaterial preislich attraktiv und mit einem Dämmwollmesser sehr präzise in Form schneidbar. Das Deckmaterial ist weißer, brandhemmend imprägnierter Bühnenmolton.

Rück-, bzw. Oberseiten der Paneele wurden als Teil des Beleuchtungskonzeptes jeweils mit einer diffus reflektierenden Polypropylen-Folie (Selit Selistop) überzogen, damit Gewölbe und Wand nicht von stark kontrastreichen Schlagschatten verdunkelt werden.

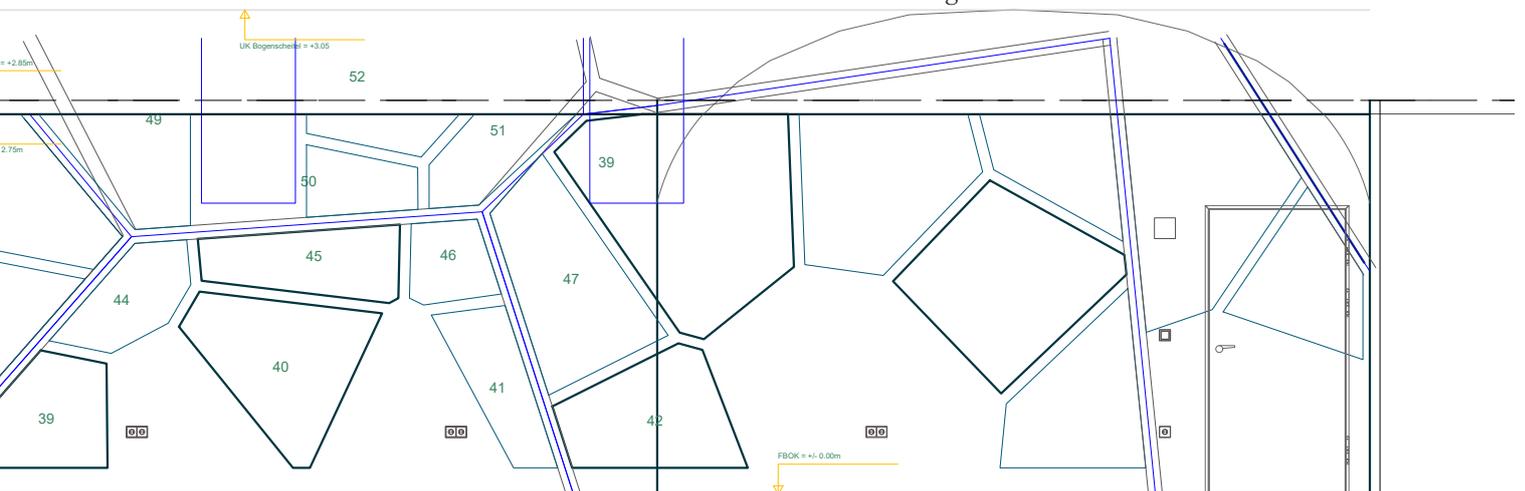


Abb.185. Abwicklung aller Polygonflächen im Proberaum 2 mit durchgehender Nummerierung der Paneele an Wänden und Decke

Deckenkassetten

Das im Akustikkonzept vorgesehene Absorptionsverhalten ab einem mittigen Frequenzbereich ergab rechnerisch eine Materialstärke von ca. 100 mm porösem Material.

Montage

Besondere Fürsorge war bei der Entwicklung eines Montagesystems angebracht. Die Anforderung, eine große Anzahl unregelmäßiger Objekte mit jeweils unterschiedlichem Gewicht, Schwerpunkt und unterschiedlich vielen Montagepunkten im Tonnengewölbe jeweils in sich sowie auch zueinander waagrecht zu befestigen, konnte nur als Befestigung mittels Stahlseilen an einzelnen Hängepunkten umgesetzt werden.

Bei der Montage der Decke in Proberaum 2 wurden zunächst alle Kassetten am Fußboden im richtigen Abstand zueinander (80 mm bzw. 100 mm) flach aufgelegt, mit Klemmen über Abstandshölzer zueinander fixiert und als Rechteck im Raum ausgerichtet. Die endgültige Position, die sich aufgrund von Messungenauigkeiten im historischen Bestand als Kompromiss darstellte, wurde auf den Rohboden aufgezeichnet. Danach wurde von jedem Hängepunkt am Boden mit dem selbstnivellierenden Kreuzlinienlaser ein Punkt im Lot in das Gewölbe projiziert und dort angezeichnet. Von jedem Punkt wurde die Distanz in das Gewölbe gemessen und unter Abzug der Hängehöhe von 285 cm über dem Rohfußboden das Längenmaß für das jeweilige Stahlseil ermittelt.

Punkt für Punkt wurde dann zunächst mit (wiederverwendbarem) Elektrodraht jedes Paneel auf die richtige Höhe gebracht und über die Umrisse am Boden mit dem Kreuzlinienlaser ausgerichtet, bevor die Stahlseile in der richtigen Länge mit Drahtseilklemmen beschlauft und gegen die Provisorien ausgetauscht wurden. Als preiswerte Alternative zu Seilspannern boten sich Deckenhaken mit 80 mm Gewindelänge und der entsprechenden zulässigen Punktlast an: Die nachträgliche Höhenverstellbarkeit über ein einfaches Ein- bzw. Herausschrauben der Schraubhaken stellte sich als unverzichtbares Instrument im Ausgleich von Toleranzen heraus, die aufgrund der unregelmäßigen Ziegeloberfläche der Decke und der rudimentären Fertigungstechnik der Stahlseile Messungenauigkeiten im Bereich von +/- 5 mm lagen.

So konnten bei der Montage die einzelnen Paneele mit überschaubarem Aufwand sehr genau in sich horizontal ausgerichtet werden und dann Stück für Stück die gesamte Deckenkonstruktion in die Waage gebracht werden.



Abb.187. Position der Deckenkassetten auf Klebeband am Boden

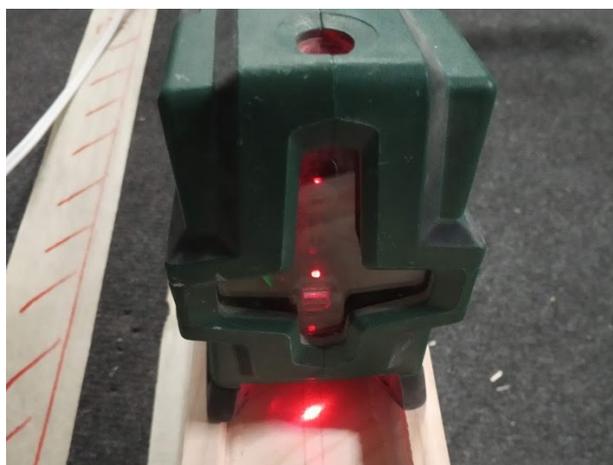


Abb.188. Projektion der Hängepunkte mittels Lichtlot



Abb.189. Projektion der Hängepunkte vom Boden in das Gewölbe



Abb.190. Hängepunkte mit Provisorium (hinten) und Stahlseilen (vorne)



Abb.191. Holzblöcke zur Befestigung der Wandpaneele

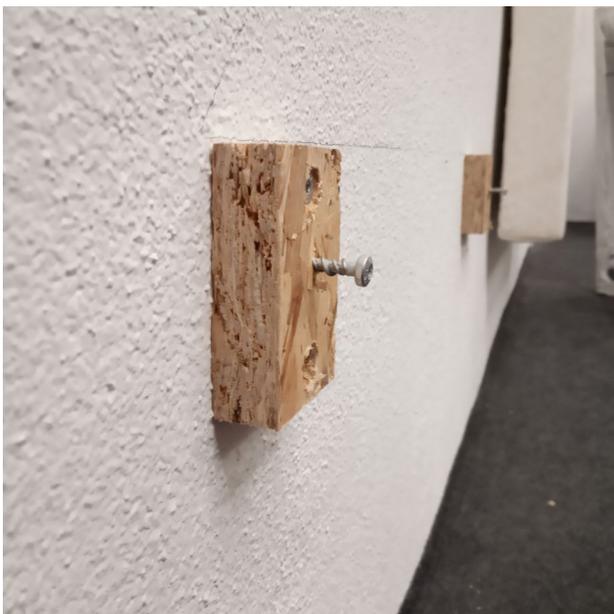


Abb.192. Selbstsichernde „Schlüsselloch“-Montage ermöglicht einfaches Ein- und Aushängen der Paneele

In einem weiteren Schritt wurden die Kassetten wieder abgenommen, mit weißem Molton bespannt und mit Formstücken aus Mineralwollmatten befüllt, bevor die Oberseite mit Folie gegen Verrieselung verschlossen und die einzelnen Formstücke wieder an ihre Position gehängt wurden.

Wandpaneele

Mit steifen 50 mm Mineralwollmatten kamen bei den sonst identisch konstruierten Wandpaneelen im Unterschied zu der abgehängten Akustikdecke geringere Aufbauhöhen und damit ein niedrigerer stehender Flansch zum Einsatz.

Montage

Für die Montage an der Wand galten sinngemäß die selben Anforderungen:

Die Montage musste mit einer gewissen Verstellbarkeit Toleranzen der schiefen Bestandswand ausgleichen können. Paneele an der Wand mussten punktgenau im richtigen Abstand zueinander montierbar sein, damit das entstehende Muster auch als zusammenhängende Form wahrgenommen werden kann. Letztlich sollten die Einzelteile einfach abzunehmen sein: Auch, wenn das Konzept nicht per se einen Austausch von Paneelen vorsieht, eröffnet sich durch eine systemweite Abnehmbarkeit zumindest theoretisch die Möglichkeit, weiterführend mit veränderbarer Akustik zu arbeiten und z.B. auch teilreflektive Paneele für längere Nachhallzeiten nachzurüsten. Ein praktischer Grund für diese Flexibilität war eine möglichst gute Wartbarkeit der Paneele, z.B. im Fall einer Beschädigung oder Verschmutzung. Eine fixe Verschraubung in der Wand kam deshalb nicht in Frage.

Stattdessen wurden die Paneele in einem ersten Versuch mittels zwei gegengleichen 45°-Holzblöcken in der Wand verankert bzw. die Paneele selbstsichernd eingehängt. Diese erste Variante konnte nicht im richtigen Ausmaß auf Unebenheiten der Bestandswand reagieren und war nicht ausreichend verstellbar. Eine verbesserte Version konnte dieses Problem weitgehend beheben: Vor dem Befüllen der fertigen Kassetten mit Mineralwolle wurden mit der Standbohrmaschine in den liegenden Flansch des Rahmens Löcher gebohrt. Die Punktbefestigung in der Wand erfolgte über ein Einhängen aller Löcher in stabile Linsenkopfschrauben aus Edelstahl, die wiederum über OSB/3-Klötze (100 mm x 30 mm x 18 mm) mit je zwei Dübeln fix in der Wand verankert wurden. Dabei ermöglichte eine Unterfütterung der einzelnen Klötze mit Keilen ein einfaches Einrichten in das Lot.



Bereits mit den ersten montierten Paneelen zeigte sich, dass die Befestigungsmethode funktionell eine wesentliche Verbesserung darstellte. Aufgrund der Materialeigenschaften der verwendeten OSB/3-Streifen stellten sich jedoch nach einigen Auf- und Abhängevorgängen erste leichte Verschleißerscheinungen am Rahmen ein. Der Verschleiß führte zu einem spürbaren Spiel und Vibration unter Bassbeschallung, was über kurz oder lang zu einem unerwünschten Mitschwingen führen konnte.

In einer weiteren Iteration wurde das Loch im Durchmesser des Schraubenkopfes durch eine 15mm lange, senkrechte Fräsung im Durchmesser des Schraubenhalbes erweitert und so statt der Löcher, Aufhängungen im „Schlüssellochprinzip“ direkt in den Rahmen gearbeitet.

In dieser Variante konnten die Paneele nicht nur besser eingehängt werden, sondern sicherten sich auch selbst gegen seitliches Verrutschen. Der Verschleiß fiel merkbar geringer aus, konnte aber nach jedem Auf- oder Abhängen durch minimales Feststellen der Schrauben ausgeglichen werden.

An der Methode wurde deshalb in dieser Variante aus Kostengründen festgehalten - ein Nachrüsten von gestanzten Blechteilen bleibt auch zukünftig möglich.

In einem neuerlichen Beschallungstest konnte nachgewiesen werden, dass die Konstruktion unter zu erwartetem Schalldruckpegel keine Vibrationsgeräusche verursacht.

Die fertige Konstruktion wurde in einer Zwischenmessung auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft (siehe: Coda) und hat sich als gute Methode erwiesen.



Abb.193. Befüllte Wandpaneel vor Bezug mit Molton

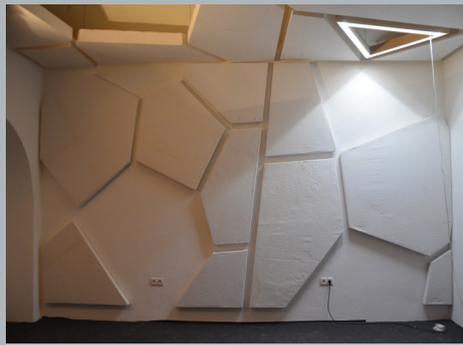


Abb.195. Bilderstrecke Proberaum 2: Aufhängen der Wandpaneel Stück für Stück.

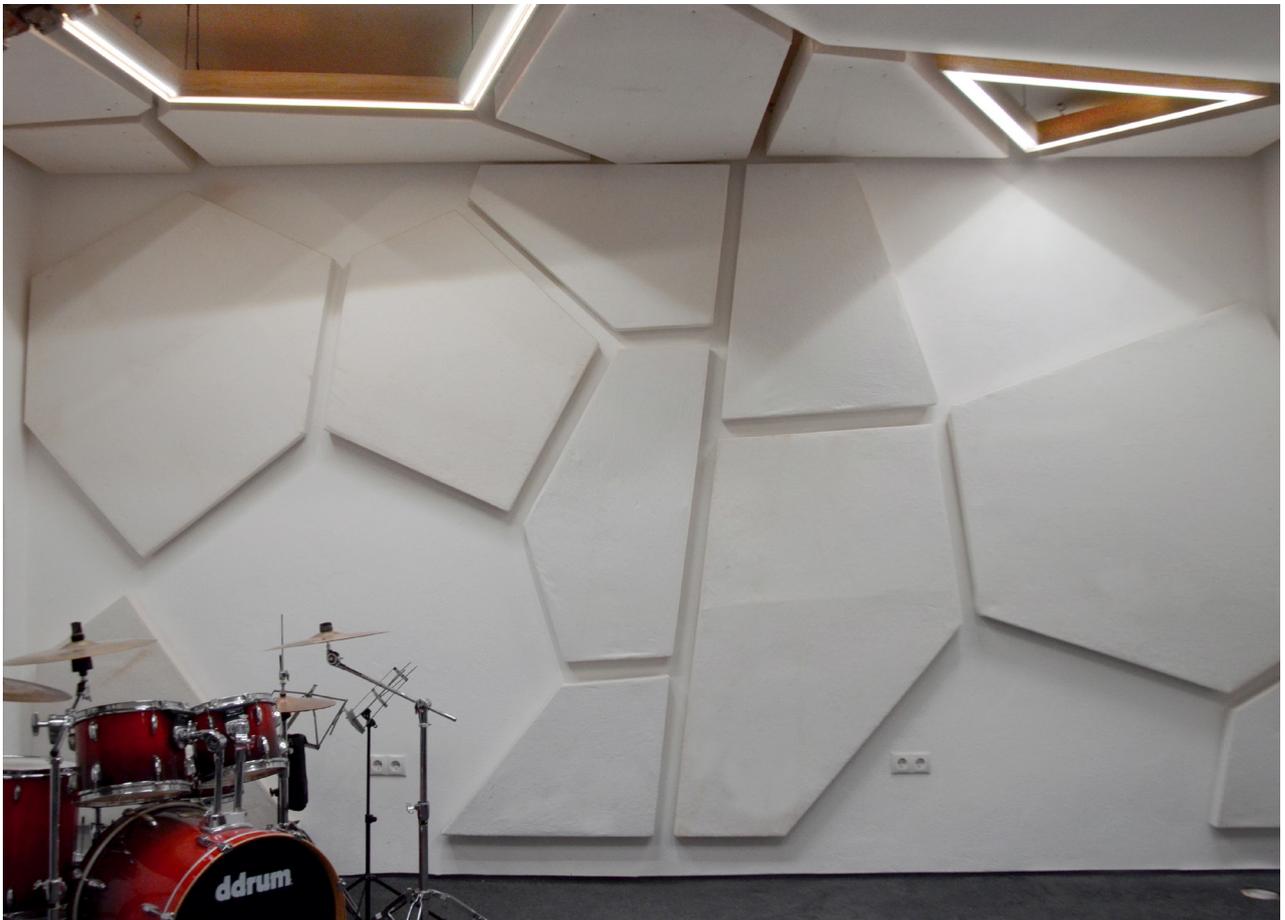


Abb.194. Proberaum 2: Rückwärtige Wand mit Mittenabsorberrn. Gut sichtbar ist, dass die Struktur erster Ordnung aufgrund von Messungenauigkeiten nicht durchgängig ist.

Prototyp Polygonale Leuchten

Allgemein

Die Beleuchtung in den Funktionsräumen fügt sich in ihrer Form als Teil der polygonalen Struktur der Decke nahtlos in das Gesamtbild ein. Schlanke, hochwertige Massivholzrahmen ergänzen das flächige Bild als streifenförmige, umlaufende polygonale Lichtquellen und erlauben Einblicke in das diffus beleuchtete Gewölbe darüber. Jede Leuchte ist ein Unikat.

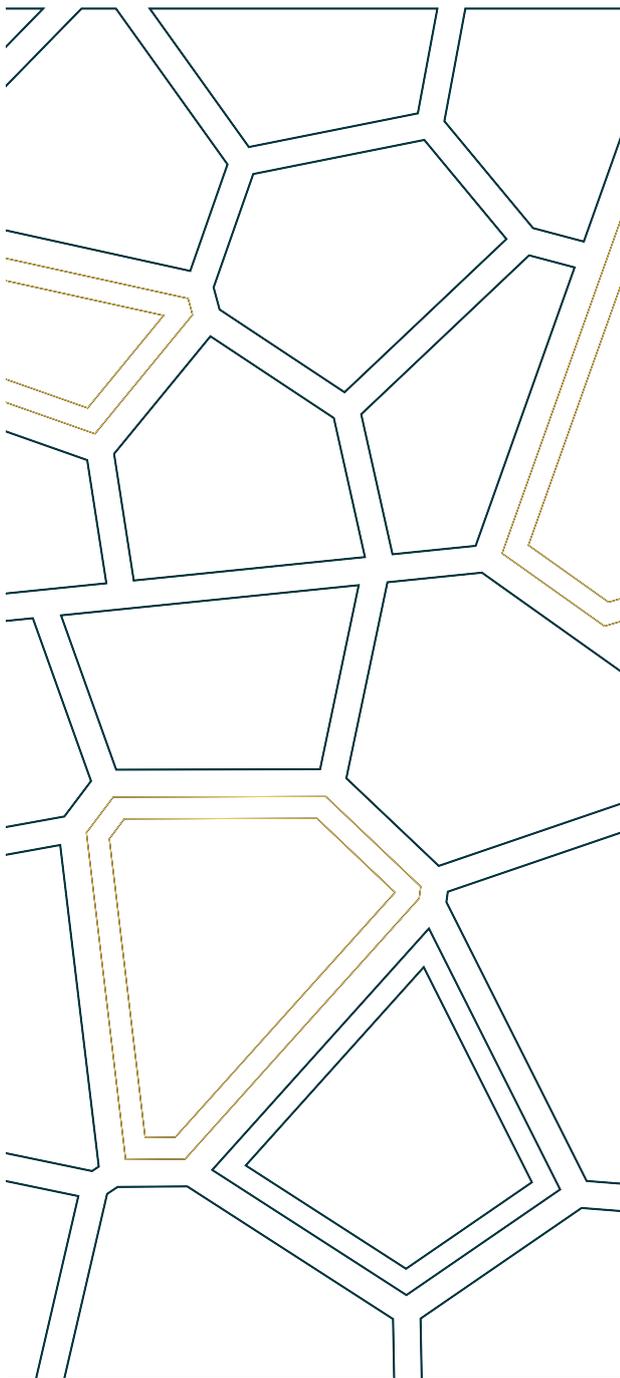


Abb.198. Deckenstruktur mit Leuchten

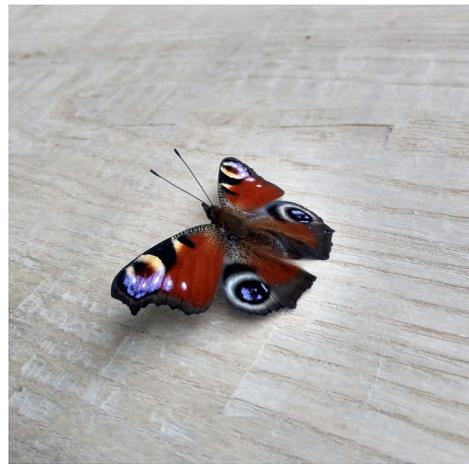


Abb.196. Naturnahe Eschenpfosten vor Verarbeitung



Abb.197. 100 mm breite Streifen Massivesche aus der Tischlerei

Konstruktion

Das Ausgangsmaterial für die Vollholzrahmen aus Esche wurde von einer Tischlerei aus Eschenpfosten geschnitten und gehobelt. Das Rohmaterial wurde vorsortiert und in ähnlicher Manier wie die stehenden Flansche der Akustikkassetten als zwei parallel ineinander versetzte stehende Rahmen konstruiert. Anders als die OSB/3 Kassetten mussten die Verbindungen bei den zwei Rahmen völlig lückenlos sein, um den Eindruck eines umlaufenden Holzstückes in Polygonform zu erwecken, weshalb auch spitze Winkel symmetrisch geteilt und daher per Hand mit der Japansäge geschnitten wurden.

Im ersten Prototyp wurden die so hergestellten Rahmen mittels vorgesenkten Schrauben über ein U-Profil aus Stahl verbunden, darauf die LED-Leuchtstreifen (12V/24W) als Leuchtmittel verklebt und in vorgefrästen Nuten Plexiglasscheiben eingeführt. Die erheblichen

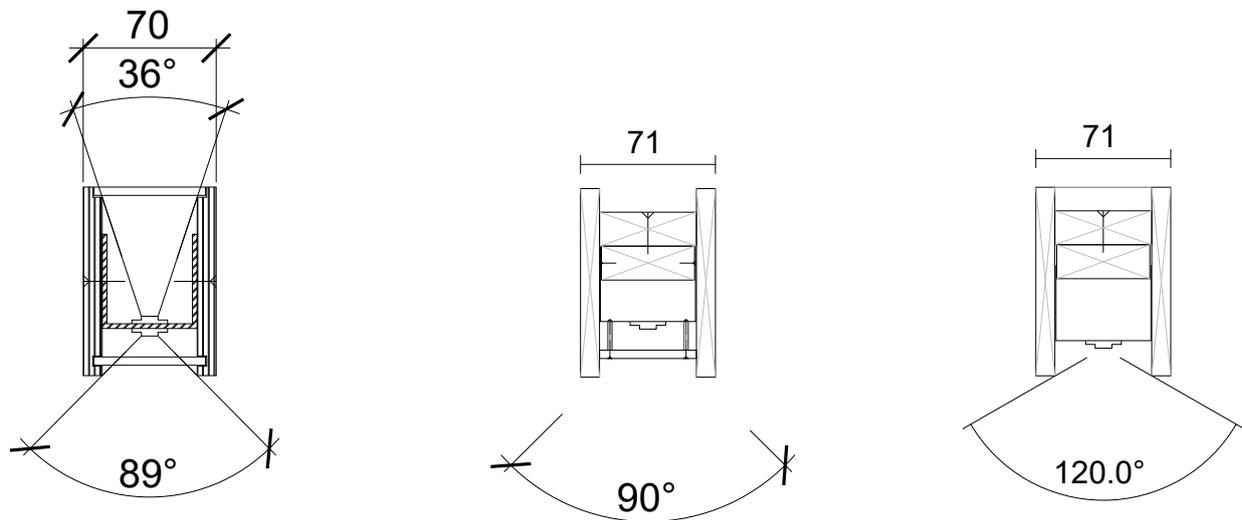


Abb.199. Iterationen des Prototyps für die polygonalen Leuchten in den Funktionsräumen

Nachteile dieser Konstruktion lagen in der überschätzten Stabilität des 50/50 mm U-Profiles, an das die Seitenteile aus Esche geschraubt wurden. Mit nachträglich eingeleimten Holzklötzen musste die bewegbare Konstruktion stabilisiert werden. Leichte Vibration der Kunststoffplatten, die letztlich auch nur durch ein Abschrauben der Seitenteile und Brechen der verklebten Stöße entfernt werden konnten und dadurch quasi die Lichtquelle unwartbar machten, waren ein weiteres Minus.

In einer zweiten Iteration des Prototyps wurden zunächst die hölzernen Seitenteile über Abstandsklötze an der Oberseite und an den Gehrungsstößen verleimt und erst nachträglich das fertig verkabelte U-Profil, das als Ableitung der Betriebswärme der LED-Streifen notwendig war, mit Montagekleber fixiert. Auf die Abdeckung nach unten mit Plexiglas wurde aufgrund der guten Lichtausbeute und -Verteilung der recht hochwertigen LED-Streifen ganz verzichtet.

Eine letzte Verbesserung stellte die zusätzliche Herstellung von vorgefertigten Eckteilen im richtigen Winkel dar, die Gehrungsschnitte der letztlich sichtbaren Seitenteile aus Eschenholz wesentlich erleichterten.

Wie auch die Mittenabsorber wurden die Beleuchtungsmodule punktuell mit Haken und Stahlseilen auf Länge von eingemessenen Hängepunkten abgehängt.

Eckdaten Beleuchtungsmodule

- Leuchtmittel: LED-Strips *Mextronic*, 60 LEDs/m bei 15 lm pro Diode
- Lichtfarbe: Neutralweiß 4000 K
- Farbwiedergabeindex $R_a > 92\%$
- Abstrahlwinkel: 120 Grad
- Breite: 8 mm
- Höhe: 2 mm
- Lichtausbeute bis: 125 lm/W

Abb.200. 3D-Modell des Prototyp 1 mit PMMA-Einlagen oben und unten.



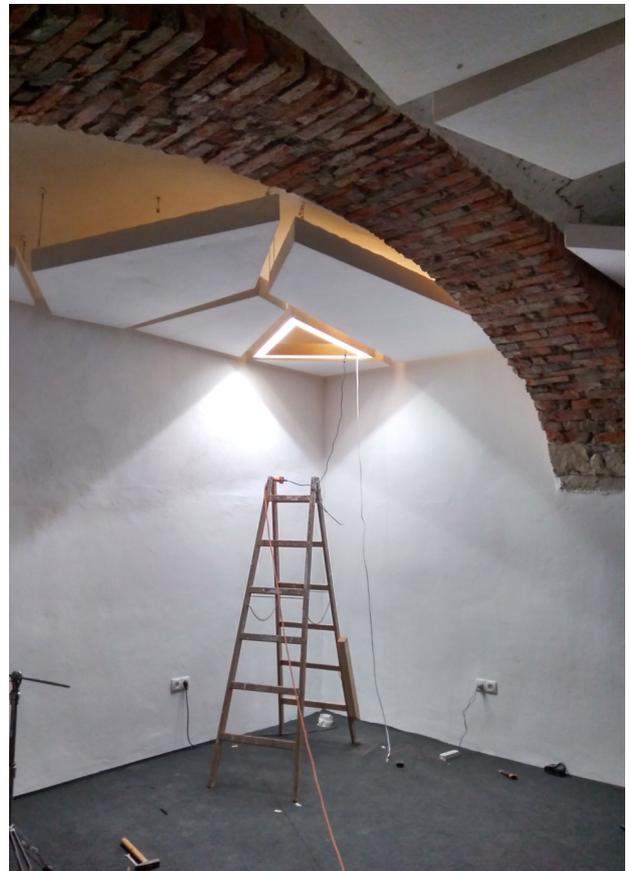
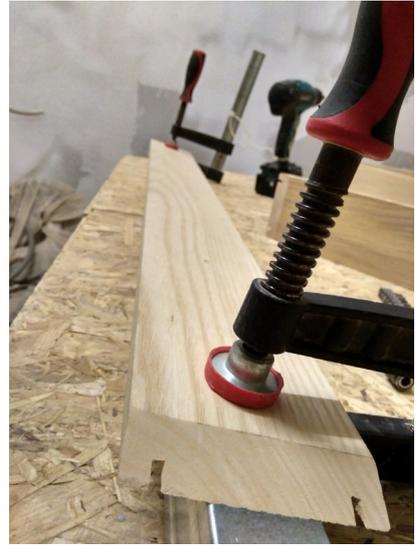


Abb.201. Herstellung, Montage und Zwischenergebnis des ersten Prototyps der Beleuchtungsmodule



Abb.202. Zwischenergebnis des ersten Protoyps der polygonalen Beleuchtungsmodule

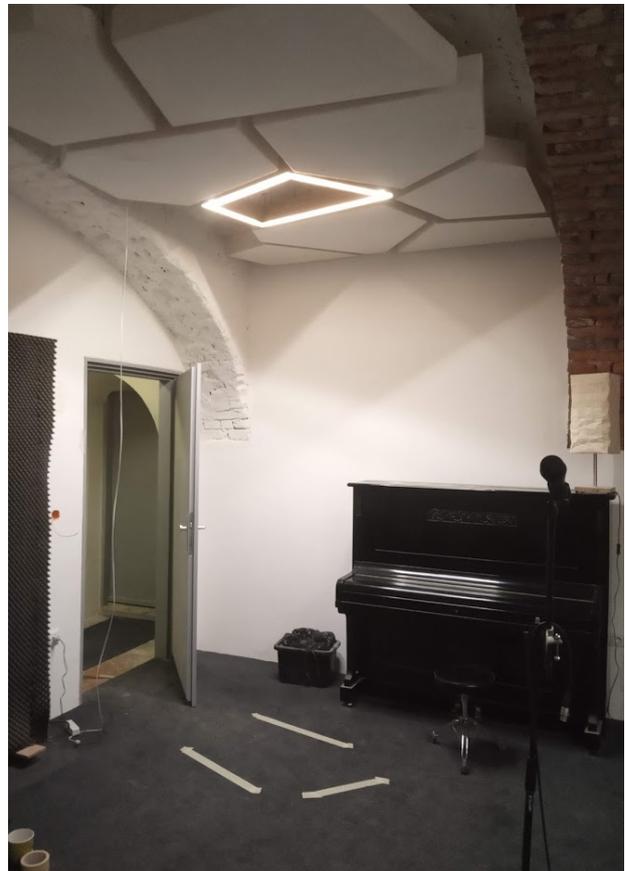
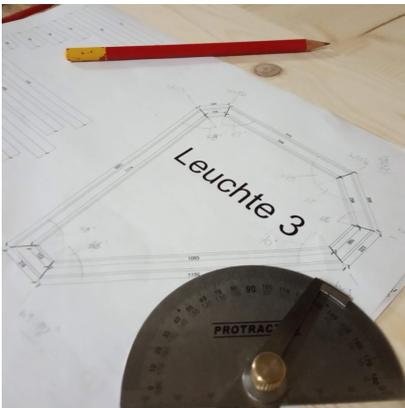
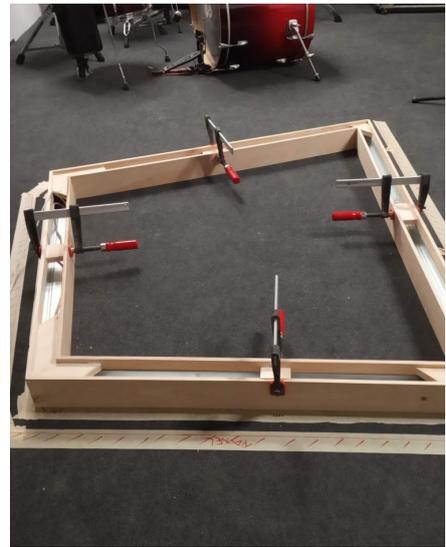
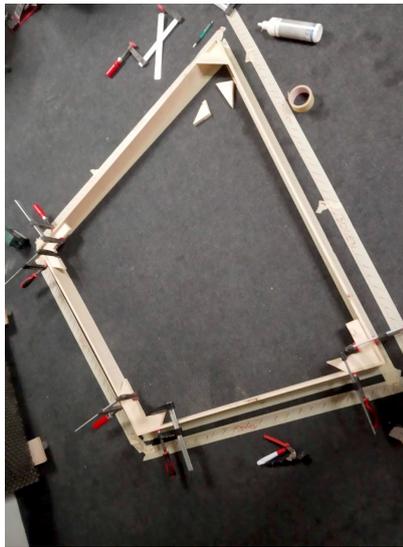


Abb.203. Herstellung, Montage und Zwischenergebnis des zweiten Prototyps für Beleuchtungsmodule

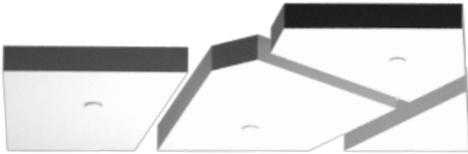


Abb.207. 3D-Modell der abgehängten Beleuchtungsmodule mit Spotlights am Gang zwischen den Proberäumen



Abb.204. Verputzte und gekalkte Deckenkassetten am Gang



Abb.205. Spotlight im Quellpunkt der geometrischen Form

Prototyp Gangleuchten

In allen Gängen wird das algorithmische Muster an der Decke mit Kassetten fortgeführt, die jedoch keine akustische Funktion erfüllen und lediglich der Beleuchtung der Gänge dienen. Sie werden aus Massivholzrahmen geformt und mit 12,5 mm starken Gipskartonplatten beplankt, dann verputzt und weiß gekalkt. Die Gangbeleuchtung erfolgt über einen Spot pro Paneel, die genau an den Quellpunkten der zweiten Generation in jedem Deckenpaneel verortet sind. Die Montage erfolgt über tragfähige Haken und längere Dübel, die zusätzlich im Gewölbe verklebt werden, aber ansonsten wie die Montage der Deckenkassetten.

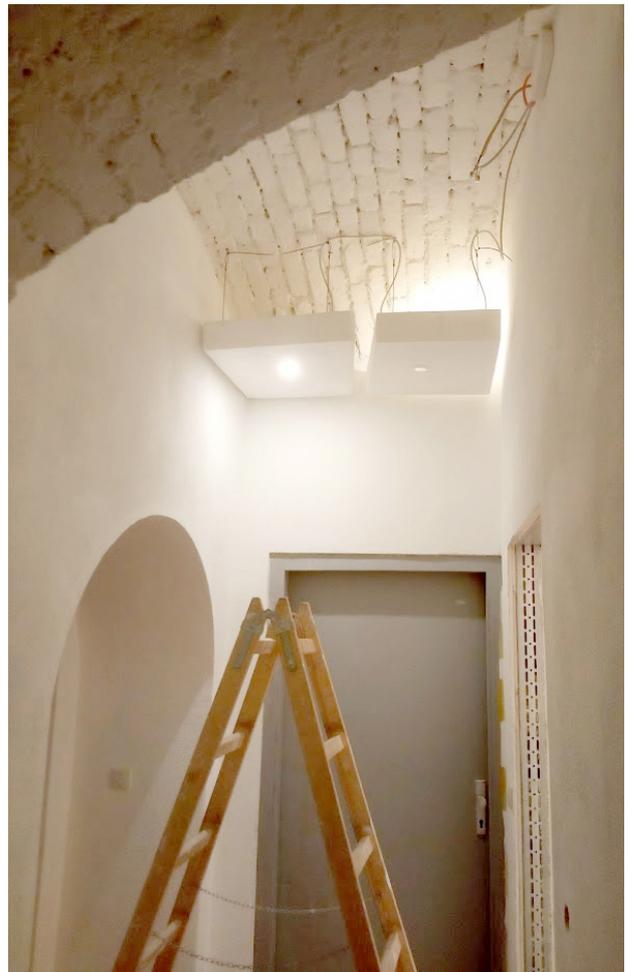


Abb.206. Zwischenergebnis Prototyp Beleuchtungsmodul Gang

Abb.208. Treppenabgang zum Foyer nach Sanierung

Baustelle Tonstudio

EINDRÜCKE | BILDER | PROZESS

BAU DES TONSTUDIOS

Wiederholung Seitensatz



Auf den folgenden Seiten sind die Bauarbeiten am Tonstudio und den Proberäumen im Verlauf der letzten Jahre in Bildstreifen dokumentiert. Diesem Prozess wird das vorläufige Zwischenergebnis der Unternehmungen zum 01. Mai 2020 gegenübergestellt.

Werkstätten & technische Infrastruktur



Abb.209. Sanierung und Ausbau Werkstatt und Lüftungszentrale mit Zwischenergebnis



Abb.210. Zwischenergebnis Werkstätten: Ausgegossener Boden mit erstem Anstrich

Foyer - Aufgang



Abb.211. Foyer und Treppenabgang: Sanierung und Zwischenergebnis



Abb.212. Zwischenergebnis Treppenabgang zum Foyer

Foyer - Gang zu den Proberäumen



Abb.213. Gang: nach Sanierung



Abb.214. Gang: Errichtung Zwischenwand Proberaum 2



Abb.215. Gang: verputzt und gekalkt. Dampfbremse & Elektroleitungen

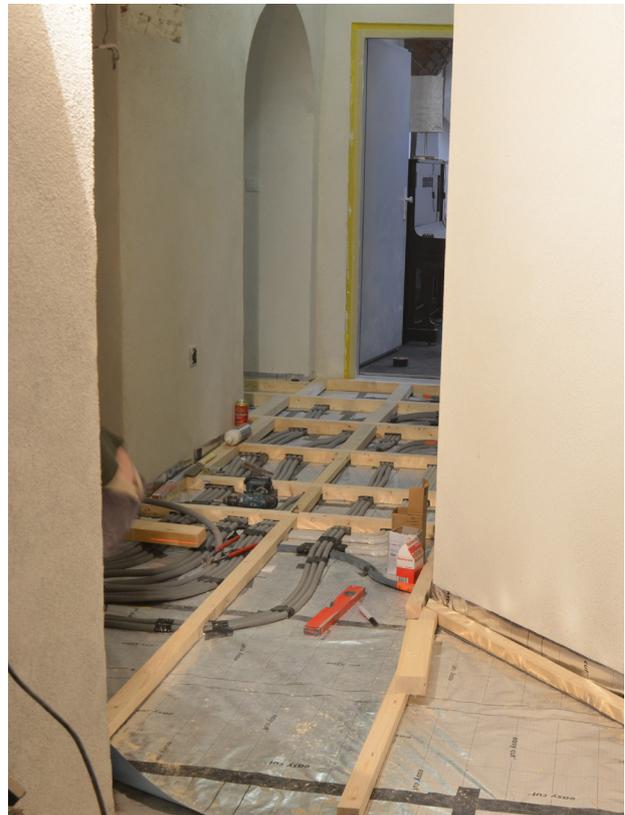


Abb.216. Gang: FBA 4: Verlegen des Haupttrasters



Abb.217. Gang: nach Einbau der Tür



Abb.218. Gang: nach Errichtung der Trockenbauwand Proberaum 3



Abb.219. Gang: fertiger Rohboden



Abb.220. Gang: Montage Prototypen Gangleuchten



Foyer - Abstellraum



Abb.222. Wassereinbruch 2019: Abgetragener Putz



Abb.223. Wasserschaden nach Sanierung 2019



Abb.225. Subverteiler für Haustechnik

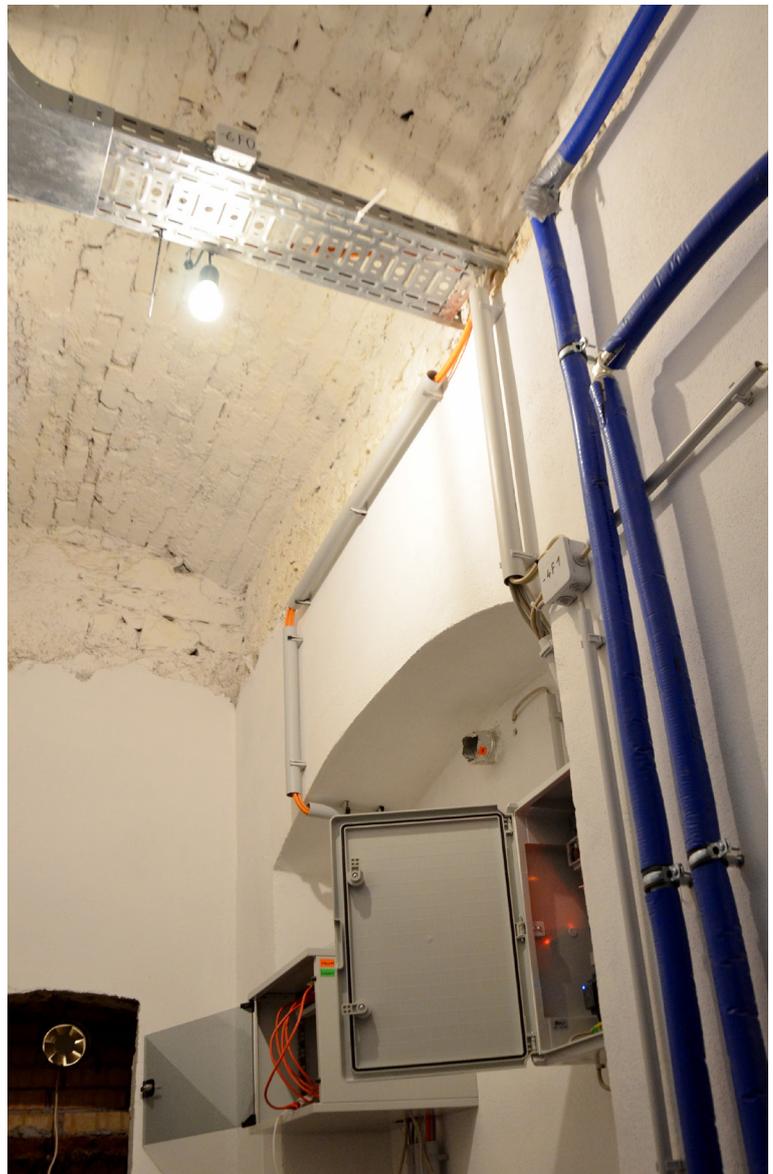


Abb.224. Zwischenergebnis Abstellraum / Techniksubverteilerraum

Foyer - Details



Abb.226. Sanierungsdetail Foyer



Abb.227. Detail Trockenbauwand: Verschnitt mit dem Gewölbe



Abb.228. Detail Trockenbauwand: Verschnitt mit dem Gewölbe



Abb.229. Detail Gangbeleuchtung



Abb.230. Detail Decke: Tür Proberaum 2, Gangbeleuchtung (oben) sowie gedrückter Bogen und Akustik- bzw. Beleuchtungsmodule (unten)

Foyer - „Schnitt“ durch Wand



Abb.231. Mauerwerk des gedrückten Bogens

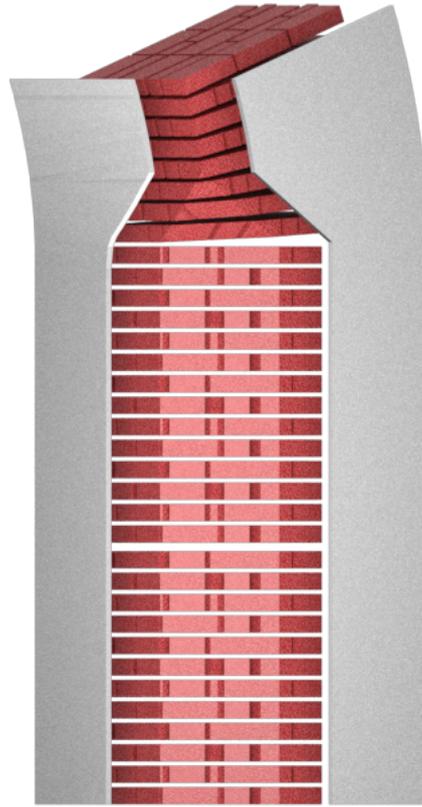


Abb.232. 3D-Modell des Schnitts durch die Stütze



Abb.233. Schnittflächen als ausgelegtes Muster aus Ziegelstücken



Abb.234. Aufbringen des Schnittmusters auf die Schnittfläche



Abb.235. Verputzte Schnittfläche

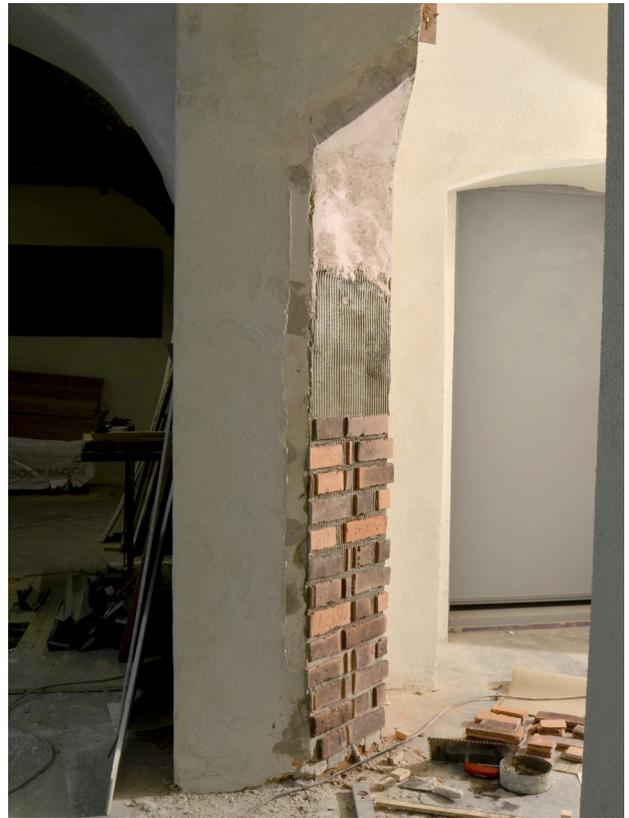


Abb.236. Verkleben der Blendsteine im dünnen Fliesenmörtelbett



Abb.237. Überputzte Schnittfläche



Abb.238. Schnittfläche in gekalktem Mauerwerk

Abb.239. Panorama Proberaum 1





Proberaum 1

Der Proberaum 1 wurde bereits 2017 vor Beginn der Entwurfsarbeiten als Versuchsfeld und als vermietbarer Raum fertiggestellt und hat sich seither als Ur-Prototyp in vielen Fragen der Funktionalität akustischer und anderer baulicher Maßnahmen bewährt. Eine Integration in das Konzept und ein Umbau laut Entwurf mit dem Abschluss des Proberaumblockes ist angedacht.

Proberaum 2



Abb.240. Ständerwerk Zwischenwand



Abb.241. Beplankung Zwischenwand



Abb.242. Beplankung Zwischenwand



Abb.243. Verputzen der Innenwände



Abb.244. Verlegen der Dampfbremse nach Streichen



Abb.245. Verlegen der Bodenunterkonstruktion



Abb.246. Panorama Proberaum 2



Abb.247. Prototypen Akustikpaneele - Hinterleuchtungsversuche für diffuse Gewölbebeleuchtung





Abb.248. Decke mit Mittenabsorbern und Leuchten, Rückwand mit Akustikpaneelen - Proberaum 2



Abb.250. Detail Polygonale Leuchte



Abb.249. Detail Polygonale Leuchte in der Deckenstruktur



Abb.251. Proberaum 2 - Decke und Rückwand.



Abb.254. Deckenstruktur mit Ansicht des gedrückten Mauerbogens



Abb.253. Lichtstudie Proberaum 2: Ergänzung von warmem Licht für die Hinterleuchtung der Gewölbe.



Abb.255. Detail Polygonale Leuchte in der Deckenstruktur

CODA

.....

„*Die [...] Coda kann den erreichten Ausgleich zwischen den Themen wieder zu Nichte [Sic!] machen, d.h. der Komponist hat hier die Gelegenheit, den Sonatenhauptsatz ‚schlecht‘ ausgehen zu lassen. Auch hier wird häufig auf Elemente der Durchführung zurückgegriffen.*^[98]“

98 Gorski, Markus (o.D.): Die Sonatenhauptsatzform, <http://www.lehrklaenge.de/PHP/Formenlehre/Sonatenhauptsatzform>, in: [lehrklaenge.de](http://www.lehrklaenge.de) [08.04.2020]

4

Coda

MESSERGEBNISSE

Als erstes Zwischenergebnis der akustischen Optimierung wurden mit einem geeichten Messmikrofon über ein Audiointerface Messungen von Nachhallzeiten über das ganze nutzbare Frequenzband gemacht und über Software die Frequenzspektrogramme ausgewertet und Diagramme erstellt.

- Messmikrofon: Beyerdynamik MM 1
- Audiointerface: MOTU UltraLight-mk3
- Software: Room EQ Wizard

Einige Erkenntnisse aus den Messungen sollen hier abschließend diskutiert werden.

Das Wasserfalldiagramm stellt in einer pseudo-dreidimensionalen Grafik die Abnahme des Schalldruckpegels p über die Zeit s über das ausgewählte Frequenzband in Hertz dar und gibt einen guten visuellen Eindruck der Nachhallzeiten wieder.

Die SPL-Messung stellt dar, welche Frequenzen bei einem Signal mit linearem Schalldruckpegel über das gesamte Frequenzband (z.B. weißes Rauschen) aus dem Raum zurück auf das Mikrofon trifft. Es drückt also in etwa aus, welche Frequenzen sich aufgrund von Raumdimensionen und Oberflächenbeschaffenheit „lauter“ und „leiser“ im Raum halten.

Die RT60 (Reverberation Time) Messung misst die Zeitspanne, innerhalb derer der Schalldruckpegel um 60dB abfällt.

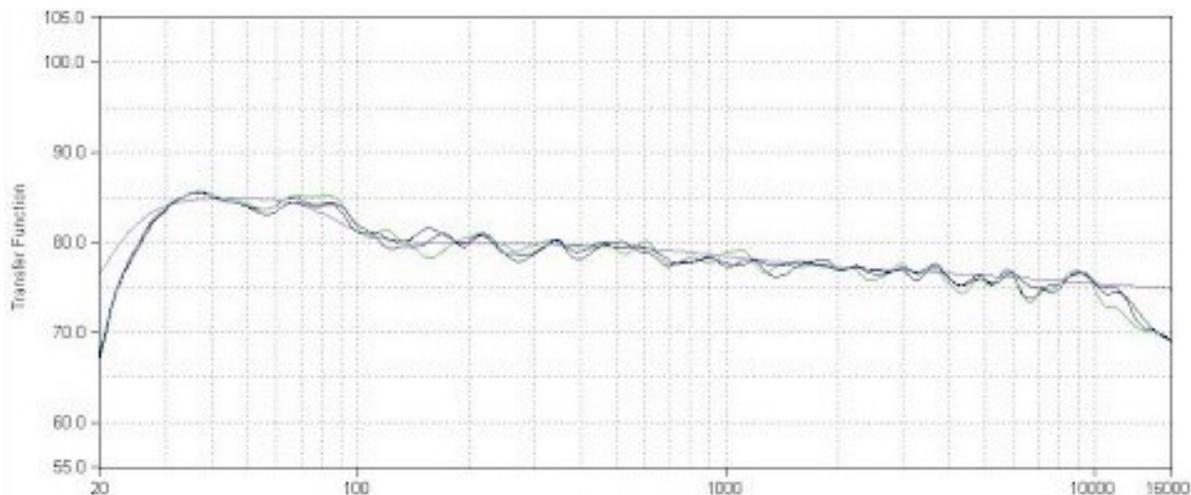


Abb.256. Harman Audio: RT60 Kurve als Ziel für die Ausstattung von Tonstudios

Regie B

Erste Messung

Im Regieraum B wurden direkt nach der Fertigstellung der ersten Akustikmaßnahmen und nach einer ersten Nachbesserung der Maßnahmen Messungen gemacht.

Im ersten Ergebnis (grüne Diagramme) ist erkennbar, dass sich die Nachhallzeiten im rohen Raum hauptsächlich durch die Raumgeometrie bestimmen.

Klar erkennbar ist, dass der Abfall des Schalldruckpegels im Tiefenbereich sehr unregelmäßig ist und sich ausgeprägte Spitzen um die 60 Hz und bei ca. 100 Hz, 120 Hz, 140 Hz sowie bei 180 Hz auftun. Bei ca. 100 Hz ist eine *stehende Welle* erkennbar.

Im Diagramm ist erkennbar, dass Spitzen im Bereich zwischen 100 Hz und 250 Hz vorliegen und tiefe Frequenzen bei 90 Hz vermehrt geschluckt werden. Auch hier ist die stehende Welle bei ca. 100 Hz sichtbar. Auch über das restliche Frequenzband verläuft der Abfall des Nachhalls zu unregelmäßig. Der Verlauf der Höhen ist unnatürlich linear und verhält sich zwischen 4 kHz und 10 kHz chaotisch, was als Auftrag zur Bearbeitung der glatten Oberflächen im Raum interpretiert werden kann.

Im RT60 Diagramm ist erkennbar, dass besonders im Bereich zwischen 120 Hz und 150 Hz die Nachhallzeit sogar über 0,5 Sekunden liegt.

Zweite Messung

Zwischen der ersten und der zweiten Messung (blaue Diagramme) wurden nach der Interpretation der Messergebnisse zwei mit Mineralwollplatten verfüllte Hohlkörper als Bassfallen installiert und ein weiterer großflächiger Breitbandabsorber an der Rückwand angebracht. Die Messung zeigt eine wesentliche Verbesserung der SPL-Antwort, die bereits homogener linear über die gemessenen Frequenzen verläuft.

Der Verlauf der Bässe ist jedoch nach wie vor problematisch: Das Plateau zwischen 50 Hz und 80 Hz sowie das Tal bei ca. 92 Hz deuten darauf hin, dass weitere Maßnahmen zur kontrollierten Wiedergabe von Bassfrequenzen nötig sind. Eine Spitze bei 500 Hz in den EDT (türkise Kurve im RT60 Diagramm) ist bis dato nicht wissenschaftlich erklärbar. Im Wasserfalldiagramm ist zwischen 14 und 18 kHz ein Buckel zu sehen, der darauf hinweist, dass die sehr frühen Reflexionen in diesem Bereich nach wie vor zu stark ausfallen. Da ein weiterer Mittenabsorber nachgerüstet wurde und dadurch eigentlich eine Verbesserung in diesem Bereich eintreten hätte müssen, liegt die Vermutung nahe, dass diese Reflexionen als sehr frühe Antwort über den glatten und harten Terrazzoboden auftreten und mit einem dünnen Teppich beseitigt werden können.

Weiterführend sind die Montage einer frequenzspezifischen Bassfalle und das Anbringen eines Diffusors bzw. eines weiteren Absorbers an der rückwärtigen (bis dato glatten) Tür geplant.

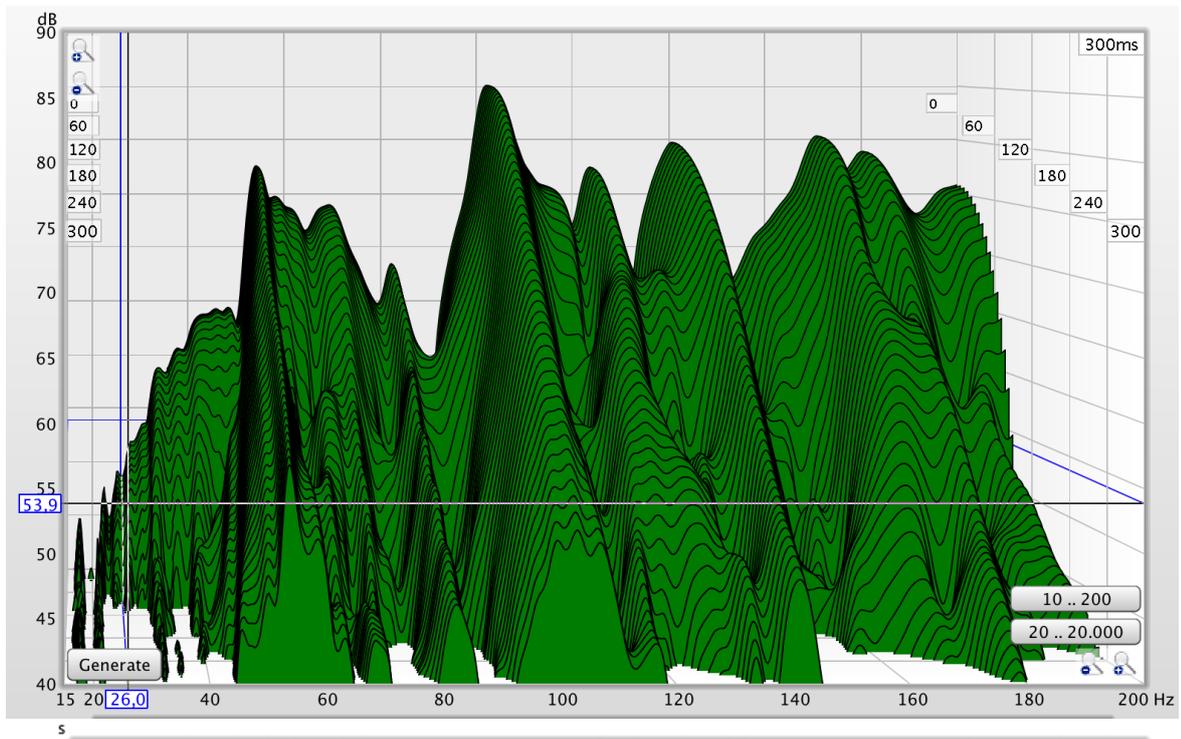


Abb.257. Wasserfalldiagramm: Nachhallzeit der Regie B im Bereich 20 Hz - 200 Hz.

Abb.259. RT60-Messung mit Early Decay Time, RT20 und RT30

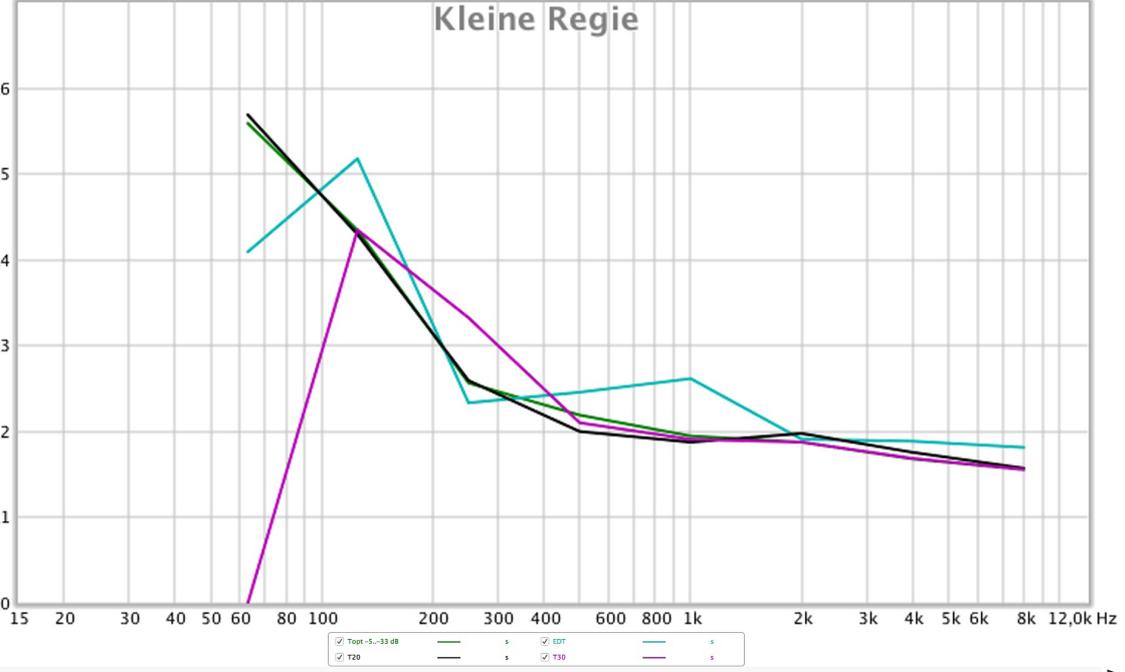


Abb.258. SPL - Diagramm: Room-Response auf lineares Signal

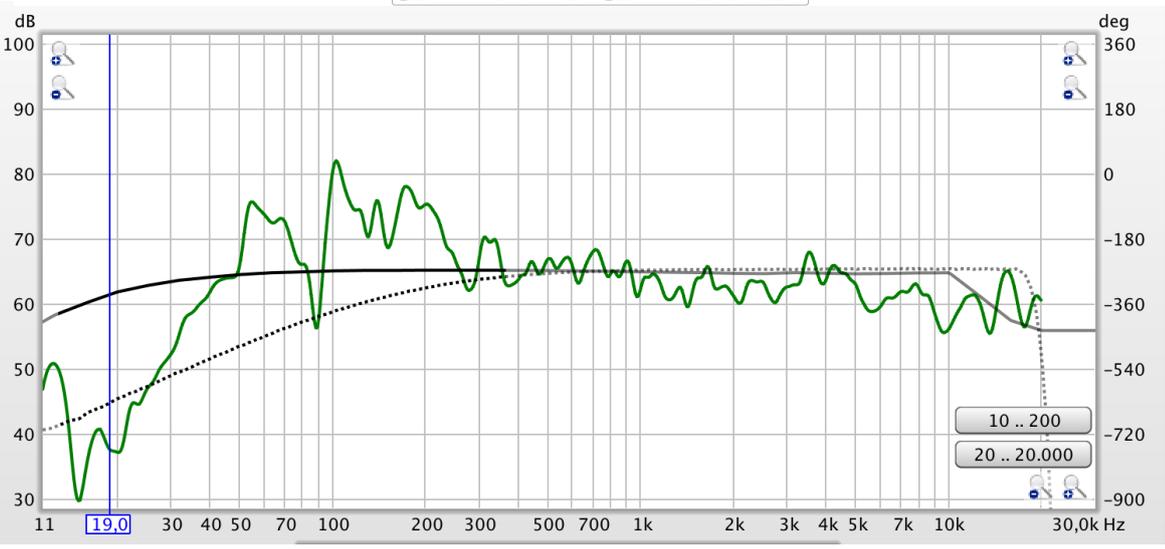


Abb.258. SPL - Diagramm: Room-Response auf lineares Signal

Abb.260. Wasserfalldiagramm Regie B: Nachhallzeiten im Bereich 20 Hz - 20 kHz.

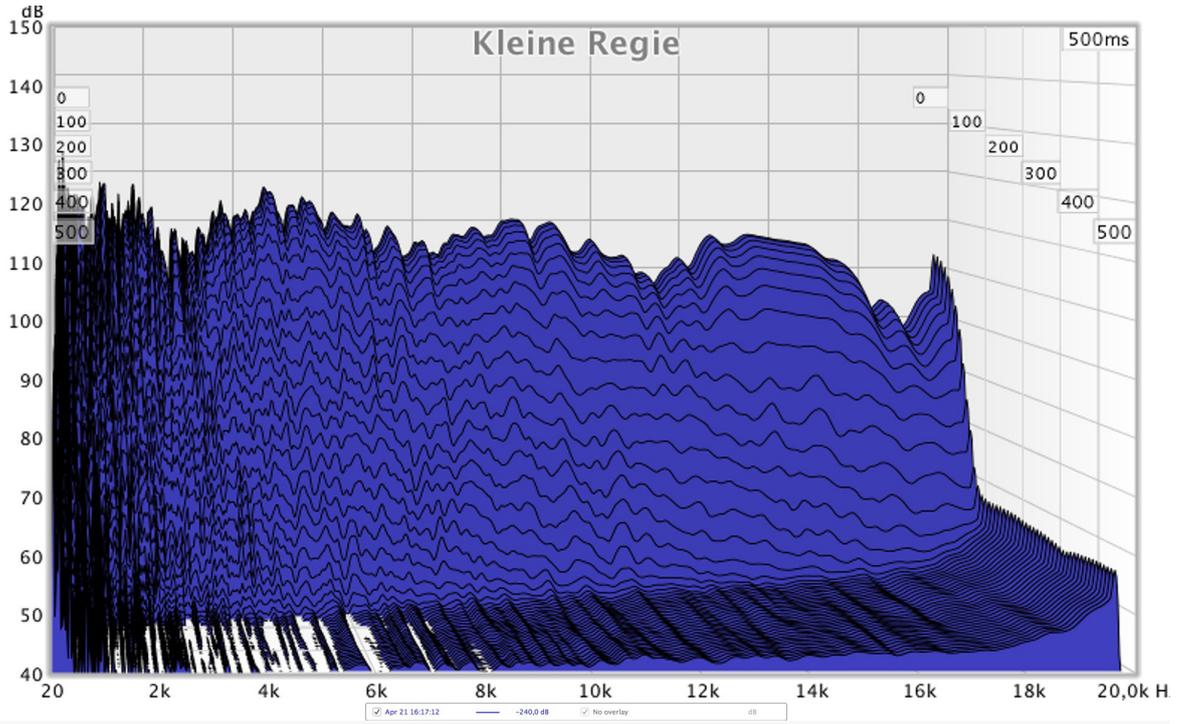


Abb.261. RT60-Messung mit Early Decay Time, RT20 und RT30

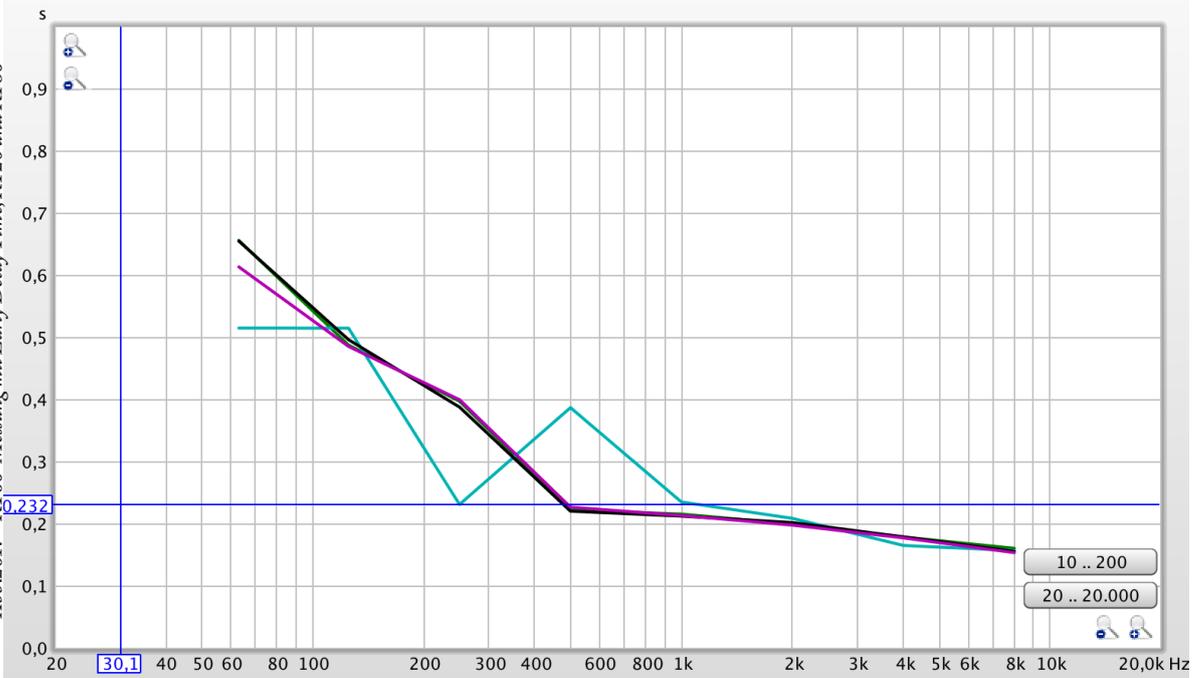
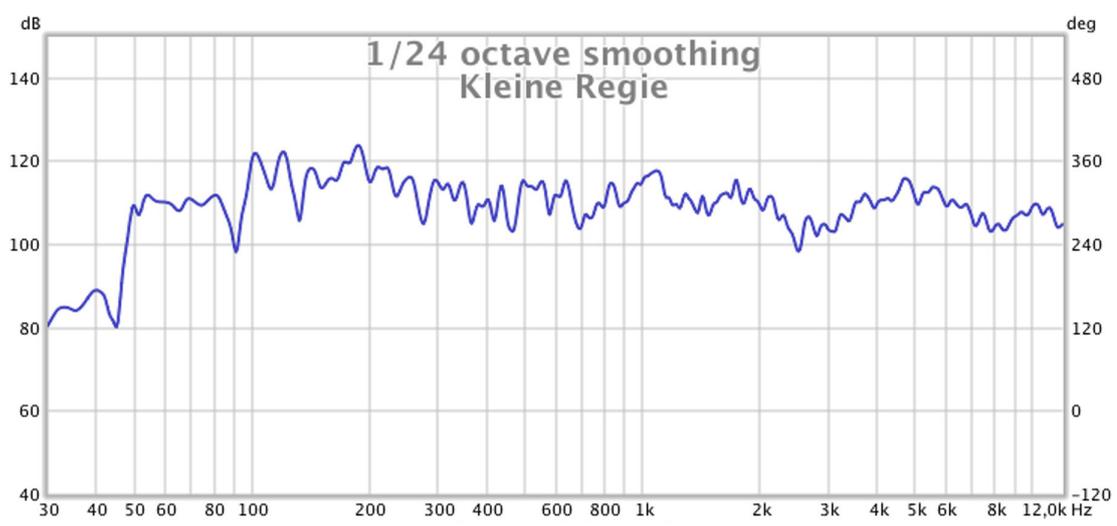


Abb.262. SPL-Diagramm: Room Response auf lineares Signal



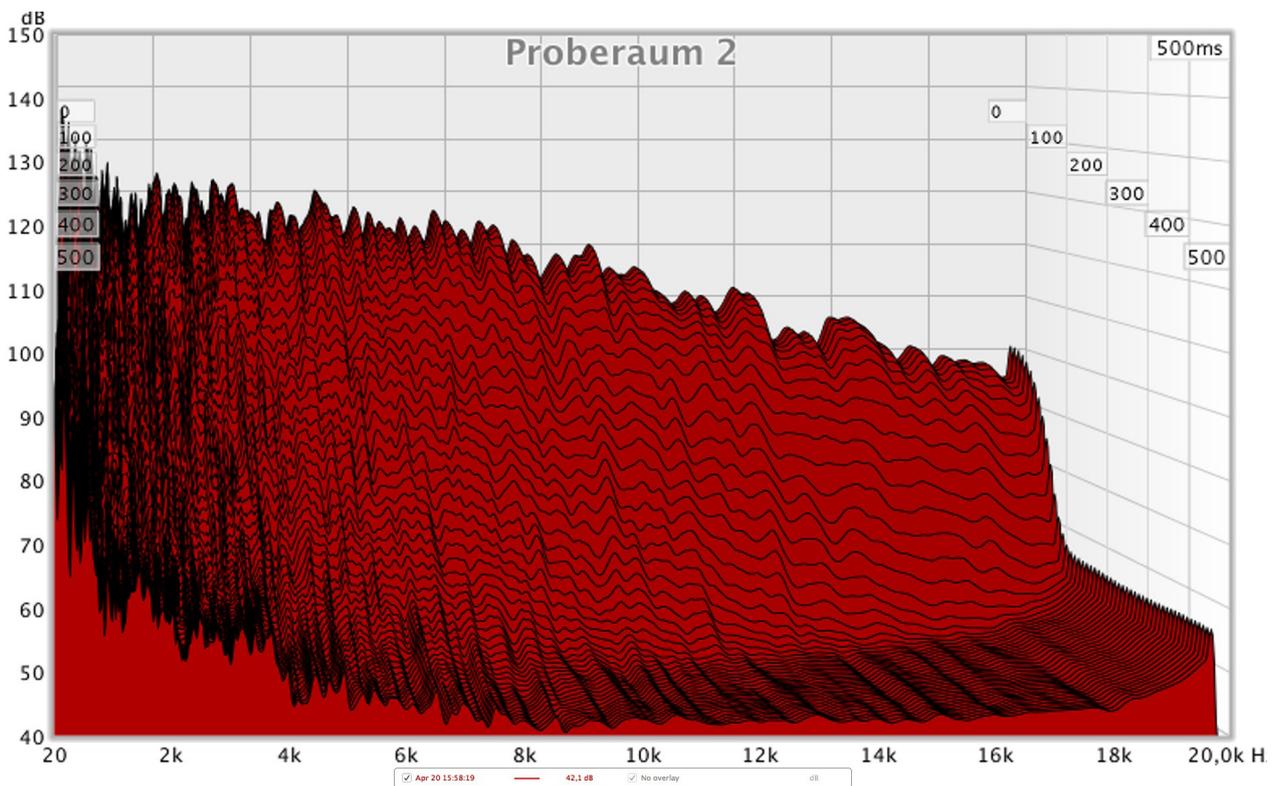


Abb.263. Wasserfalldiagramm Proberaum 2: Nachhallzeiten im Bereich 20 Hz - 20.000 Hz

Proberaum 2

Zum Zeitpunkt dieser Messung waren die Deckenkassetten sowie die Mittenabsorber einer Wand montiert. Die Messung darf vorsichtig als Nachweis für das Funktionieren der akustischen Strategie verstanden werden:

In den Diagrammen ist zu lesen, dass die bisherigen Akustikmaßnahmen in Form von Mittenabsorbern wie erwartet den Bereich der Höhen und Mitten gut bearbeiten. Der Verlauf der Höhen und ihr Nachhall erfolgt nicht chaotisch und besonders der Verlauf der Höhen zwischen 4 kHz und 20 kHz entspricht bereits in etwa der menschlichen Hörkurve und ist damit überaus zufriedenstellend - die Gefahr einer „Überdämpfung“ und zu trockenen oder „toten“ Akustik wurde mit der Materialwahl Steinwolle / OSB / Molton erfolgreich vermieden.

Die Bässe (20 Hz - 150 Hz) und tieferen Mitten (150 Hz - 400 Hz) weisen noch mehrere Ausschläge (Spitzen / Täler) auf (SPL-Diagramm) und hallen länger nach (RT60-Diagramm). Beides kann darauf hindeuten, dass insgesamt noch nicht genug Fläche mit Mittenab-

sorbieren verbaut wurde. Auch das Anbringen von Diffusoren für den Frequenzbereich 100 Hz bis 600 Hz könnte angedacht werden.

In den Diagrammen ist auch erkennbar, dass die Nachhallzeit im Frequenzbereich von 250 Hz bis hinunter zu 50 Hz von ca. 0,22 s auf ca. 0,5 s stark ansteigt, was auch den Erwartungen entspricht.

Die Nachhallzeiten der unteren Mitten können sich durch das Anbringen der restlichen Mittenabsorber an den verbleibenden freien Wänden noch verbessern lassen, es ist jedoch nicht anzunehmen, dass sich auch die Nachhallzeiten von Frequenzen unter 200 Hz durch die Fertigstellung der Mittenabsorber wesentlich ändern. Aus der Messung kann deshalb geschlossen werden, dass der Bereich der tiefen Mitten und Bässe noch zusätzlich mittels Bassfallen und weiteren Mittenabsorbieren bearbeitet werden muss, um eine konstante, lineare Nachhallzeit zu erreichen. Eine weitere Messung nach der Fertigstellung aller Wände wird Aufschluss über die anzuwendenden Methoden geben.

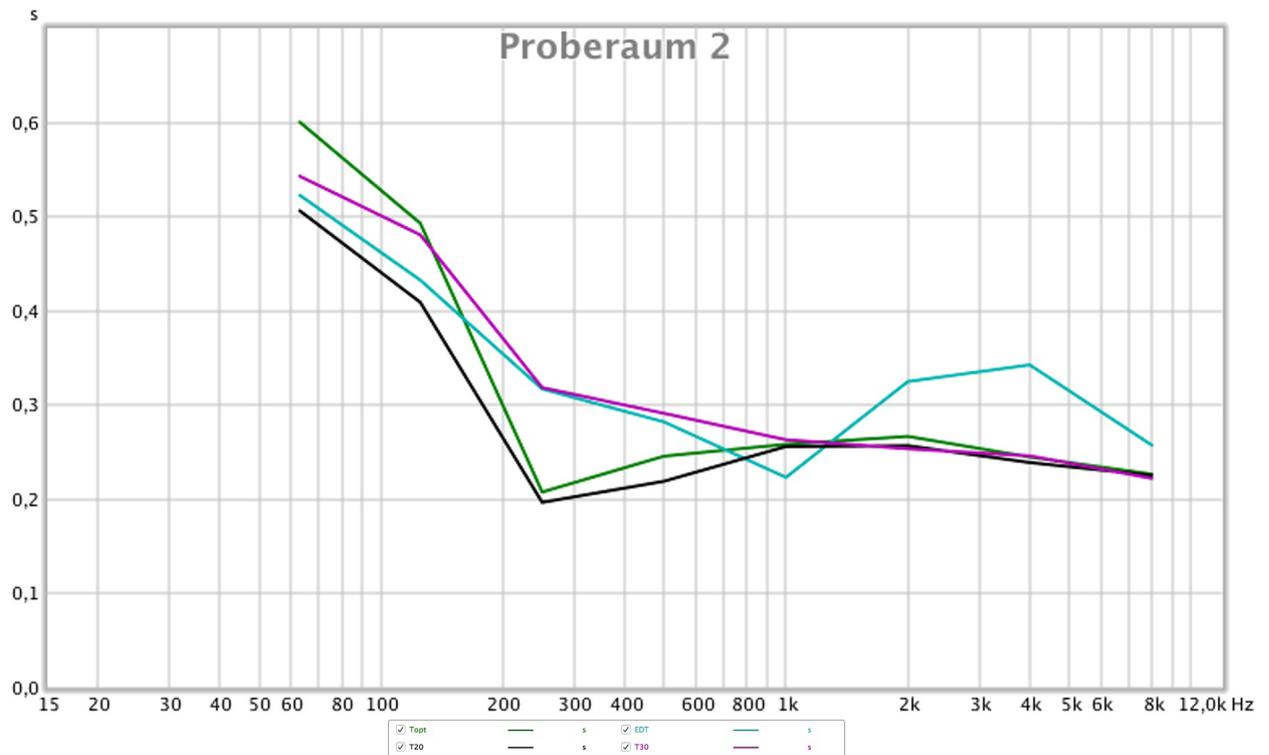


Abb.264. RT60-Messung mit Early Decay Time, RT20 und RT30

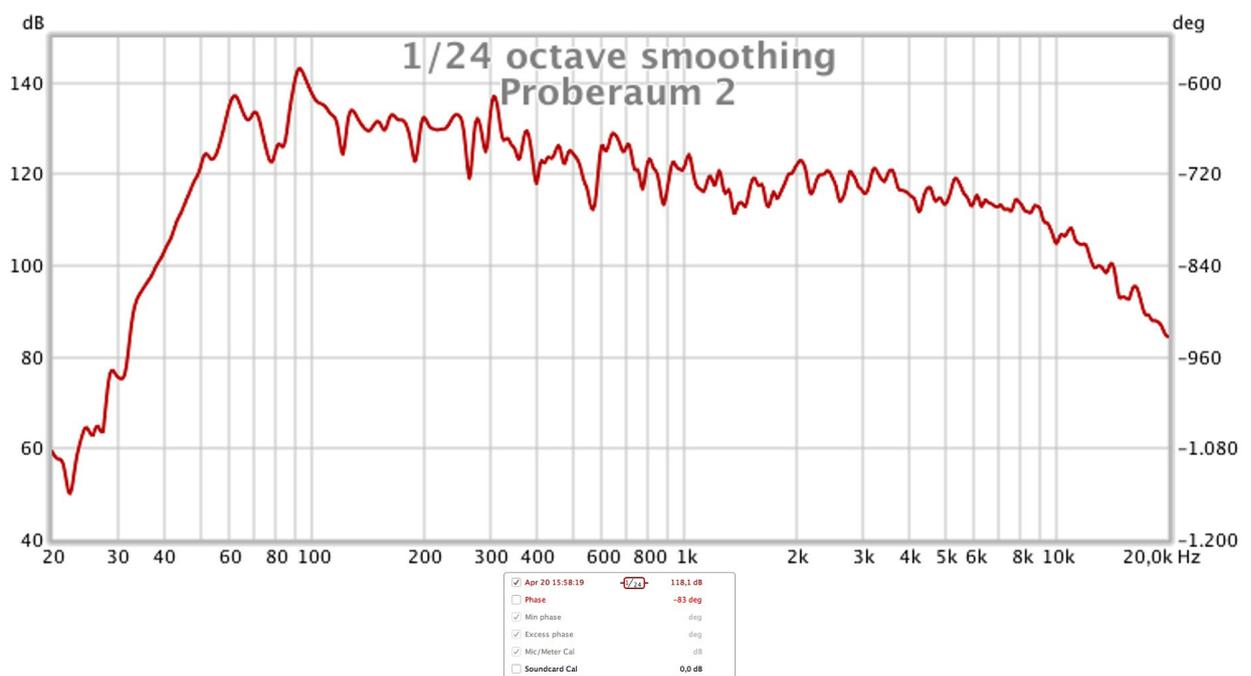


Abb.265. SPL-Diagramm: Room Response auf lineares Signal

DA CAPO AL CODA

Das Ziel dieser Arbeit war es, ein identitätsstiftendes architektonisches Leitbild für die Neuinterpretation eines familiär und kulturell bedeutsamen Ortes zu entwickeln und in einem Entwurf zu formulieren sowie die Planung und bisherige bauliche Umsetzung bis ins handwerkliche Detail zu dokumentieren.

Hierfür wurden in der **Exposition in drei Sätzen** die Projektparameter vorgestellt. Im **Hauptsatz** wurde der Bestand analysiert und in einem geschichtlichen und soziologischen Kontext beleuchtet. Ein Exkurs in die Grundlagen der Akustik in der **Überleitung** führte in den **Seitensatz**, wo die bautypologische Entwurfsaufgabe „Tonstudio“ und Referenzprojekte bzw. Konzepte der Bau- und Raumakustik und die Anforderungen an die neue Nutzung des Bestandes als Tonstudio mit Musikproberäumen vorgestellt wurden. Im letzten Teil der Exposition, dem **Epilog** bzw. **Schlussatz**, wurden die aus diesen beiden Themen abgeleiteten Parameter in einer Synthese zusammengefasst. Als Strategie für den Entwurf wurde eine motivisch-thematische Komposition erörtert, die der Baugeschichte ihre neue Nutzung als Prozess der Schallausbreitung gegenüberstellt. Dieser Prozess setzt in Form einer abstrahierten Fortführung der Nutzungsgeschichte Alt & Neu in einen Dialog auf Augenhöhe.

In der **Durchführung** wurde zunächst ein technologisches Entwurfswerkzeug entwickelt, das im Rahmen der formulierten Entwurfsstrategie als algorithmische Komposition die vorgestellten Themen aufgreift und in einen neuen Zusammenhang setzt. Anhand des ausgearbeiteten Entwurfes wurde ein gestalterisches Konzept

skizziert und die räumlich-funktionelle Programmierung beschrieben.

Im Rahmen dieser Arbeit gelang auch die teilweise bauliche Umsetzung des Entwurfes in einem ersten Bauabschnitt. Anhand von Fotos sind in der **Reprise** die handwerklichen Arbeiten der Ausführung und erste Zwischenergebnisse dokumentiert. Während der Arbeiten am Projekt hat sich verdeutlicht, dass die komplexe theoretische Materie der Akustik in Feldversuchen besonders anschaulich wird und die bauliche Praxis einen gewissen Aha-Effekt mit sich bringt. Die ersten Erfahrungen mit Planung und Ausführung von Akustik im Bestand verdeutlichen eindrucksvoll, wieso Professionisten dieser Branche ein Nischenfeld bedienen, in dem präzise Voraussagen oft nur durch aufwändig zu erfassende Daten möglich sind und warum die oft langjährige praktische Erfahrung mit der Materie die Ergebnisse deshalb überproportional positiv begünstigen kann.

Im Kreislauf aus theoretischer Recherche, Versuchen und Reflexion hat sich aber auch gezeigt, dass mit entsprechender Vorbereitung und realistischen Erwartungen gute Ergebnisse erzielbar sind. In wenigen Versuchen konnten auch kostenintensive Elemente, wie Türen, Akustikmaßnahmen und Beleuchtungsmodule mit vergleichsweise einfachen Technologien, Materialien und Werkzeugen selbst hergestellt werden. Weiters erwies sich, dass die Prototypen in sukzessiver Herangehensweise über einige Iterationen signifikant verbessert werden konnten und die oft kompromissbehafteten Zwischenergebnisse zu wirklich zufriedenstellenden Resultaten führten.

Die nächsten baulichen Schritte im Projekt sind die Fertigstellung der Infrastruktur und der Bereiche Foyer,

Küche und Sanitäranlagen, die zusammen mit den Proberäumen 1 - 4 als funktionelle Einheit abgeschlossen werden sollen. Erkenntnisse aus der Umsetzung sollen in weiterer Folge in die Ausstattung des größten Probe- und Veranstaltungsraumes einfließen und damit den Bau im Altkeller abschließen. Mit 2022 soll im nächsten Bauabschnitt das Tonstudio im Nebengebäude umgesetzt werden.

In der Folge des bisherigen Arbeitsprozesses werden akustische Messungen nach Fertigstellung weiterer Gebäudeteile in zeitlichem Abstand Aufschluss darüber geben, wie nachhaltig sich die Leistungsfähigkeit einzelner entwickelter Details und Bauteile verhält. Die eingehende Analyse wird mit Sicherheit Anstoß zu Optimierungen und neuen Detaillösungen geben. Insbesondere bewegliche Bauteile, wie Türen mit starker Beanspruchung, werden als Schwellenpunkte und damit wichtige Glieder in der Kette des Schallschutzes über eine längere Zeitspanne beobachtet und analysiert werden. Mit voranschreitender Fertigstellung werden sich mit Sicherheit noch viele weitere Fragen auftun, die einer eingehenden Untersuchung bedürfen.

Im bisherigen Verlauf dieser Arbeit hat das Projekt **Klangkellerei** den kultigen Standort Grabenstraße 8 bereits erneut beseelt. Nach langem Stillstand begegnen sich im Keller des Hauses wieder Menschen, die gemeinsam etwas zum Projekt beitragen und beginnen, es zu nutzen. Der Betrieb mit stündlicher Vermietung der Proberäume 1 und 2 hat sich bisher als attraktives Angebot für Musikgruppen und SoloinstrumentalistInnen erwiesen, das trotz unfertigem baulichem Zustand großen Anklang bei

Musizierenden allen Alters findet und bisher auf großartige Resonanz gestoßen ist. In der Produktionsregie B werden erste Projekte aufgenommen, gemischt und gemastert und Auftragskompositionen gemacht, die bereits im Handel und im Fernsehen zu hören sind.

Als Zukunftsperspektive bleibt die eingänglich formulierte Hoffnung bestehen, dass sich das Projekt mit zunehmender Fertigstellung wieder wie einst als attraktive kulturelle Drehscheibe etabliert und die im wahrsten Sinn des Wortes erzeugten „Good Vibrations“ zukünftig auch wieder viele kreative Menschen zum „Mitschwingen“ bewegen kann.

Die eingehende Beschäftigung mit der Gestaltung von Akustik und den Möglichkeiten, die sich daraus im Zusammenhang mit der Architektur erschließen, haben im Rahmen dieser Arbeit interessante Gestaltungsaspekte aufgezeigt.

Nach den im Laufe der Arbeit gemachten Erfahrungen kann zusammenfassend gesagt werden, dass es wichtig erscheint, bei der Gestaltung von Räumen die Akustik innerhalb der Architekturplanung miteinzubeziehen.

Die Akustik kann als wesentliche räumliche Wahrnehmungsgröße und auch als Gestaltungselement interessante Aspekte zu einem Architekturentwurf hinzufügen und schon minimalistische Bearbeitung des (Nicht-)Hörbaren ihn maßgeblich verbessern.

Eine wirklich gelungene Akustikgestaltung wertet jeden architektonischen Entwurf immens auf und ergänzt ihn im Idealfall um eine völlig eigene Erlebnisdimension.

Bibliografie

- Berger & Söhne, Ferdinand (Hg.): Die Kunst-
denkmäler der Stadt Graz. Die Profanbauten
des II. III. und IV. Bezirkes (= Österreichische
Kunsttopographie, Bd. 60), Wien 2013
- Brunner, Walter / Kulturamt der Stadt Graz
(Hg.): Stadtlexikon (= Geschichte der Stadt
Graz, Bd. 4), Graz 2003
- Brunner, Walter / Kulturamt der Stadt Graz
(Hg.): Wirtschaft - Gesellschaft - Alltag (=
Geschichte der Stadt Graz, Bd. 2), Graz 2003
- Deutsche Gesellschaft für Akustik, e.V. (Hg.):
DEGA-Empfehlung 101. Akustische Wellen
und Felder, Berlin 2006
http://www.dega-akustik.de/fileadmin/dega-akustik.de/publikationen/DEGA_Empfehlung_101.pdf
- Dickreiter, Michael: Handbuch der Tonstu-
diotechnik, Bd.1, München ⁶1997
- Euler-Rolle, Bernd / Hauser, Walter u.a. /
Bundesdenkmalamt (Hg.): Richtlinien für
Bauhistorische Untersuchungen, Wien 2016
- Freisecke, Andreas: Studio Akustik. Konzepte
für besseren Klang, Bergkirchen ³2012
- Kluge, Friedrich: Etymologisches Wörterbuch
der deutschen Sprache, Berlin/New York
²⁴2002
- Knauf Gips KG (Hg.): Schallschutz und
Raumakustik mit Knauf, Iphofen 2019
<https://www.knauf.de/wmv/?id=3070>
[03.03.2019]
- Hermann, Ester u.a.: Humans Have Evolved
Specialized Skills of Social Cognition. The
Cultural Intelligence Hypothesis, in: Science
317 (2007), 1360-1366
https://www.researchgate.net/publication/6017734_Humans_Have_Evolved_Specialized_Skills_of_Social_Cognition_The_Cultural_Intelligence_Hypothesis
- Lenarz, Thomas / Boenninhaus, Hans-Georg:
Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Berlin Heidel-
berg ¹⁴2012
- Lide, David R. (Hg.): CRC Handbook of
Chemistry and Physics, Boca Raton ⁹⁹2018
- Newell, Philip: Recording Studio Design,
Burlington ³2012
- Paeger, Jürgen (2015): Was den Menschen
besonders macht: Das Gehirn und die Spra-
che, http://www.oekosystem-erde.de/html/mensch_gehirn.html, in: Ökosystem-erde.de
[27.02.2020]
- Rauch, Josef / Schurz, Heribert Maria (Hg.):
Disco-Fever in Graz, in: Abenteuer Alter 2
(2019), 30-33
- Reistenhofer, Clementine: Die Geschichte des
Hauses Grabenstrasse 8, Graz o.D.
- Schroll, Anton (Hg.): DEHIO Graz. Die
Kunstdenkmäler Österreichs, Wien ⁷1979
- Strutz, Jürgen / Mann, Wolf (Hg.): Praxis der
HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie,
Stuttgart/New York ³2017
- Wagner, Anselm / Walk, Sophia (Hg.):
Architekturführer Graz, Berlin 2018

Links:

- https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Landesnormen/LST40002460/8040.03_An11.pdf
- <https://www.ris.bka.gv.at/Geltende-Fassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000162>

Abbildungen

- 21 Abb.1. Karte: Überregionale Anbindung der Stadt und des Standortes innerhalb der Region
- 23 Abb.2. Panorama der Stadt Graz. Foto: Wikipedia.org
- 25 Abb.3. Grabenstraße 8: Draufsicht auf Haupt- und Nebengebäude in der Blockrandbebauung
- 26 Abb.4. Die Grabenstraße aus südlicher Richtung. Haus 8 (grün) und Haus 6 mit oktagonalem Erker
- 27 Abb.5. Grundriss Hauptgebäude Erdgeschoß, M = 1:200
- 27 Abb.6. Ansicht Fassade West, straßenseitig; M = 1:200
- 28 Abb.7. Ansicht Fassade Ost, hofseitig; M = 1:200
- 28 Abb.8. Grundriss Hauptgebäude, 1. Obergeschoß, M = 1:200
- 29 Abb.9. Grundriss Hauptgebäude, 2. Obergeschoß, M = 1:200
- 29 Abb.10. Grundriss Hauptgebäude Dachgeschoß, M = 1:200
- 30 Abb.11. Grundriss Nebengebäude, Erdgeschoß, M = 1:200
- 31 Abb.14. Ansicht Südfassade Nebengebäude - hofseitig, M = 1:200
- 31 Abb.12. Ansicht Ostfassade Nebengebäude - Stirnseite, M=1:200
- 31 Abb.13. Ansicht Ostfassade Nebengebäude - Garagen, M = 1:200
- 32 Abb.16. Schnitt B-B, M = 1:200
- 32 Abb.15. Schnitt C-C, M=1:200
- 33 Abb.17. Schnitt A-A, M = 1:200
- 33 Abb.18. Grundriss Untergeschoß, M = 1:200
- 33 Abb.19. Zwischenstock, M = 1:200
- 34 Abb.20. Grabenstraße zwischen Kreuzgasse im Norden und Schlossberg im Süden, M = 1:1000
- 35 Abb.21. Karte: Stmk. Landesarchiv in einer Sammlung des Graz Museum
- 35 Abb.22. Karte: Stmk. Landesarchiv in einer Sammlung des Graz Museum
- 35 Abb.23. Karte: Stmk. Landesarchiv in einer Sammlung des Graz Museum
- 36 Abb.24. Grabenstraße 8 - Hauptgebäude. Ansicht aus dem Innenhof
- 37 Abb.25. Lageplan zur eingereichten Flaschenwaschhütte 1943
- 37 Abb.26. Westfassade, Ansicht von der Straße
- 39 Abb.28. Einreichplan Flaschenwaschhütte 1943. Planverfasser: Franz Wüntscher
- 39 Abb.27. Werbetafel mit Logo der Weinkellerei
- 40 Abb.29. Einreichplan Nebengebäude 1950, Ing. Architekt Gustav Madritsch
- 43 Abb.30. Push 'N Pull in den 1970er Jahren. Foto: Trenkwald (E.Prokop) aus „Graz, eine Stadt zum Verlieben“ Hg. Fremdenverkehrsbüro Graz
- 44 Abb.31. Niki Pfusterschmid in Abenteuer Alter, 02/19. Foto: Erwin Scheriau
- 44 Abb.32. Artikel vom 24.03.1973 in: Neue Zeit
- 44 Abb.33. Nikolaus Pfusterschmid, Alvin Singleton u.a. Foto: Rockarchiv Steiermark
- 44 Abb.36. Foto: Rockarchiv Steiermark
- 44 Abb.35. Foto: Rockarchiv Steiermark
- 44 Abb.34. Artikel Tagespost vom 05.11.1972
- 45 Abb.37. Einreichpläne Umbau einer Weinkellerei in ein Tanzlokal, 1972. Architekten Ingrid u. Jörg Mayr, Digitalisierung: Gerald Mörth
- 46 Abb.38. Club Ska. Foto: Mario Jahn / Breakery
- 47 Abb.39. Logo des Klub Ska
- 48 Abb.40. Club Ska, 2010. Foto: Mario Jahn / Breakery.
- 49 Abb.45. Glastunnelhalle im Ska / After Dark, o.D.: Foto: unbekannt / Privat
- 49 Abb.43. DJ und Publikum im Klub, o.D. Foto: Szene1.at / Session Web
- 49 Abb.42. Livemusik im After Dark, o.D. Foto: unbekannt / Privat
- 49 Abb.44. Gäste im After Dark, o.D. Foto: Szene1. at / Session Web
- 49 Abb.41. Stahlbar in der großen Halle im Altkeller, o.D. Foto: Ska Facebook
- 50 Abb.46. Club Ska, Stahlbar. 2010. Foto: Mario Jahn / Breakery
- 52 Abb.47. Einreichplan für den Umbau des Push 'N Pull, 1980. Planverfasser: Josef Fekonja
- 53 Abb.48. „SKA“ - Logo mit stilisiertem Gewölbebogen
- 54 Abb.49. Bau der Fluchttreppe, 2000. Foto: unbek. / Michael Lindner
- 54 Abb.51. Fluchttreppe mit Vordach in Zimmermannbauweise, 2020
- 54 Abb.50. Fertige Fluchttreppe mit Eingang zur Ballettschule, 2006
- 55 Abb.52. Einreichpläne 1999, Errichtung einer Fluchttreppe. Pläne: Ingenieurbüro Gerhard Bachlechner.
- 56 Abb.53. Schallfeld - künstlerische Interpretation Gerald Mörth
- 58 Abb.54. Frequenzspektrum
- 59 Abb.55. Frequenz
- 60 Abb.56. Männlicher Sänger: vokalisierter Ton „e“
- 60 Abb.57. Reiner Sinuston, 164,814 Hz (E3)
- 60 Abb.58. Frequenzspektogramm des Sinustons (E3, bei 164,841 Hz)
- 60 Abb.59. Frequenzspektogramm der vokalisierten Singtons „e“
- 61 Abb.60. Amplitude
- 61 Abb.61. Vergleich des Dynamikbereiches des menschlichen Gehörs mit visuellem Größenverhältnis

- 62 Abb.62. Schalldruck in einer Darstellung als exponentielle Kurve auf einer linearen y-Achse gegenüber dem Schalldruckpegel auf der x-Achse. Die exponentiellen Schalldruckwerte lassen keine Differenzierung zu und sind quasi nicht ablesbar.
- 62 Abb.63. Die selben Werte in der logarithmischen Skala auf der y-Achse sind auf der dB-Skala als gut lesbare Linearfunktion abgebildet.
- 62 Abb.64. Hörschwelle und Kurven gleicher Lautstärkepegel für Sinustöne im freien Schallfeld nach Dickreiter 1997, 111.
- 64 Abb.65. Reflexion
- 64 Abb.66. Streuung
- 64 Abb.67. Beugung
- 64 Abb.68. Refraktion
- 65 Abb.69. Energetische Interaktionen
- 65 Abb.70. Hallradius - Schallfeld - Freifeldakustik
- 65 Abb.71. Schallfelder: Direktschallfeld und diffuses Schallfeld
- 65 Abb.72. Hallradius - Schallfeld: diffuses Schallfeld
- 67 Abb.73. Schalldämmmaß gegen Bezugskurve zwischen 100 - 3150 Hz nach Knauf. Der R_w Wert bei 500 Hz beträgt 67,4 dB.
- 68 Abb.74. Qualitativer Verlauf der Schalldämmung einschaliger und zweischaliger Bauteile nach Knauf
- 68 Abb.75. Grenzfrequenzen einschaliger Bauteile in Abhängigkeit von Plattendicke und Material nach Knauf
- 71 Abb.76. Diffusor in einem Tonstudio. Foto: unbekannt
- 71 Abb.77. Prinzipskizze Diffusor
- 71 Abb.78. Diffusoren im Studioraum C der Blackbird Studios, USA
- 72 Abb.80. t.akustik Spektrum A20 Absorber, Wirksamkeitsbereich von 250 Hz - 4 kHz
- 72 Abb.79. Delamar Schlitzplattenschwinger
- 73 Abb.82. Auditorium Max Weber Building der Universität Nanterre, Frankreich, Atelier Pascal Gontiere
- 73 Abb.81. Hörsaal der TU Graz in der Inffeldgasse mit angewinkelten Reflektorplatten an der Decke
- 74 Abb.83. Der Münchner Gasteig mit „misslungener“ Akustik. Leonard Bernstein kommentierte den Klang mit „Burn it!“ Foto: München.de
- 75 Abb.84. Concert Hall, Andermatt, Schweiz; Christina Seilern; Foto: Roland Halbe.
- 76 Abb.85. Tonregie Studio A, Capitol Studios, Hollywood, USA. Foto: Capitol Studios
- 79 Abb.86. Aufnahmezimmer Studio B, Capitol Studios, Hollywood, U.S.A. Foto: Capitol Studios
- 80 Abb.87. Drumrecording. Foto: Josh Sorenson
- 81 Abb.88. Hollywood: Capitol Studios „Echokammer“ ohne parallele Oberflächen erlaubt Nachhallzeiten bis zu 5 s. Foto: Capitol Studios
- 81 Abb.89. Hansa Studio Berlin - Meistersaal mit Kassettendecke. Foto: Wikipedia.org
- 82 Abb.90. Capitol Studios, Hollywood; Tonregie A. Foto: Capitol Studios
- 83 Abb.91. Noisy Musicworld Berlin, Proberaum 8. Foto: Noisy Music World
- 83 Abb.92. The Premises Studios, London. Foto: The Premises Studios
- 83 Abb.93. The Premises Studios, London: Gastronomie. Foto: The Premises Studios
- 84 Abb.94. Arbeitsplatz. Foto: Gerald Mörth
- 90 Abb.95. Entwurf „Klangkellerei“ - Rendering: Gerald Mörth
- 93 Abb.96. Schallausbreitung von Punkten aus in einem Raum: Sukzessive diagrammatische Aufteilung des Raumes als Gestaltungsprinzip in acht Schritten.
- 95 Abb.97. Quellorte. Fotos: Gerald Mörth
- 96 Abb.98. Rechenoperation: zwei Variablen, Operator und Ergebnis
- 96 Abb.99. Rechenoperation mit geänderten Variablen und neuem Ergebnis
- 97 Abb.100. Rechenoperation mit veränderten Variablen und mehreren Operatoren
- 97 Abb.101. Anstatt einer Rechenoperation wird aus den Parametern Geometrie generiert.
- 98 Abb.102. Operationen mit Geometrien aus Rhino in Kombination mit codegenerierten Geometrien: Subtraktion und Addition der zylindrischen Volumina
- 99 Abb.103. Ansicht des gesamten Entwurfswerkzeuges und all seinen Verknüpfungen und Knoten in „Grasshopper“ / Rhinoceros 6
- 100 Abb.104. Per Hand änderbare Parameter zu Steuerung des Ergebnisses.
- 100 Abb.105. Erzeugte Punkte pro Fläche mit und ohne Standardabweichung
- 101 Abb.106. Werte kleiner 3 werden in dieser Bedingung auf 3 gesetzt, damit alle Flächen mit min. drei Punkten besiedelt und geteilt werden können.
- 101 Abb.107. Abschließender Schritt der Generierung der Oberflächen zweiter Generation
- 102 Abb.108. Die Komposition. Collage: Gerald Mörth
- 104 Abb.109. Prozess der Entstehung der Formen erster und zweiter Ordnung
- 105 Abb.110. Rendering: Innenansicht der generierten Oberflächen.
- 106 Abb.111. Prozessbild: Volumenmodell des Untergeschoßes
- 106 Abb.112. Prozessbild: Simplex Modell der Wandgeometrien im Untergeschoß
- 107 Abb.113. Prozessbild: Die Struktur erster Ordnung im Untergeschoß
- 107 Abb.114. Rendering: Struktur zweiter Ordnung an die Oberflächen der Innenräume projiziert
- 108 Abb.115. Rendering: Struktur zweiter Ordnung an den Decken der Innenräume
- 108 Abb.116. Struktur zweiter Ordnung an den Oberflächen des Innenraumes des Proberaumes 2
- 109 Abb.117. Rendering: Funktionsflächen für Beleuchtung und Akustikpaneele Proberaum 2

- 110 Abb.118. Umgang mit dem Bestand im Neuen Museum Berlin, David Chipperfield Foto: Gerald Mörth
- 112 Abb.119. Schnitt B-B, M = 1:375
- 113 Abb.120. Funktionsprogramm, M = 1:200
- 115 Abb.121. Raumprogramm. M = 1 :200
- 121 Abb.122. Entwurfspläne - Grundriss. Pläne: Gerald Mörth
- 123 Abb.123. Entwurfspläne - Schnitte. Pläne: Gerald Mörth
- 125 Abb.124. Bemaßte Skizze Akustikpaneele in Proberäumen.
- 126 Abb.125. Kabelrinne Firma BAKS
- 126 Abb.126. 8-fach Multicore mit XLR Steckverbindungen, Custom Lynx.
- 126 Abb.127. RG58 BNC Koaxialstecker, Foto: Cablematic.
- 127 Abb.128. CAT 7-Netzwerkkabel mit vergoldeten Steckern, UGREEN.
- 132 Abb.129. Rückseitig datiertes Holzbauteil, das bei den Abbrucharbeiten zum Vorschein kam.
- 134 Abb.130. Lounge mit kleiner Bar, 2014: Zustand bei Übernahme
- 134 Abb.131. Eingangsbereich, 2014: Schimmel an der Innenausstattung
- 134 Abb.133. Lounge, 2014: Schimmel an der Innenausstattung
- 134 Abb.132. Glastunnelhalle, 2014: Demontage der Stahlbar
- 134 Abb.134. Lounge, 2014: Feuchteschäden an Vollholzböden
- 135 Abb.135. Glastunnelhalle, 2014: Demontage Glaspaneele
- 135 Abb.136. Glastunnelhalle, 2014: Demontage Stahlunterkonstruktion
- 136 Abb.137. Glastunnelhalle im Altkeller, 2014: Zustand bei Übernahme des Klubs
- 136 Abb.138. Glastunnelhalle Altkeller: Rückbau der Unterkonstruktion und Innendämmung
- 137 Abb.139. Glastunnelhalle im Altkeller, 2014: Demontage der Elektroleitungen
- 137 Abb.140. Glastunnelhalle im Altkeller, 2014: Raum nach Entsorgung der Innendämmung und Ausstattung
- 138 Abb.141. Fabrikationshalle, 2014: Hausrat und Müllansammlung
- 138 Abb.142. Fabrikationshalle, 2014: Ausgeprägter Pilzbefall
- 139 Abb.143. Keller Fabrikationshalle 2009: Ansammlungen von Müll und Hausrat, Schimmelbildung an Wänden erkennbar.
- 139 Abb.144. Fabrikationshalle, 2017: Leere Halle nach Abbruch der Innenausstattung und des Putzes, Abbruch der Bühne und nichttragenden Wände.
- 140 Abb.145. Übertragung des Werkplans auf den Prototypen Schallschutztür mk1: Einstemmschloss für die Bearbeitung mit Oberfräse und Stechbeitel angezeichnet.
- 142 Abb.148. Detail 7 - Kopfpunkt im Gewölbe M= 1:10
- 142 Abb.150. Detail 5 - Eckstoß Vorsatzschale M=1:10
- 142 Abb.146. WA1 - Trockenbau, M = 1:10
- 142 Abb.149. Detail 6 - Eckdetail, M= 1:10
- 142 Abb.147. Grundriss Wandaufdopplung zwischen PR3 und PR3; 1:20
- 143 Abb.151. Einrichten und Vernieten des Ständerwerkes zu einem Bauteil
- 143 Abb.152. Liegendes Bauteil, rückseitig beplankt und verspachtelt
- 143 Abb.153. Aufstellen des Bauteiles hinter anlaufender Wand
- 143 Abb.154. Das fixierte Bauteil hinter beplankter anlaufender Wand
- 143 Abb.155. Verschneidung mit der Wand mit komplexer Gewölbegeometrie
- 144 Abb.156. Verlegen der Dampfsperre mit Vlies und Verkleben der Stöße
- 144 Abb.157. Elektrik mit leeren Reserveschläuchen, Hauptraster der UK
- 144 Abb.159. FBA 4
- 144 Abb.158. Bestandsboden im Schnitt. v.l.n.r.: Gussasphalt, Trennschicht, STB, Dampfbremse, Trittschallplatten, Sauberkeitsschicht, Schüttung / Erdreich
- 145 Abb.160. Nebenraster und Verdübelung des Hauptrasters im Boden
- 145 Abb.162. Bauphysikalische Näherungswerte: Vermeidung v. Staunässe und Schäden durch aufsteigende Feuchtigkeit sowie Verbesserung der Wärmedämmung
- 145 Abb.161. Plattenbelag der Unterkonstruktion mit OSB/3-Platten
- 146 Abb.163. Ansicht Tür Prototyp 1, M = 1:20
- 146 Abb.164. Horizontalschnitt, M = 1:20
- 146 Abb.165. Vertikalschnitt, M = 1:20
- 146 Abb.166. Details 12 und 13: Kopf- und Fußpunktdetail Tür 1, M=1:5
- 147 Abb.171. Die MDF-Platten auf Maß geschnitten im Zulieferbetrieb
- 147 Abb.167. Verleimung des Blattes aus MDF-Platten
- 147 Abb.168. Grundierung mit 2k-Epoxygrund
- 147 Abb.172. Fräsen und Ausstemmen des Einstemmschlusses vor Verkleben
- 147 Abb.173. Einstemmen des Winkelschließblechs im der rohen Türzarge
- 147 Abb.170. Prototyp 1: Montage der Zarge mit Blatt im rechten Winkel
- 147 Abb.169. Prototyp 1: Nut für Dichtung im Blatt eingefräst
- 148 Abb.174. Ansicht und Horizontalschnitt Tür Prototyp 2, M = 1:20
- 148 Abb.175. Vertikalschnitt Tür 2, M =1:20
- 148 Abb.176. Einbaudetail Tür 2, Ansicht, M = 1:20
- 148 Abb.177. Detail 1 und 2: Kopf- und Fußpunkt Tür 2, M = 1:5
- 149 Abb.178. Winkelbeschläge aus Aluminiumprofilen
- 149 Abb.179. Winkel für Schwelle mit Auflaufdichtung

149	Abb.180. Gummilippe mit Keder
149	Abb.181. Fertige Schwelle
149	Abb.182. Tür Proberaum 1 nach Einbau, geöffnet
149	Abb.183. Tür Proberaum 1 nach Einbau, flächenbündig geschlossen
150	Abb.184. 18 mm OSB/3, Hornbach
151	Abb.185. Abwicklung aller Polygonflächen im Proberaum 2 mit durchgehender Nummerierung der Paneele an Wänden und Decke
151	Abb.186. Verschachtelungs- und Zuschnittspläne
152	Abb.187. Position der Deckenkassetten auf Klebeband am Boden
152	Abb.189. Projektion der Hängepunkte vom Boden in das Gewölbe
152	Abb.188. Projektion der Hängepunkte mittels Lichtlot
153	Abb.190. Hängepunkte mit Provisorium (hinten) und Stahlseilen (vorne)
153	Abb.192. Selbstsichernde „Schlüsselloch“-Montage ermöglicht einfaches Ein- und Aushängen der Paneele
153	Abb.191. Holzblöcke zur Befestigung der Wandpaneele
154	Abb.193. Befüllte Wandpaneele vor Bezug mit Molton
155	Abb.194. Proberaum 2: Rückwärtige Wand mit Mittenabsorbern. Gut sichtbar ist, dass die Struktur erster Ordnung aufgrund von Messungenauigkeiten nicht durchgängig ist.
155	Abb.195. Bilderstrecke Proberaum 2: Aufhängen der Wandpaneele Stück für Stück.
156	Abb.198. Deckenstruktur mit Leuchten
156	Abb.196. Naturnahe Eschenpfosten vor Verarbeitung
156	Abb.197. 100 mm breite Streifen Massivesche aus der Tischlerei
157	Abb.199. Iterationen des Prototyps für die polygonalen Leuchten in den Funktionsräumen
157	Abb.200. 3D-Modell des Protoyp 1 mit PMMA-Einlagen oben und unten.
158	Abb.201. Herstellung, Montage und Zwischenergebnis des ersten Prototyps der Beleuchtungsmodule
159	Abb.202. Zwischenergebnis des ersten Protoyps der polygonalen Beleuchtungsmodule
160	Abb.203. Herstellung, Montage und Zwischenergebnis des zweiten Prototyps für Beleuchtungsmodule
161	Abb.207. 3D-Modell der abgehängten Beleuchtungsmodule mit Spotlights am Gang zwischen den Proberäumen
161	Abb.204. Verputzte und gekalkte Deckenkassetten am Gang
161	Abb.205. Spotlight im Quellpunkt der geometrischen Form
161	Abb.206. Zwischenergebnis Prototyp Beleuchtungsmodul Gang
162	Abb.208. Treppenabgang zum Foyer nach Sanierung
164	Abb.209. Sanierung und Ausbau Werkstatt und Lüftungszentrale mit Zwischenergebnis
165	Abb.210. Zwischenergebnis Werkstätten: Ausgegossener Boden mit erstem Anstrich
166	Abb.211. Foyer und Treppenabgang: Sanierung und Zwischenergebnis
167	Abb.212. Zwischenergebnis Treppenabgang zum Foyer
168	Abb.213. Gang: nach Sanierung
168	Abb.215. Gang: verputzt und gekalkt. Dampfbremse & Elektroleitungen
168	Abb.214. Gang: Errichtung Zwischenwand Proberaum 2
168	Abb.216. Gang: FBA 4: Verlegen des Hauptrasters
169	Abb.217. Gang: nach Einbau der Tür
169	Abb.219. Gang: fertiger Rohboden
169	Abb.218. Gang: nach Errichtung der Trockenbauwand Proberaum 3
169	Abb.220. Gang: Montage Prototypen Gangleuchten
170	Abb.221. Gang: Zwischenergebnis
171	Abb.222. Wassereinbruch 2019: Abgetragener Putz
171	Abb.223. Wasserschaden nach Sanierung 2019
171	Abb.225. Subverteiler für Haustechnik
171	Abb.224. Zwischenergebnis Abstellraum / Techniksubverteilterraum
172	Abb.226. Sanierungsdetail Foyer
172	Abb.228. Detail Trockenbauwand: Verschnitt mit dem Gewölbe
172	Abb.227. Detail Trockenbauwand: Verschnitt mit dem Gewölbe
173	Abb.229. Detail Gangbeleuchtung
173	Abb.230. Detail Decke: Tür Proberaum 2, Gangbeleuchtung (oben) sowie gedrückter Bogen und Akustik- bzw. Beleuchtungsmodule (unten)
174	Abb.231. Mauerwerk des gedrückten Bogens
174	Abb.233. Schnittflächen als ausgelegtes Muster aus Ziegelstücken
174	Abb.232. 3D-Modell des Schnitts durch die Stütze
174	Abb.234. Aufbringen des Schnittmusters auf die Schnittfläche
175	Abb.235. Verputzte Schnittfläche
175	Abb.237. Überputzte Schnittfläche
175	Abb.236. Verkleben der Blendsteine im dünnen Fliesenmörtelbett
175	Abb.238. Schnittfläche in gekalktem Mauerwerk
176	Abb.239. Panorama Proberaum 1
178	Abb.240. Ständerwerk Zwischenwand
178	Abb.242. Beplankung Zwischenwand
178	Abb.244. Verlegen der Dampfbremse nach Streichen
178	Abb.241. Beplankung Zwischenwand

178	Abb.243. Verputzen der Innenwände
178	Abb.245. Verlegen der Bodenunterkonstruktion
179	Abb.246. Panorama Proberaum 2
179	Abb.247. Prototypen Akustikpaneel - Hinterleuchtungsversuche für diffuse Gewölbebeleuchtung
181	Abb.248. Decke mit Mittenabsorbern und Leuchten, Rückwand mit Akustikpaneelen - Proberaum 2
182	Abb.250. Detail Polygonale Leuchte
182	Abb.249. Detail Polygonale Leuchte in der Deckenstruktur
183	Abb.251. Proberaum 2 - Decke und Rückwand.
184	Abb.254. Deckenstruktur mit Ansicht des gedrückten Mauerbogens
184	Abb.253. Lichtstudie Proberaum 2: Ergänzung von warmem Licht für die Hinterleuchtung der Gewölbe.
184	Abb.252. Deckenstruktur
185	Abb.255. Detail Polygonale Leuchte in der Deckenstruktur
189	Abb.256. Harman Audio: RT60 Kurve als Ziel für die Ausstattung von Tonstudios
190	Abb.259. RT60-Messung mit Early Decay Time, RT20 und RT30
190	Abb.257. Wasserfalldiagramm: Nachhallzeit der Regie B im Bereich 20 Hz - 200 Hz.
190	Abb.258. SPL - Diagramm: Room-Response auf lineares Signal
191	Abb.260. Wasserfalldiagramm Regie B: Nachhallzeiten im Bereich 20 Hz - 20 kHz.
191	Abb.261. RT60-Messung mit Early Decay Time, RT20 und RT30
191	Abb.262. SPL-Diagramm: Room Response auf lineares Signal
192	Abb.263. Wasserfalldiagramm Proberaum 2: Nachhallzeiten im Bereich 20 Hz - 20.000 Hz
193	Abb.264. RT60-Messung mit Early Decay Time, RT20 und RT30
193	Abb.265. SPL-Diagramm: Room Response auf lineares Signal