

RAUM HÖREN

Entwurf eines Lernzentrums für die
Universität Wien unter dem Aspekt der
auditiven Raumwahrnehmung

DIPLOMARBEIT

RAUM HÖREN

Entwurf eines Lernzentrums für die
Universität Wien unter dem Aspekt der
auditiven Raumwahrnehmung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des
akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs

unter Leitung von

Ivica Brnic
Dr.techn. Dipl. Arch. ETH SIA

Institut für Architektur und Entwerfen
Hochbau und Entwerfen E253-4

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Michael Heiderer, BSc
01429031

Wien, September 2020

TU
WIEN

KURZFASSUNG

Architektur wird im gegenwärtigen Kontext im überwiegenden Maße visuell gedacht, entworfen und kritisiert. Durch den primären Fokus der westlichen Gesellschaft auf visuelle Wahrnehmungsformen werden nach wie vor bei der Konzeption und Planung von Architektur alle übrigen Sinneseindrücke zumeist vollständig ausgeklammert - und das, obwohl der gebaute Raum keinesfalls rein visuell existiert. Zur menschlichen Raumerfahrung werden immer Eindrücke aller Sinne beigezogen.

Im Zuge der Arbeit wurden dazu charakteristische, gebaute Räume bewusst auf akustischem Wege wahrgenommen und mit verschiedenen darauf aufbauenden Methoden versucht, diese zu beschreiben. Mit den Erkenntnissen der vorangehenden Recherche und den Versuchsräumen wurden vier raumakustische Regeln formuliert, welche als Destillat der Bauakustik im Architekturprozess berücksichtigt werden sollten.

Anhand der konkreten Entwurfsaufgabe eines neuen Lernzentrums für die Universität Wien soll durch die überspitzte Priorisierung von raumakustischen Phänomenen in Verbindung mit akustischen Gebäudekonzepten untersucht werden, inwiefern der gegenwärtige Architekturprozess um das Feld der akustischen Raumwahrnehmung erweitert werden kann, um damit eine zusätzliche Ebene der Bedeutung des gebauten Raumes zu erschließen.

Stichwörter: Akustik, Architektur, Bibliothek, Gehör, Lesesaal, Lernzentrum, Raumwahrnehmung, Wahrnehmung

ABSTRACT

Architecture in the current context is still thought, designed and criticized predominantly visually. As the primary focus of western culture lays on the sense of sight, all other forms of perception are almost entirely left behind in processes of designing architecture – even though built spaces never exist solely visually. The human perception of spaces relies on impressions coming from all senses.

In the course of this work, characteristic spaces were visited and perceived consciously acoustically with an attempt to describe them just in this matter using various experimental methods. By combining the outcomes from the visited spaces as well as the foregoing research, four main rules for room acoustics were formulated, which should be taken into account as the core of building acoustics in the architectural process.

On the basis of a specific design task of a new learning center for the University of Vienna, the exaggerated prioritization of acoustics combined with concepts based on acoustics is to be examined to what extent the current architectural process can be expanded to include the matter of acoustic space perception to potentially add an additional layer of meaning to built architecture.

Keywords: Acoustic, Architecture, Ear, Library, Learning center, Reading room, Spatial perception, Perception

INHALT

Kurzfassung/Abstract.....	5
Einführung.....	11
Akustische Raumwahrnehmung	
Grundlagen.....	13
Wahrnehmung.....	15
Schallwahrnehmung.....	15
Auditive Raumwahrnehmung.....	16
Geschichtliche Entwicklung.....	21
Vergangenheit.....	21
Gegenwart.....	23
Akustische Referenzräume	
Lesesaal der Wienbibliothek.....	27
Grosser Lesesaal Universität Wien.....	31
Galerieraum Bibliothek WU Wien.....	35
Lesesaal MAK Wien.....	39
Grundlegende raumakustische Regeln	42
Projekt	
Prozess.....	47
Vom Weg zum Wissen.....	49
Stadtraum.....	55
Ort.....	61
Aufbau.....	67
Fokus.....	69
Statisches System.....	73
Raster.....	75
Lernkojen.....	81
Haustechnik.....	87
Dach.....	91
Abbildungsverzeichnis.....	95
Literaturverzeichnis.....	97
Danksagung.....	99

Der gebaute Raum spricht bei der Wahrnehmung in der Regel alle Sinne an. Wohingegen im Prozess der Architektorentwicklung der klare Fokus nicht nur auf visuellen Vermittlungsformen liegt sondern dadurch auch die entstehenden Werke auf maßgeblich visuellen Konzepten und Ideen basieren. Dieser Missstand lässt jedoch einen großen Handlungsraum nach oben hin offen auch andere, vor allem jedoch auditive Sinneseindrücke in die Konzeption von Architektur zu integrieren, um weitere Ebenen des gebauten Raumes erschließen zu können.

Durch quantitative Versuche¹ konnte bereits belegt werden, dass der Mensch Räume über ein rein visuell basiertes Medium, wie beispielsweise ein Foto, nicht im selben Maße wahrnimmt, als wäre er im dargestellten Raum physisch anwesend. Dies wird vorwiegend damit begründet, dass Raumerfahrung ein multisensorischer Prozess ist. Eindrücke aller uns zu Verfügung stehenden Sinne werden gleichzeitig vom Gehirn wahrgenommen und gemeinsam verarbeitet. Diese einzelnen Wahrnehmungen werden, sofern sie kohärent sind, zu einem robusten Perzept² zur Wahrnehmung der Umwelt verarbeitet und als starke Erinnerung gespeichert. Bei rein visuellen Bildern kann das Gehirn auf andere sensorische Kanäle nur rückschließen, weshalb lediglich eine schwächere Erinnerung daran im Gedächtnis verbleibt. Trotz all dessen ziehen wir bei der Beschreibung von sowohl ungebauter als auch gebauter Architektur das visuelle Bild dem multisensorischen Erlebens vor. Diese Präferenz des Visuellen im Prozess der Architektur wird von Sheridan und Van Lengen³ auf die generelle Bevorzugung des Sehannes der literarisierten, westlichen Gesellschaft in Bezug auf die Wahrnehmung der Umwelt zurückgeführt. In anderen Kulturkreisen kann in diesem Kontext jedoch ein

umgekehrtes Phänomen beobachtet werden: Durch primäre Kommunikation von nicht-literarisierten Bevölkerungsgruppen über orale Wege, wie Sprache und Musik, verblieb auch deren Fokus der Wahrnehmung stärker am Gehör. Durch die Entwicklung von Schriftsystemen, wie dem phonetischen Alphabet, verlagerte sich in unserer Kultur schon ab etwa 1500 v.Chr. das primäre Kommunikationsmedium langsam vom Hören auf das Lesen - und somit vom Ohr auf das Auge. Die visuelle Wahrnehmung wurde dadurch von literarisierten Kulturkreisen über die Jahrtausende hinweg zur wichtigsten aller Wahrnehmungsformen weiterentwickelt. Dies hat unausweichlich auch die Prozesse zur Architektorentwicklung und -vermittlung hin zu einer überwiegend visuellen Wahrnehmung beeinflusst.

Auch wenn Architektur auf rein visuell basierten Überlegungen entworfen und gebaut wurde, existieren nicht nur deren rein visuelle Aspekte, sondern sie spricht automatisch auch alle weiteren der Fernsinne an, allen voran: das Hören. Jedoch erst, wenn der fertige, gebaute Raum nicht unseren persönlichen akustischen Erwartungen entspricht, wird dieser Aspekt aktiv wahrgenommen. Im Architekturprozess wird der auditive Raum meist erst nachfolgend aufgebessert, anstatt von Beginn an mitgeplant. Folglich könnte das Denken, Entwerfen und Kritisieren von Architektur auch in auditiver Hinsicht einen ohnehin vorhandenen Layer der gebauten Welt erschließen, um zusätzliche Qualitäten in diese zu bringen. Genau diese Ebene wird im aktuellen Prozess der Architektorentwicklung tendenziell eher vernachlässigt. Im gegenwärtigen Architekturdiskurs fehlt es laut Sheridan und Van Lengen dazu sowohl an einem geeigneten Vokabular als auch an geeigneten Prozessen, um Gedanken und Wünsche nicht nur auszudrücken sondern auch überprüfen und vermitteln zu können.

¹ vgl. Larsson/Pontus/Vastfjäll/Daniel/Kleiner/Mendel, Better Presence and Performance in Virtual Environments by Improved Binaural Sound Rendering, 2002

² vgl. Ernst/Bülhoff, Merging the senses into a robust percept, 2004

³ vgl. Sheridan/Van Lengen, Journal of Architectural Education, 2003



Abb. 1: Tonverstärker, Bolling Field, USA (1921)
 Flugzeugmotoren erzeugten unverkennbare Geräusche. Um die Gefahr bereits aus der Ferne hörbar zu machen wurden im 1. Weltkrieg verschiedenste Apparate dafür entwickelt.

SCHALL

Schall ist in physikalischer Hinsicht eine Vielzahl an Druckwellen, die in gewissen zeitlichen Abständen, der Frequenz, in einem Trägermedium auftreten - im Normalfall in der Luft. Beim Auftreten eines Schallereignisses von einer Schallquelle breiten sich diese Druckwellen in alle Richtungen kugelförmig aus. Die Schallintensität wird dabei mit steigendem Abstand umgekehrt proportional zur Oberfläche der gedachten Kugel immer geringer⁴. Die Schallgeschwindigkeit (c) beträgt bei Raumtemperatur in etwa 340 m/s und ist damit um ein Vielfaches langsamer als die Lichtgeschwindigkeit mit ca. 300.000.000 m/s. Treffen diese Druckwellen auf Hindernisse, wie Wände, Mobiliar oder Menschen, wird die Energie in Abhängigkeit derer Oberflächeneigenschaften zu einem gewissen Grad absorbiert und die übrige Energie durch Reflexion wieder in Form von Schallwellen zurück geworfen. Beim Auftreffen auf harte, glatte Oberflächen wird der Großteil der Schallwellen mit dem aus der Optik bekannten Prinzip „Einfallswinkel ist gleich Ausfallwinkel“ reflektiert. Solche Oberflächen sind daher im visuellen Kontext mit Spiegeln gleichzusetzen. Weiche, offenporige Oberflächen absorbieren dagegen den Großteil der auftreffenden Energie und wandeln diese durch Reibung der schwingenden Partikel in Wärmeenergie um. Das Absorptions-/Reflektions-Verhältnis einer Oberfläche ändert sich im Normalfall je nach betrachtetem Frequenzbereich. Um Oberflächen akustisch beschreiben zu können, wird typischerweise der Absorptionsgrad (α) angegeben.

Dieser gibt für festgelegte Frequenzen den Faktor der Absorption im Verhältnis zur auftreffenden Schallenergie an. Durch die sogenannte Beugung können Schallereignisse hinter, im Vergleich zur Wellenlänge, kleinen Hindernissen nahezu unverändert wahrgenommen werden⁵. Dieses Phänomen ist aufgrund der größeren Wellenlänge bei tiefen Frequenzen leichter zu beobachten als bei hohen: Schallereignisse, die aus kleinen Öffnungen treten, klingen immer dumpfer als das Ursprungsereignis.

HÖREN

Schallwellen werden beim Menschen von zwei Ohrmuscheln, die etwa 15-18cm auseinander liegen, aufgenommen und über den Ohrkanal zum Trommelfell weitergeleitet. Von dort gelangen sie über das Mittelohr in das Innenohr, wo sie in, für das Gehirn verständliche, neurale Signale übersetzt werden. Der hörbare Bereich von Schallwellen liegt dabei ca. zwischen 16Hz und 20kHz, was Druckwellen im Abstand von 21m bis 1,7cm entspricht. Die Wahrnehmung des Hörens ist, wie jede Sinneswahrnehmung, ein in hohem Grade individueller Prozess, der auch stark von Erinnerungen und dem affektiven Zustand abhängig ist. Ein verallgemeinerndes Beschreiben dieser psychoakustischen Prozesse scheint somit nicht sinnvoll. Eine Einschätzung von Tendenzen der Wahrnehmung über das Gehör innerhalb eines bestimmten Kulturkreises kann jedoch helfen, diese Prozesse zu verstehen und nutzbar zu machen.

⁴ vgl. Mommertz/Müller-BBM, Detail Praxis: Akustik und Schallschutz, 2008
⁵ vgl. Guski, Wahrnehmen - ein Lehrbuch, 1996

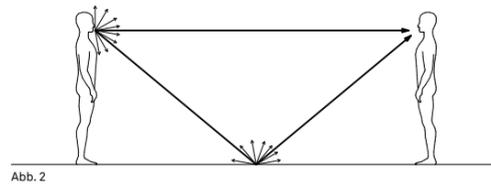


Abb. 2

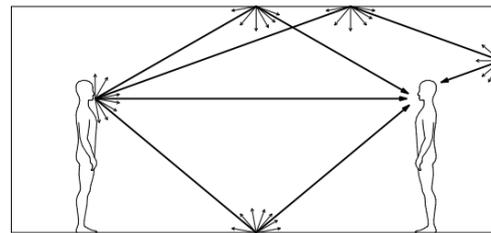


Abb. 3

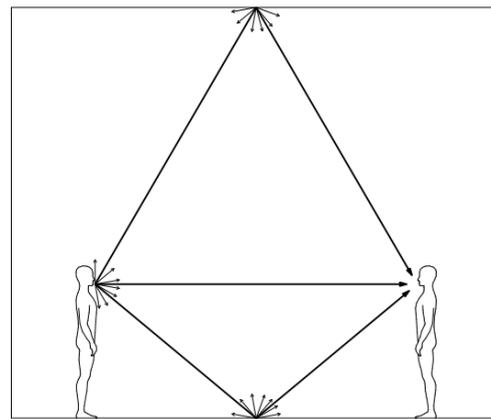


Abb. 4

SCHALLWAHRNEHMUNG

Bei der Ausbreitung eines Schallereignisses auf einem offenen Feld kann vom Empfänger ausschließlich der Direktschall wahrgenommen werden (Abb. 2). Dies ist der Schall, der sich auf direktem Wege vom Schallereignis zum Schallempfänger ausbreitet. Für die Lokalisierung der Schallquelle sind dies die besten Bedingungen. Durch den beschriebenen Abstand der beiden Ohren ist es uns möglich, sowohl durch den zeitlichen Unterschied der ankommenden Schallwellen als auch durch den Unterschied der Schallintensität, der vom Schatten des Kopfes bei seitlich ankommenden Schallwellen mit hohen Frequenzen für die gegenüberliegende Ohrmuschel erzeugt wird, die Herkunftsrichtung von Schallereignissen auf bis zu 10° genau zu bestimmen⁶. Da die Gefahren des Menschen als Landlebewesen überwiegend aus der Ebene des Bodens drohen, ist die Fähigkeit der Lokalisation in der horizontalen Ebene weitaus stärker ausgeprägt als in der vertikalen.

In geschlossenen Räumen wird zusätzlich zum Direktschall auch der von den umgebenen Oberflächen reflektierte Schall wahrgenommen. Von Oberflächen reflektierte Schallwellen haben dabei prinzipiell einen längeren Schallweg als der Direktschall, gelangen also je nach Entfernung der umgebenen Oberflächen später zum Empfänger. Bei einem zeitlichen Unterschied von weniger als 50ms werden diese Schallwellen jedoch, egal aus welcher Richtung kommend, als ein einziges Schallereignis wahrgenommen und identifiziert. Ein scharfes räumliches Trennen von zeitlich nah beim Empfänger ankommenden Schallereignissen ist daher nicht möglich. Diese Unschärfe stellt somit womöglich den signifikantesten Unterschied zur visuellen Wahrnehmung von Lichtereignissen durch den Sehapparat dar (Abb. 3). Wenn eine Position in einem kleinen bis mittelgroßen Raum

in der direkten Nähe einer Wand eingenommen wird, kann dies besonders deutlich wahrgenommen werden, da hier der Reflexionsschall von der Oberfläche nur wenige Millisekunden nach dem Direktschall im gegenüberliegenden Ohr eintrifft, was eine eindeutige Lokalisierung der Schallquelle erheblich erschwert.

Mit erhöhtem Abstand des Hörers zu Oberflächen im Raum benötigen die reflektierten Schallwellen länger, um zum Empfänger zu gelangen. Bei einem zeitlichen Unterschied von mehr als 50ms zwischen dem Ankommen der reflektierten Schallwellen und dem Direktschall (entspricht einem Schallweg von ca. 18,5m) wird der Reflexionsschall dieser Oberfläche als eigenes Schallereignis wahrgenommen⁷, was als Nachhall oder Echo bezeichnet wird (Abb. 4). Dieses Phänomen zeigt sich am klarsten in sehr großen, hallenartigen Räumen wie Kathedralen. Durch die enormen Schallwege zwischen dem Hörer und den Oberflächen wie Decken bzw. Wänden können Geräusche auch noch mehrere Sekunden später beim Gehör eintreffen und so Schallquellen an quasi unmöglichen Orten wie an den Gewölben wahrgenommen werden.

Durch die wesentlich geringere Schallgeschwindigkeit im Gegensatz zur Lichtgeschwindigkeit ist es dem menschlichen Gehör möglich, Bewegungsrichtungen von Schallwellen auszumachen, das Schallereignis zu lokalisieren und durch das zeitlich versetzte Eintreffen von Direktschall und Reflexionsschall Distanzen zu Hindernissen wie ein Echolot abzuschätzen. Diese Fähigkeit kann von sehbehinderten Menschen sogar soweit ausgebaut und verbessert werden, dass ihnen allein durch diese Informationen ein sicheres Navigieren durch die Umwelt möglich ist.

⁶ vgl. Lindner, Biologie, 1967, S.189
⁷ vgl. Noble/Gates, 1965

Hearing, not vision or touch, is the sense through which the inner spaces of architecture are accessed.⁸

AUDITIVE RAUMWAHRNEHMUNG

Der akustische Informationsteil, der vom Menschen in einem erlebten Raum perzipiert werden kann, enthält wichtige Komponenten für die Raumerfahrung, die auf visuellen Informationskanälen nicht oder nur schwer transportiert werden können. Das Wahrnehmen der Raumakustik erlaubt einen Rückschluss auf sowohl das Volumen von Räumen und deren Oberflächenbeschaffenheiten als auch auf die Nähe von Objekten und Oberflächen, was einen wichtigen Beitrag zur Orientierung im Raum darstellt. Wesentlich ist hierbei das Zusammenspiel von beiden Ohren, dem sogenannten binauralen Hören, um sowohl durch Pegelvariationen als auch durch zeitliche Unterschiede raumakustische Signale effektiv wahrnehmen und analysieren zu können.

Damit ein Raum für das menschliche Auge visuell sichtbar ist, muss er von Photonen, die von einer Lichtquelle ausgehend auf Oberflächen aufprallen, erhellt werden. Um einen Raum akustisch wahrnehmen zu können bedarf es äquivalent dazu auch einer Schallquelle. Im normalen Umfeld treten Schallereignisse wesentlich kürzer auf und ändern sich häufiger als Lichtereignisse. Schallereignisse in Impulsform können vom Menschen auch besser entschlüsselt werden als etwa ein gleichbleibendes Grundrauschen. Deshalb

kann die auditive Raumwahrnehmung als wesentlich dynamischer beschrieben werden als ein im Vergleich relativ statischer, visueller Raumeindruck. Bei der Konzeption von Vortragsräumen sowie bei Theater- oder Konzertsälen kann in der Regel zumindest eine lokal konstante Schallquelle angenommen werden. Bei allen anderen Raumnutzungen muss von einer theoretischen Schallquelle in jedem Punkt eines Raumes ausgegangen werden, was die Reaktion auf schalltechnische Anforderungen wesentlich erschwert.

Bei der visuellen Betrachtung eines Raumes sind die Begrenzungsflächen ausschlaggebend. Der Mensch löst die gewonnenen visuellen Sinneseindrücke in die Dimensionen Länge, Tiefe und Höhe auf. Dagegen nehmen wir beim Hörprozess in erster Linie das Volumen wahr, die Begrenzungsflächen des Volumens sind sekundär. Der Mensch kann also das Raumvolumen nicht sehen, jedoch durch Analyse der Raumakustik das Volumen in seiner Größe einschätzen und somit hören⁹. Die eigentlich sekundären Raumbegrenzungen können dabei die wahrgenommene Akustik des Raumes maßgeblich durch ihre Materialeigenschaften beeinflussen, da von diesen abhängt, wieviel Schall in den Raum zurückreflektiert wird.

⁸ vgl. Kata Gellen, *Hearing Spaces*, 2011

⁹ vgl. Blesser/Saiter, *Spaces Speak, Are You Listening?*, 2006, S.21



Abb. 5: gotische Kathedrale in Rouen, Frankreich

WAHRNEHMUNG

Durch ein überproportional ausgedehntes Raumvolumen steigt die Weglänge von der Schallquelle zu den Begrenzungsflächen. Sind diese gleichzeitig aus harten, akustisch stark reflektierenden Materialien, wie zum Beispiel aus Stein, wird zusätzlich ein Großteil dieser auftretenden Schallenergie in den Raum zurückgeworfen. Diese beiden Eigenschaften ergeben vereint die für gotische Kathedralen so spezifische Raumakustik, die sich zum Beispiel in der Kathedrale im französischen Rouen besonders ausgeprägt erfahren lässt. (Abb. 5)

Ein Versuch, die komplexen Zusammenhänge der Raumakustik technisch vereinfacht zu beschreiben, ist die normierte Kenngröße der Nachhallzeit. Dieser Wert beschreibt die Zeit, in der ein abrupt endendes Schallereignis in einem Raum auf einen bestimmten Bruchteil seiner anfänglichen Energie fällt. In der technischen Bauakustik werden dazu erstrebenswerte Werte für verschiedene Nutzungsarten von Räumen angegeben. Der Wert kann nach der Formel von Wallace C. Sabine seit 1898 auch theoretisch berechnet werden. Die ursprüngliche Berechnung wird nach wie vor zur Ermittlung herangezogen, welche akustischen Maßnahmen

in Bezug auf Oberflächen und deren Absorptionsgrade zu setzen sind.

Als Abgrenzung zur technischen Akustik kann jedoch gesagt werden, dass zur Forschung der akustischen Raumwahrnehmung keine Messung eines Einheitswertes herangezogen werden kann. Da das auditive Wahrnehmen ein höchst individueller Prozess der Informationsverarbeitung ist, der hochgradig vom emotionalen und affektiven Zustand des Individuums abhängig ist¹⁰, können in diesem Zusammenhang höchstens Tendenzen offengelegt werden, die als allgemein gültig anzusehen wären. Die größten Hindernisse für eine breitgefächerten Forschung in diesem Feld stellt einerseits eine zurzeit nicht gegebene Sensibilisierung der breiten Bevölkerung auf akustische Wahrnehmung dar und andererseits auch das Fehlen eines geeigneten Vokabulars, um solche Wahrnehmungen auch befriedigend artikulieren und vermitteln zu können. Die in dieser Hinsicht gegenwärtig verwendeten Ausdrücke und Beschreibungen sind meist zu sehr auf Probleme im Schall- bzw. Lärmschutz bezogen und dadurch grundsätzlich negativ belegt, weshalb ein Aufbau eines neuen, adäquaten Wortschatzes wesentlich wäre.

¹⁰vgl. Blesser/Salter, Spaces Speak, Are You Listening?, 2006, S.3

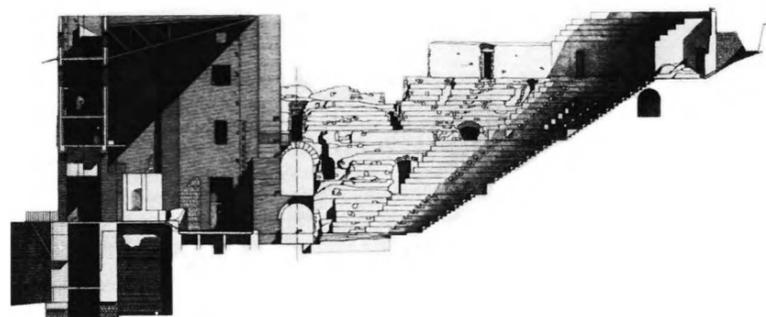


Abb. 6: Schnitt durch das römische Theater von Sagunto, Valencia

Lange Zeit war die Akustik neu errichteter Räume reiner Zufall. Dazu gehörten Aberglaube genauso wie mystische Theorien, jedoch vor allem Glück. Auch der in der Architekturgeschichte wichtige römische Architekt und Theoretiker Vitruvius widmete in seinen bekannten Zehn Büchern zur Architektur¹¹ einen nicht unerheblichen Teil der Akustik und stellte eine Vielzahl an Gedanken und Theorien auf, wobei sich manche davon später als wahr, einige jedoch auch als stark fehlerhaft herausstellten¹².

In der zeitgeschichtlichen Retrospektive waren es hauptsächlich Räume für sakrale Riten als auch für ephemere Kunst, die explizite akustische Gegebenheiten verlangten und dadurch auch das Interesse an der Entwicklung von bestimmten akustischen Verhältnissen in gebauter Architektur förderten. Vor allem die verschiedenen Formen der Musik und des Theaters gelangten dadurch interessanterweise auch immer in eine wechselseitige Abhängigkeit mit den Räumen, in denen sie aufgeführt wurden, was heute am Beispiel von Konzerthäusern für Aufführungen von klassischen Musikorchestern am intensivsten zu beobachten ist.

VERGANGENHEIT

Die ersten Räume mit außergewöhnlicher Raumakustik waren große, natürliche Höhlen. Mit ihren riesigen Volumina weisen Höhlen, wie zum Beispiel das vom Wasser in Kalkstein gefräste Höhlensystem von Postojna im Südwesten von Ljubljana, durch die harten Felsoberflächen Nachhallzeiten wie gotische Kathedralen auf. Die Vorfahren des modernen Menschen konnten in diesen Räumen auf damals unerklärliche Weise ihre eigene Stimme aus der Vergangenheit hören. Diese einschüchternde und überirdisch anmutende Akustik wurde weshalb auch oft als Schauplatz für religiöse Zeremonien verwendet.

In den von Menschen erbauten Amphitheatern der griechischen Antike, deren erklärtes Ziel es war, so vielen Menschen wie möglich das Schauspiel auf der Bühne erlebbar zu machen, wurden Hanglagen genutzt, um auf natürliche Weise trichterförmige Zuschauerräume zu gestalten. Dies sorgte sowohl für eine gute visuelle Sicht als auch für eine hervorragende Akustik. Mit einer immer größer werdenden Zuschauermenge vergrößerten sich nicht nur die Bauten per se sondern auch der Abstand der Zuschauer zur Bühne. Dieser Umstand veränderte dabei auch die Darbietungen selbst, sodass die Akteure sich expressiver Bewegungen bedienen mussten und teilweise überdimensional große Masken trugen, damit die Handlung des Schauspiels auch noch in der letzten Reihe verfolgt werden konnte.

Durch den Bau von gotischen Kathedralen mit bis dahin unbekannt großen Volumina, wurden ab dem 15. Jahrhundert mystische Räume für religiöse Riten erschaffen, die akustisch mit den überdimensionalen Höhlen der Frühzeit gleichzusetzen sind. Nachhallzeiten von über 10 Sekunden veränderten auch den Gesang, der in diesen Räumen praktiziert und vorgetragen wurde. Der gregorianische Choral, der mit Überlagerung des Gesanges mit vergangenen Tönen arbeitet, kann nur in diesen Räumen mit ihrer außergewöhnlichen Akustik vorgetragen werden.

Als der Einfluss der Kirche in der Zeit der Aufklärung im 17. und frühen 18. Jahrhundert langsam schwand, verlor sie auch die ausschließliche Position in der Musikproduktion. Musik wurde nun auch in den Wohnräumen von Adligen aufgeführt, die aufgrund ihrer Größe und Ausstattung eine wesentlich kürzere Nachhallzeit aufwiesen. Mit der kürzeren Nachhallzeit konnte jedoch auch die Komplexität der verwendeten Instrumente und Melodien gesteigert

¹¹ Vitruv, Zehn Bücher über Architektur, 9. Jahrhundert.

¹² vgl. Cressman, Acoustic architecture before science, 2015, S.13



Abb. 7: Goldener Saal des Musikverein in Wien

werden, woraus sich die Musik der klassischen Epoche und ihre Kammerkonzerte, wie wir sie auch noch heute kennen, entwickelten. Auch in diesem Beispiel beeinflussten raumakustische Eigenschaften die Musikstile von Beginn an, was sich in der seit 150 Jahren unverändert festgelegten Nachhallzeit von 1,9 Sekunden für Musiksäle der klassischen Orchestermusik manifestiert¹³.

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden Konzertsäle für klassische Musik rein durch Erkenntnisse aus dem Trial-and-Error Verfahren weiterentwickelt, wobei jedoch die vermeintlich am besten klingenden Konzertsäle der Welt, wie der Goldene Saal des Wiener Musikvereins oder das Neue Gewandhaus in Leipzig, durch diesen Prozess entstanden sind¹⁴. Erst der amerikanische Physiker Wallace Clement Sabine (1868-1919) entwickelte durch seine Forschungsarbeiten kurz vor der Jahrhundertwende mit dem Entdecken der Absorptions- und Reflexionseigenschaften von Oberflächen und deren Einfluss auf die Raumakustik die wissenschaftliche Basis zur Berechnung von Kennwerten der Raumakustik. Der niederländische Philosoph und Akustikforscher Darryl Cressman merkt dazu pointiert an, dass die Akustik von Räumen seit Sabines Entdeckung nicht besser geworden ist, akustische Eigenschaften von bestehenden Räumen jedoch seither weitaus effektiver imitiert werden können¹⁵. Auch wenn die klassische Musik und die zugehörigen Konzertsäle sich seither kaum verändert haben, gab es mit dem Aufkommen neuer Musikrichtungen auch ein Verlangen nach geänderten, für diese Richtungen angepassten Räumen.

Mit der Entwicklung von zuerst analogen und später digitalen Tonaufnahme- und Abspielgeräten trennte sich die über Jahrtausende anhaltende strenge Verbindung von

Musik und Raum erstmals nachhaltig. Der Raum verlor akustisch gesehen an Relevanz, da es durch nachträgliche Tonbearbeitung möglich wurde, für jedes einzelne Musikstück virtuelle akustische Räume zu erschaffen¹⁶. Durch das synchrone Verstärken der Stimme des Vortragenden mittels Lautsprechern wurde auch die Notwendigkeit der aus der griechischen Antiken bekannten passiven akustischen Verstärkung in Vortragsräumen nahezu obsolet.

GEGENWART

Im gegenwärtigen Prozess der Architekturschaffung trägt die aurale Wirkung von Räumen, bis auf wenige Ausnahmen wie Konzertsäle für klassische Musik und Vortragsräume, keine maßgebliche Bedeutung. Die normativen Regelungen empfehlen lediglich Näherungswerte der Nachhallzeit für bestimmte Raumnutzungskategorien. Das Thema der Akustik erfährt somit kaum Beachtung, es sei denn, es kommt zu akustischen Problemen bei der Benutzung der fertiggestellten Räume, etwa in Form von schlechtem Sprachverständnis oder Dröhnen. In diesem Fall werden aus der Sphäre der technischen Akustik Maßnahmen empfohlen, die nachträglich die Akustik verbessern sollen. Meist handelt es sich dabei um aktive oder passive Akustikpanels, die im Raum oder an Raumboflächen angebracht werden, um den Absorptionsgrad der jeweilig gewünschten Frequenzbereiche zu erhöhen. In diesem Missstand steckt somit nicht nur das Potential, diese derzeit nachträglich gelösten Probleme schon während frühen Planungsphasen zu erkennen und von vornherein zu vermeiden, sondern auch die gewünschten raumakustischen Eigenschaften schon in der Konzeptionsphase festzulegen und dem Endprodukt somit auf weiteren Ebenen, als nur visuellen, eine Bedeutung zuzuführen.

¹³ vgl. Cressman, Acoustic architecture before science, 2015, S.20
¹⁴ vgl. Sheridan/Van Lengen, Journal of Architectural Education, 2003, S.40
¹⁵ vgl. Cressman, Acoustic architecture before science, 2015, S.14
¹⁶ vgl. Blesser/Salter, Spaces Speak, Are You Listening?, 2006, S.163

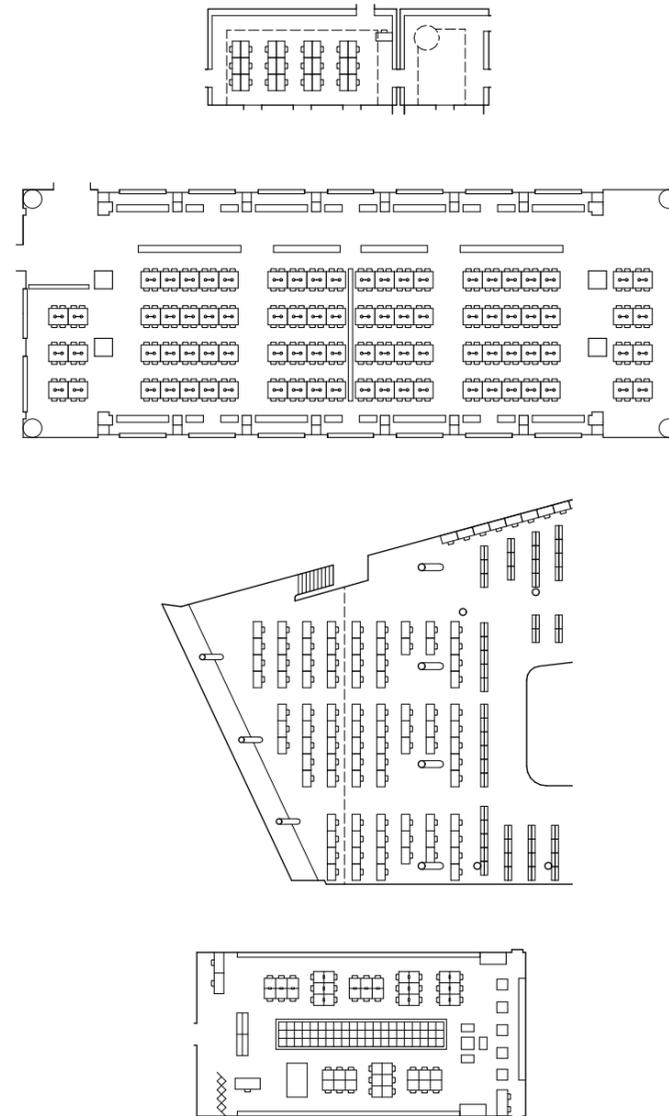


Abb. 8: Grundrisse der Referenzräume, M 1:500

Zur Untersuchung der auditiven Komponente des bereits gebauten Raumes besuchte ich im Zuge meiner Arbeit eine Vielzahl an ausgewählten Räumen, um sie mit besonderem Augenmerk auf die Akustik wahrzunehmen und kennenzulernen. Das Betreten eines teilweise unbekanntes Raumes mit dem vordefinierten Wahrnehmungsfokus auf akustische Besonderheiten stellt einen affektiven Zustand dar, der für mich neu und hochspannend war. Ich erkannte darin eine gänzlich neue Herangehensweise, Orte wahrzunehmen und auf mich wirken zu lassen.

Überraschenderweise war es schon nach einer kurzen Zeit der Sensibilisierung nach dem Eintritt möglich, eine Vielfalt an akustischen Gegebenheiten in jeden der Räumlichkeiten auszumachen. Die jeweiligen akustischen Besonderheiten offenbarten sich dabei jedoch erst beim direkten Vergleich des in den einzelnen Räumlichkeiten Wahrgenommenen. Die Akustik eines Raumes mit passenden Adjektiven zu definieren und zu beschreiben war in diesem Hinblick jedoch eine große Herausforderung, weshalb ich dabei jeweils mit einer Vielzahl an Methoden experimentiert habe, die sich dazu als mehr oder weniger hilfreich herausgestellt haben. Im Folgenden werden die vier charakteristischsten, besuchten Bibliotheksräume aufgelistet und deren akustischen Eigenheiten mit den angewendeten Methoden nachvollziehbar gemacht, ohne selbst im Raum physisch anwesend sein zu müssen.

Für die bessere Vergleichbarkeit untereinander werden unter anderem die akustischen Grundinformationen angeführt, welche Daten wie Abmessungen, Raumflächen und -volumina in Relation zur Sitzplatzanzahl enthalten.

Pegelmessungen:

Die Messung des Lautstärkepegels wurde mithilfe der Smartphone-App „dBmeter Pro“ durchgeführt. Es wurden jeweils mehrere Dauermessungen durchgeführt und der Durchschnittswert sowie der kurzzeitige Maximalpegel angegeben.

Geräuschbeschreibung:

Die über einen gewissen Zeitraum von mir wahrgenommenen Geräusche wurden textlich protokolliert und in der wahrgenommenen Reihenfolge aufgelistet, charakteristische Dauergeräusche der Referenzräume werden jeweils am Ende dieses Abschnittes beschrieben.

Materialien:

Materialitäten für Boden, Wände und Decken sowie die Möblierung und hierfür verwendete Materialien und Oberflächen wurden taxativ im Hinblick auf deren offensichtliche, akustische Eigenschaften aufgelistet, um eventuelle Besonderheiten der im Raum verwendeten Oberflächen zu skizzieren.

Akustische Phänomene:

Hier wurden Phänomene beschrieben, die von mir als besonders charakteristisch für den jeweiligen Referenzraum wahrgenommen wurden.

Akustische Beschreibung:

Mit dem derzeit begrenzt verfügbaren auditiven Vokabular wurde der behandelte Raum akustisch beschrieben.

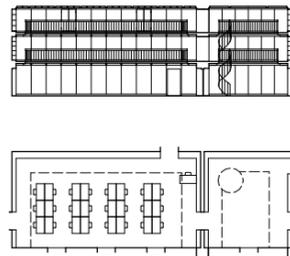


Abb. 9: Grundriss und Schnitt des Lesesaals der
Wienbibliothek im Rathaus Wien, M 1:500

LESESAAL DER WIENBIBLIOTHEK

Der Große Lesesaal der Wienbibliothek wurde in den Jahren 1872 bis 1883 im Zuge des Neubaus des Rathauses an der Ringstraße durch den Architekten Friedrich von Schmidt im historistischen neogotischen Stil errichtet. Der Raum befindet sich im Repräsentationsgeschoss, dem ersten Obergeschoss im nördlichen Trakt und ist unter anderem durch einen, noch in Funktion befindlichen, Paternoster-aufzug zu erreichen. Die Bibliothek selbst besteht aus einer Enfilade an Räumen verschiedener Größen, die Großteils als offene Speicherräume für die vielfältige Sammlung dienen. Der letzte, halböffentlich begehbbare Raum ist dabei der große Lesesaal. Mit etwa 500m³ Raumvolumen und nur 25 Arbeitsplätzen gehört er zu den kleineren der untersuchten Räume, weshalb er als Geheimtipp unter den Lesesälen in Wien zählt.

GRUNDDATEN

- BAUJAHR	1872 bis 1883
- ARCHITEKT	Friedrich von Schmidt
- ORT	Felderstraße 1, 1010 Wien
- RAUMART	Box, Enfilade
- FLÄCHE	ca. 75 m ²
- VOLUMEN	ca. 500 m ³
- KAPAZITÄT	25 Arbeitsplätze
- VOL/PERS.	20,0m ³ /Pers.
- GERÄUSCHPEGEL	Grundpegel: 35dB(A) kurzz. Max.: 60dB(A) (Nachm., 60% Belegung)



Abb. 10: Goßer Lesesaal der Wienbibliothek im Rathaus Wien

LESESAAL DER WIENBIBLIOTHEK

MATERIALIEN

Boden: Teppichboden (Doppelboden), Parkettboden im Vorraum

Wände: dreiseitig Bücherregale aus Holz, dreistöckig durch Galerien erreichbar, Regale zu etwa 95% gefüllt mit Büchern, Außenwand mit 4 sehr großen Kastenfenstern zum Straßenraum, Restfläche glatt verputzt

Decke: Vertäfelung aus Holz (6x28 Felder) mit profilierten Trägern

Möblierung: 25 Schreibtische (4 Inseln mit 2x3 Tischen + 1 Tisch Aufsicht): glatte beschichtete Tischplatte, Holzrahmen auf Metallgestell; 25 Bürostühle: Drehstuhl, gepolsterte Stoffsitzkissen, gespanntes Netzgewebe auf Metallrahmen als Rückenlehne, Gestell aus Metall

AKUSTISCHE BESCHREIBUNG

stark gedämpfte Grundakustik

nicht hallig

warm (Wohnzimmeratmosphäre)

perzeptive Raumgröße kleiner als tatsächliche Raumgröße

sehr ruhig aber mit angenehmen Grundpegel

keine vollständige Stille

GERÄUSCHE

Umblättern; Tippen und Klicken auf Laptop; Stifte fallen zu Tisch; gedämpfte Musik dringt durch Kopfhörer nach außen; Kramen im Federpenal; Husten; Schnaufen; Abrollgeräusche der fahrbaren Bürostühle; leises Flüstern; Klirren eine Schlüsselbundes; vorbeifahrende Fahrzeuge auf der nassen Fahrbahn und Sirenen von Einsatzwagen dringen gedämpft durch die Fenster; Schritte deutlich hörbar, werden durch den Teppichbelag zwar gedämpft, jedoch durch den Hohlraum des Doppelbodens auch verstärkt; starkes Knarzen des Holzbodens aus dem Vorraum.

AKUSTISCHE PHÄNOMENE

Durch zwei Öffnungen im 1. und 2. Galeriegeschoss zum davor liegenden, kleineren Vorraum besteht eine akustische Verbindung, jedoch wird der visuelle Durchblick in der Bewegungsebene durch eine meist geschlossene Tür unterbunden. Das Ankommen von Personen wird durch die akustische Verbindung zum davor liegenden Raum vor allem durch das Knarzen des Holzbodens bereits akustisch angekündigt. Beim Öffnen der Türe bleibt somit der bei der Konzentration meist störende Überraschungsmoment gänzlich aus.

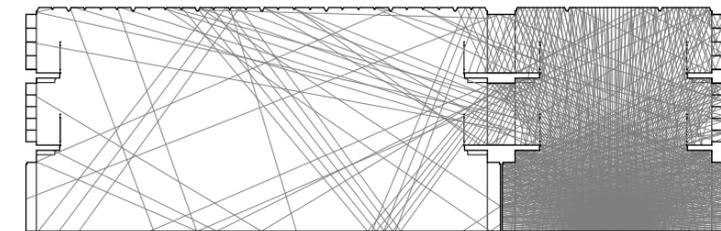


Abb. 11: experimentelle Darstellung der Ausbreitung von Schallereignissen mittels Strahlendiagramm

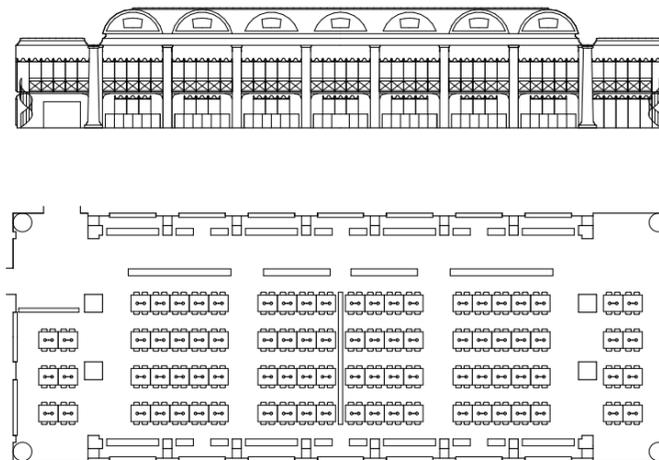


Abb. 12: Grundriss und Schnitt des Großen Lesesaals der Universität Wien, M 1:500

Im von Heinrich Ferstel geplanten und im Zeitraum von 1873 bis 1884 gebauten Hauptgebäude der Universität Wien an der Ringstraße befindet sich im Trakt an der Reichratstraße im 3. Obergeschoss der Große Lesesaal. Ursprünglich war dieser über das 2. Obergeschoss erreichbar und somit ein ganzes Geschoss höher, wodurch das ursprüngliche Raumvolumen um ca. 2300m³ größer war als das heutige¹⁷. Der Saal wurde vermutlich aufgrund der schlechten akustischen Eigenschaften nach einer Zerstörung durch Fliegerbomben während des 2. Weltkriegs um eine Geschosshöhe niedriger, mit nunmehr etwa 7100m³ Raumvolumen, wiederaufgebaut. Im gewonnenen Geschoss liegen heute Nebenräume wie Garderoben, WCs und Spinde. Der heutige Lesesaal weist eine Größe von ca. 823m² auf und zählt mit 336 Sitzplätzen zu den größten Lesesälen Österreichs. Durch die Größe in Kombination mit seiner reichhaltigen gotischen Ausgestaltung gehört der Lesesaal auch zu den bekanntesten im Land. Mit ca. 50 dB(A) war der Große Lesesaal von allen besuchten Bibliotheken auch der Raum mit dem höchsten Grundpegel.

GRUNDDATEN

- BAUJAHR	1873 bis 1884
- ARCHITEKT	Heinrich Ferstel
- ORT	Universitätsring 1, 1010 Wien
- RAUMART	Box
- FLÄCHE	ca. 823 m ²
- VOLUMEN	ca. 7.100 m ³ (ursprüngl. 9.400m ³)
- KAPAZITÄT	336 Arbeitsplätze
- VOL/PERS.	21,3m ³ /Pers.
- GERÄUSCHPEGEL	Grundpegel: 50dB(A) (Nachm., 60% Belegung) 42dB(A) (Vorm., 20% Belegung) kurzz. Max.: 60dB(A)

¹⁷ vgl. Interview *Wie der Große Lesesaal klingt* mit Prof. Christoph Reuter von Andrea Brandstätter. uni:view, online 16. Juli 2015



Abb. 13: Großer Lesesaal der Wienbibliothek im Rathaus Wien

GROSSER LESESAAL DER UNIVERSITÄT WIEN

MATERIALIEN

Boden: Terrazzoboden (stark reflektierend, hart, Schritte mit harten Schuhsohlen stark hörbar)

Wände: Verputzt, pilasterartige Säulen bilden rhythmisierend Nischen, in denen Bücherregale aus Holz auf 2 Ebenen eingebaut sind (95% gefüllt mit Büchern); Galeriegang aus Holz mit Eisengeländer

Decke: Glasdecke mit 14x46 Feldern (quadratisch); niedrigere Bereiche am vorderen und hinteren Ende verputzt mit kleineren Glasdecken; an Schnittlinien mit Wänden gewölbte Übergang mit Rundbögen über den Wandnischen

Möblierung: lange Holztische in 4 Reihen mit insgesamt 336 Holzstühlen, unter den Tischen Trennplatte der gegenüberliegenden Sitzplätze; Pulte mit Vitrinen vor Wandnischen, teilweise Lüftung darin verbaut; je eine Tischlampe je 4 Sitzplätze, sowohl Gestell als auch Lampenschirm aus Metall

GERÄUSCHE

Sesselrücken (trotz Filzgleiter); Räuspern; Husten; Kramen in Tasche; Umblättern; Stifte fallen zu Tisch; Schneuzen; Schrittgeräusche beim Gehen mit harten Sohlen; Lüftung relativ laut hörbar - mechanisches Rauschen; keine Straßengeräusche, kaum Lärm von außerhalb des Saales obwohl Türen zu Vorraum offen stehen;

AKUSTISCHE PHÄNOMENE

Durch den verhältnismäßig hohen Grundgeräuschpegel im Saal wird von den Benutzern keine vollkommene Ruhe verlangt, bei eigenen Geräuschen hat man nicht das Gefühl andere bei der Konzentration zu beeinträchtigen, leise Gespräche unter Sitznachbarn sind somit möglich ohne dass diese andere Mitbenutzer stören zu scheinen; lautere Gespräche, etwa von Nutzern die gerade den Saal betreten werden dagegen offensichtlich kollektiv als relativ störend wahrgenommen

AKUSTISCHE BESCHREIBUNG

sehr hallig (akustische Ähnlichkeit mit Kathedralen)
keine Intimität der Akustik aber es herrscht andächtige Ruhe im Saal
akustisch perzeptive Größe größer als reale Größe
eher kühl
relativ laut
Grundlautstärkepegel relativ hoch aber Geräusche werden vervielfacht und sind daher schwer voneinander unterscheidbar

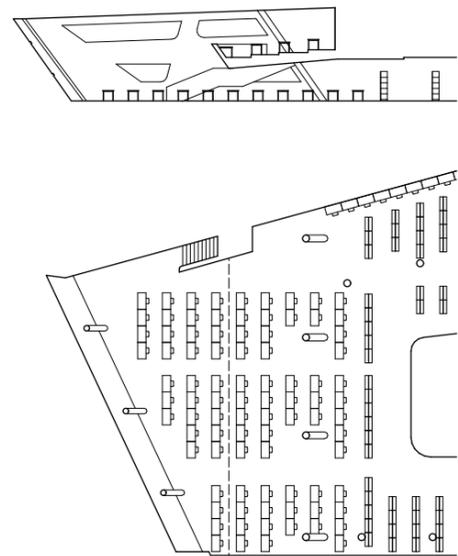


Abb. 14: Grundriss und Schnitt des Galerieraumes der Bibliothek der WU Wien, M 1:500

GALERIERAUM BIBLIOTHEK WU WIEN

Die neue Bibliothek der Wirtschaftsuniversität Wien befindet sich in den oberen Geschossen des von 2009 bis 2013 von Zaha Hadid Architects erbauten Learning Centers am neuen WU-Campus im 2. Bezirk. Nach dem Durchschreiten eines monumentalen Foyers über eine lange Rampe erreicht man die Spinde sowie die Eingangsschleusen. Über die Aufzugs- und Treppenanlage gelangt man in ein weit in das Gebäude verzweigtes Netz an Arbeits- und Sitzplätzen, welches, unterbrochen durch Bücherregale, ihren Höhepunkt im Galerieraum mit dem Blick über den grünen Prater findet. Dieser Ausblick war offensichtlich ein Grundgedanke bei der Konzeption des Gebäudes, da er sowohl für die innere Organisation als auch beim äußeren Erscheinungsbild durch seine massive Auskragung eine maßgebende Rolle spielt. Alle 98 Arbeitsplätze in diesem Raum sind in Richtung des Ausblicks orientiert. Über eine Treppe gelangt man in ein Galeriegeschoss, in dem sich zusätzliche 48 Arbeitsplätze, ebenfalls in Richtung Prater ausgerichtet, befinden. Das Gebäude war das Neueste und dadurch auch die modernste Interpretation aller besuchten Bibliotheken.

GRUNDDATEN

- BAUJAHR	2009 bis 2013
- ARCHITEKT	Zaha Hadid Architects
- ORT	Welthandelsplatz 1, 1020 Wien
- RAUMART	Galerieraum
- FLÄCHE	ca. 480 m ² / ca. 190m ² Galerie
- VOLUMEN	ca. 3.500 m ³
- KAPAZITÄT	146 Arbeitsplätze (48 davon in Galerie)
- VOL/PERS.	24,0m ³ /Pers.
- GERÄUSCHPEGEL	Grundpegel: 40dB(A) (Nachm., 80% Belegung) kurzz. Max.: 55dB(A)



Abb. 15: Großer Lesesaal der Wienbibliothek im Rathaus Wien

GALERIERAUM BIBLIOTHEK WU WIEN

MATERIALIEN

Boden: langhaariger Teppichboden, Hohlboden

Wände: glatt verputzter Beton/Gipskarton, Glas schräg/gerade durch Aluminiumprofile gehalten (Pfosten-Riegel-Fassade), Blendschutz aus Textil, die Rückseite des Galeriegeschosses ist mit einer Nurglaswand geschlossen

Decke: abgehängte, gelochte Gipskartondecke, Decke des Galeriegeschosses glatt, jedoch mit abgehängts Akustikerelementen aus gelochten Gipskartonplatten, mehrere Oberlichter als tiefe Löcher (ca. 1m), in die Decke eingelassen, lineare Beleuchtungskörper aus Aluminium als Pendelleuchten

Möblierung: Tische mit Metallgestell und glatter Werkstoff-tischplatte, Stühle mit Metallgestell und glatter Holz-sitzschale, Metallbücherregale mit Büchern eher in den unteren Ebenen

GERÄUSCHE

Pfeifen der Windböen an Oberlichtern deutlich hörbar, Federpenal-Zip, Sesselrücken, Flüstern, Husten, Rascheln der Kleidung, Umblättern, Stifte fallen zu Tisch, Tür fällt ins Schloss, Flugzeuflärm, dumpfe Trittsgeräusche beim Gehen, Glasflaschen prallen auf Tisch, Räuspern, kein Straßenlärm hörbar, leichtes Rauschen der mechanischen Lüftung

AKUSTISCHE BESCHREIBUNG

leicht hallig

kühl

leicht gedämpft

perzeptive Raumgröße passend zur realen Raumgröße
geringer Grundpegel, dadurch einzelne Geräusche gut wahrnehm- und lokalisierbar

AKUSTISCHE PHÄNOMENE

In der unteren Ebene gehen Geräusche im Grundrauschen des Raumes nahezu unter, einzelne Schallquellen sind zwar leicht lokalisierbar, stören aber nicht weiter. Gänzlich anders verhält sich dies, wenn man im Galeriegeschoss Platz nimmt: Hier befindet man sich akustisch empfindlich näher zu den Sitznachbarn, jegliche Geräusche derer werden ganz klar wahrgenommen.

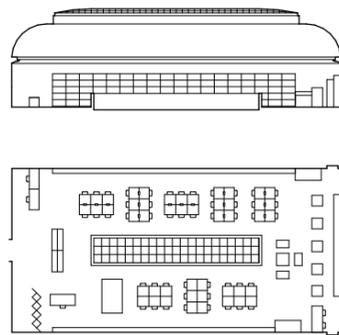


Abb. 16: Grundriss und Schnitt des Lesesaals im MAK, M 1:500

LESESAAL MAK WIEN

Das Museum für angewandte Kunst (MAK) wurde 1871 nach den Entwürfen des Architekten Heinrich Ferstel im Stil der Neorenaissance an der Wiener Ringstraße erbaut. Es beheimatet sowohl einen Museumskomplex als auch Teile der Universität für angewandte Kunst. In den Lesesaal im 1. Obergeschoss gelangt man lediglich über das Foyer des Museums, weshalb für Besucher der Bibliothek eigene, kostenlose Eintrittskarten ausgegeben werden. Der Raum selbst ist nur über eine doppelflügelige Altbautür vom Museumsgeschehen getrennt, wodurch auch die Geräuschkulisse charakteristisch ist. 2001 wurde der Lesesaal von den Architekten Ursula Aichwalder und Hermann Strobl generalüberholt und mit neuer, hochwertiger Ausstattung versehen. Bedeutend für den Raum ist seine Glasdecke, welche Tageslicht von oben in den Lesesaal einlässt. In der Mitte des Raumes teilt ein weiteres Oberlicht, welches natürliches Licht für den darunter liegenden Ausstellungsraum gewährt, den Saal.

GRUNDDATEN

- BAUJAHR	1871 / Generalüberholung 2001
- ARCHITEKT	Heinrich Ferstel / Ursula Aichwalder, Hermann Strobl
- ORT	Stubenring 5, 1010 Wien
- RAUMART	Box
- FLÄCHE	ca. 275 m ²
- VOLUMEN	ca. 1.900 m ³
- KAPAZITÄT	65 Arbeitsplätze
- VOL/PERS.	29,2m ³ /Pers.
- GERÄUSCHPEGEL	Grundpegel: 40dB(A) (Nachm., 70% Belegung) kurzz. Max.: 70dB(A)

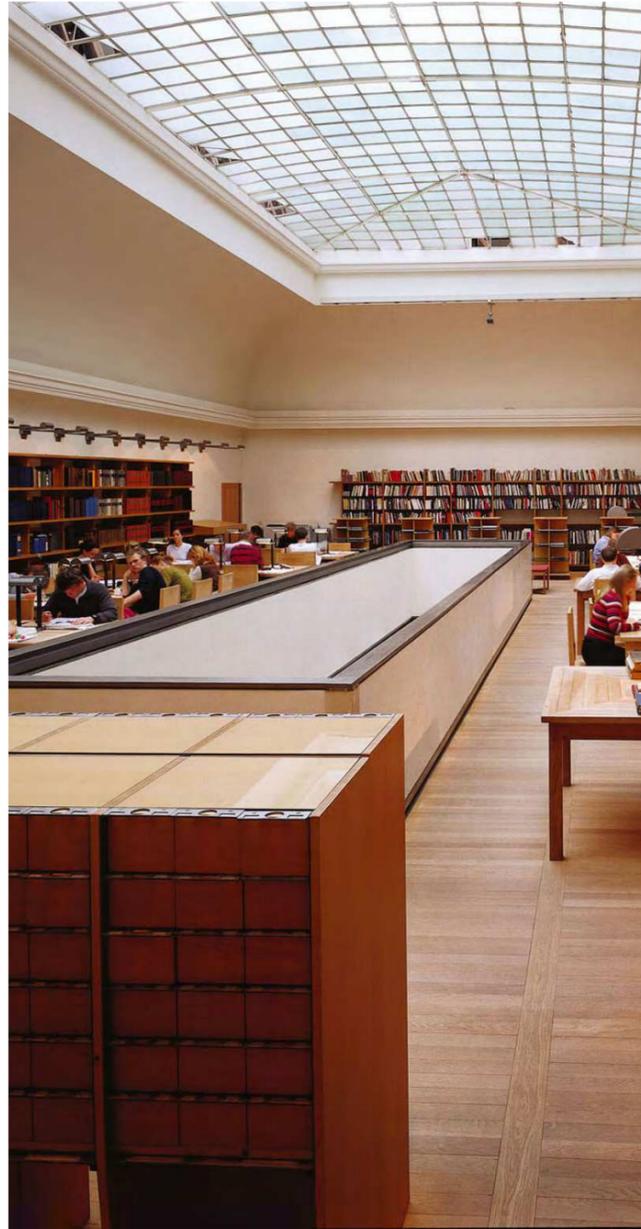


Abb. 17: Großer Lesesaal der Wienbibliothek im Rathaus Wien

LESESAAL MAK WIEN

MATERIALIEN

Boden: Holzboden (Hartholz)

Wände: Verputzt, glatt mit wenigen Stuckprofilen in den Übergangszonen zur Decke, Übergang zu Decke gewölbt, Bücherregale aus Holz ohne Rückwand, zwischen 60-80% gefüllt mit Büchern

Decke: Glasdecke (raues Glas, 40x16 Felder, quadratisch), leicht nach oben gewölbt und mit Eisenrahmen gehalten, einzelne Felder geöffnet, darüber Holzdachstuhl sichtbar

Möblierung: Holzregale ohne Rückwand aber mit Holzleiste als Buch-Anprallschutz, an den Längswänden jeweils 5 Ebenen in 18 Felder unterteilt, an der Rückwand 9, über den Fächern jeweils eine Wandlampe aus Blech, 9 Tische aus Hartholz, Tischplatte mit Fächern, mit jeweils 6 Stühlen aus Holz, einfache Geometrie; 3 zusätzliche Tische aus Metall (2 Platten übereinander mit 4 Tischbeinen) mit jeweils 2 Stühlen mit Rollen aus Metall mit Sitzschale aus Holz, 1 Möbelputz aus Holz beim Eingang mit kleinen Läden, 1 Verbau aus Holz im Ecke rechts neben der Tür mit Metalloberfläche für Kopierer, 1 Waschbecken, 5 Bücherständer als Inseln im Raum, 2 Lesepulte an den Wänden, 3 Sitzbänke und ein kleiner Couchtisch aus Holz mit Glasplatte

AKUSTISCHE BESCHREIBUNG

leicht hallig

keine Intimität der Akustik
angespannte Ruhe im Lesesaal
eher kühl

geringer Grundpegel, dadurch einzelne Geräusche sehr gut wahrnehm- und lokalisierbar

AKUSTISCHE PHÄNOMENE

Der Grundpegel im Raum ist relativ niedrig, deshalb nimmt man jedes Geräusch der Mitbenutzer sehr klar wahr, die Raumakustik verstärkt diese weiter.

Besucher ist es sichtlich unangenehm, Geräusche zu erzeugen. Es herrscht das Gefühl, als würde man andere in ihrer Ruhe stören.

GERÄUSCHE

Schritte, Umblättern, Mausemmer, Flüstern, Laufen des Wasserhahns und Abfließen des Wassers, leises mechanisches Lüftungsgeräusch, Stuhlrücken, Knarzen von Sessel, Trinken aus Flaschen, Museumslärm aus dem Foyer gedämpft, Tür quietscht beim Öffnen, Tür fällt ins Schloss, Husten, Plastiksackerl raschelt, Rollwagen mit Büchern dröhnt

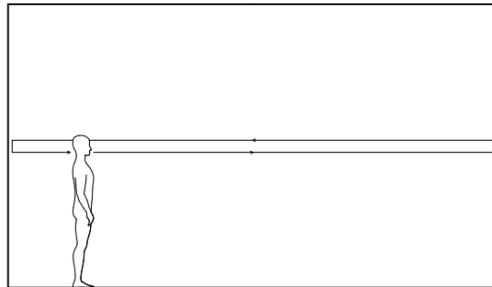


Abb. 18

PARALLELE OBERFLÄCHEN ERZEUGEN FLATTERECHOS.

Stehen zwei Wände in einem größeren Raum mehr als 7-8m entfernt, entstehen durch die sich hin- und zurückbewegenden Schallwellen Flatterechos, also schnell aufeinander folgende Echos, die jedoch aufgrund des erhöhten Abstandes mit mehr als 50ms Zeitunterschied als einzelne Schallereignisse wahrgenommen werden können. Vor allem Sprachverständlichkeit und Musikdarbietungen werden davon stark beeinträchtigt. Ein leichtes Verdrehen der reflektierenden Oberflächen um etwa 3-5° ist ausreichend, um diesem Effekt entgegenzuwirken.

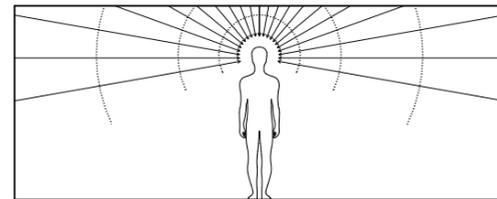


Abb. 19

NIEDRIGE DECKEN ERHÖHEN ORIENTIERUNGSLOSIGKEIT.

Weil der menschliche Hörapparat aufgrund evolutionärer Entwicklung eher für das Verorten von Schallereignissen in horizontaler Ebene ausgelegt ist, kann der Mensch sich durch Reflexionen von Wänden wesentlich besser im Raum orientieren. Wirkt eine niedrige Decke eines Raumes als starker Reflektor, kommen die von der Decke reflektierten Schallwellen vor den von den Wänden reflektierten in unserem Gehör an, womit die auditive Orientierungsfähigkeit geschwächt wird.

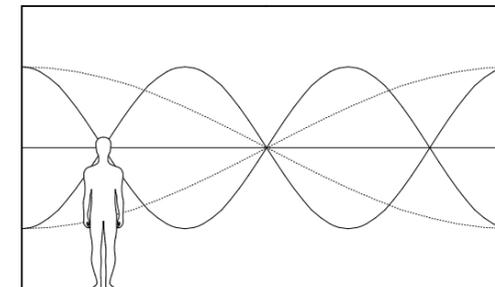


Abb. 20

GANZZAHLIGE RAUMPROPORTIONEN ERZEUGEN STEHENDE WELLEN.

In kleineren Räumen treten zwischen zwei parallelen, reflektierenden Wänden immer auch stehende Wellen in gewissen Frequenzen auf, sogenannte Eigenmoden. Die Wellenlängen der betroffenen Frequenzen sind dabei immer die Hälfte oder ein Vielfaches des Abstandes zwischen den beiden Oberflächen. Die Schallwellen dieser bestimmten Frequenzen überlagern sich und werden daher im Raum störend verstärkt und ungleichmäßig verteilt. Beträgt dann eine weitere Raumdimension ein ganzzahliges Vielfaches einer anderen Abmessung, treten diese Eigenfrequenzen besonders stark auf. Eine Abweichung der Verhältnisse um mehr als 10% sollte hier angestrebt werden, um diesen Effekt zu vermeiden. Besonders zu beachten ist dies bei kleinen Räumen, die für musikalischen Gebrauch geplant werden. Bei steigenden Raumdimensionen verlagert sich dieser Effekt in immer tiefere und damit für das menschliche Gehör unbedeutendere Frequenzbereiche.

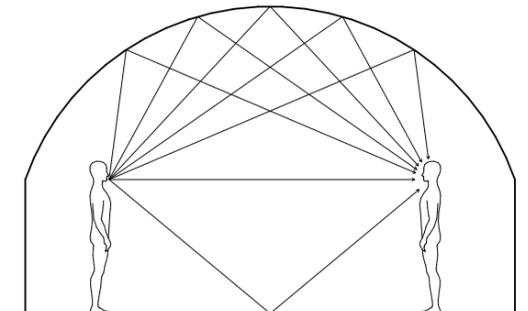


Abb. 21

KONKAVE OBERFLÄCHEN FÜHREN ZU SCHALLKONZENTRATION.

Kreisförmige Ausbildungen von Oberflächen konzentrieren nicht nur Licht sondern auch Schallereignisse nach den Hohlspiegel-Gesetzen in ihren Mittel- bzw. Fokuspunkten, wodurch der Schalldruck in diesen Gebieten erhöht wird. Dies kann zu einer störenden Verstärkung von Hintergrundgeräuschen an diesen Fokuspunkten führen und ist vor allem bei Vortragsräumen kritisch. Konkav geformte Oberflächen wirken dagegen verteilend und werden in der Raumakustik oft gezielt eingesetzt.



Abb. 22: Bau der Straßenbahnkehre am Schottentor, 1960

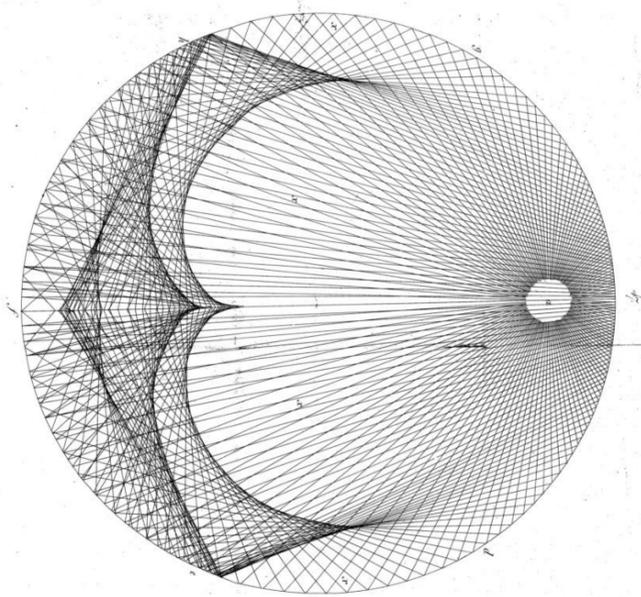


Abb. 23: Über Theater oder Bemerkungen über Katakustik in Beziehung auf Theater
Langhans, Carl Ferdinand Berlin, 1810

Um zu überprüfen, inwiefern ein architektonischer Entwurf um die Komponente der Akustik ergänzt werden kann, habe ich eine Entwurfsaufgabe angestrebt, in welcher der kreative Prozess primär von der akustischen Raumwahrnehmung geleitet werden sollte. Für mich bedeutet die Erarbeitung eines Entwurfes vor allem das Abwägen und Ordnen von verschiedenen Faktoren, welche entweder von mir selbst als grundlegend angenommen oder von außen festgelegt werden. Hier treten wiederkehrend essenzielle Aspekte wie Licht, Programmatik und Effizienz in den Vordergrund.

In dieser Arbeit habe ich mich deshalb für eine Priorisierung der akustischen Komponente des zu entwerfenden Gebäudes, die außerhalb der Entwicklung eines Vortragsraumes eher unüblich ist, entschieden. Keinesfalls sollten dabei jedoch alle andere Einflussfaktoren vollständig ausgeklammert werden. Im Projekt sollte das Gehörte sowie das Hörbare in stark überspitztem Zustand als Entwurfsgedanke in den Vordergrund rücken, wodurch ich herausfinden wollte, in welche Richtung sich eine Entwurfsaufgabe unter diesem Hauptaspekt bewegen kann.

Als Programm des zu entwerfenden Gebäudes wurde ein Lernzentrum gewählt. Die dadurch entstehenden Räume haben somit gewisse akustische Anforderungen zu erfüllen, sind jedoch im bauphysikalischen Sinne im Gegensatz zu Vortragsräumen nur sehr vage festgelegt und können durch das Studieren von persönlichen Erfahrungen und Präferenzen ohne weiteres hinterfragt und neu gebildet werden.

Weiters sind im typischen Raumprogramm dieser Gebäudetypologie verschiedenste Nutzungssituationen möglich, auf die mit sehr unterschiedlichen akustischen Lösungen geantwortet werden kann.

Die Entscheidung hinsichtlich des Bauplatzes wurde ebenfalls im Hinblick auf akustische Besonderheiten gefällt: ein durch Verkehr außerordentlich stark frequentiertes Vakuum in der Innenstadt, in dem auf sich auf mehreren Ebenen verschiedenste akustische Gegebenheiten ergeben, die den Entwurf zusätzlich maßgebend formen sollten.

PROZESS

Die Entwicklung eines geeigneten Entwurfsprozesses war notwendig, um die gesammelten Anforderungen und Recherchen in eine Bauaufgabe zu gießen. Die Schwierigkeit lag vor allem in der Aufgabe, einen auditiven Entwurfsgedanken zufriedenstellend in Skizzen, Plan und Modell darzustellen und festzuhalten. Bei der Annäherung mit klassischen Entwurfswerkzeugen schweift der Prozess schnell hin zur üblichen, visuellen Gestaltung ab. Um die akustische Grundessenz des Entwurfes festzuhalten und weiterzuentwickeln, war deshalb die Erarbeitung eines geeigneten Werkzeuges notwendig. Der Prozess, der für mich persönlich die effektivsten Resultate hervorgebracht hat, war die textliche Entwurfsbeschreibung. Durch dieses Tool war es möglich, sich auf rein akustische Wahrnehmungen im Gebäude zu beschränken. Die visuellen Übersetzungen der textlichen Beschreibung konnten dabei vielfältig ausfallen.

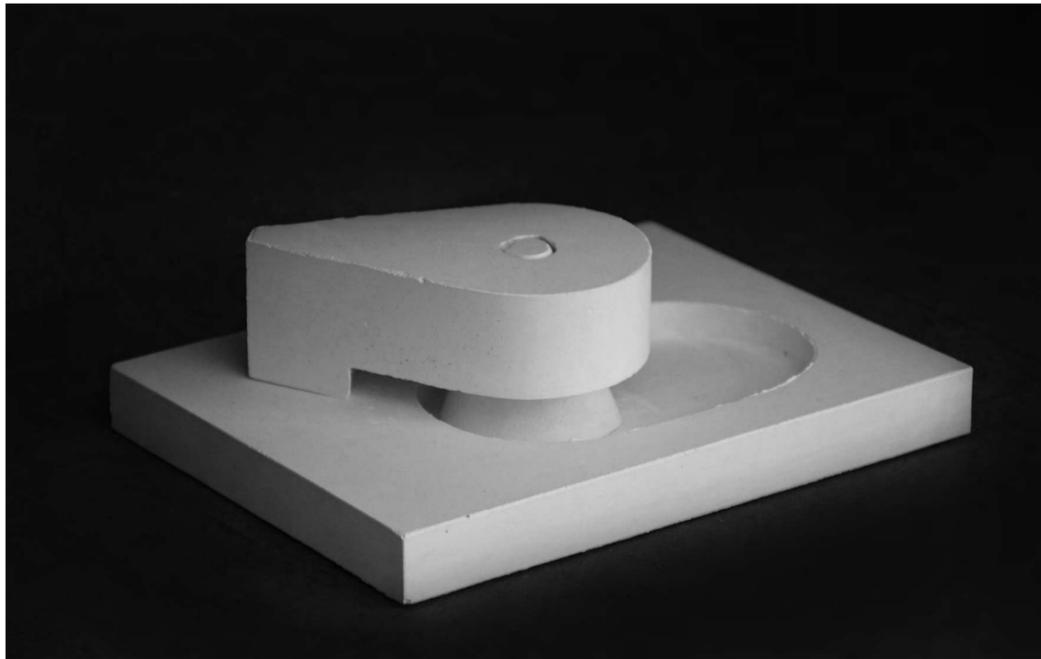


Abb. 24: Konzeptmodell zum Bauplatz, Gipsguss

VOM WEG ZUM WISSEN

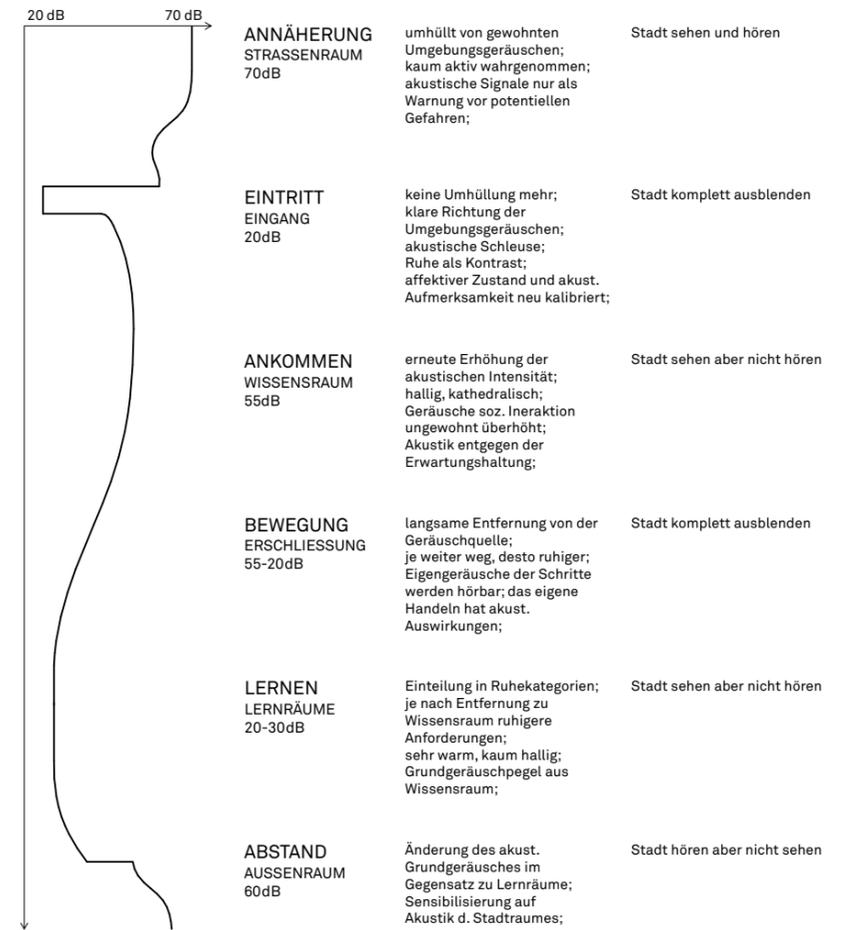




Abb. 25: Station Schottentor, 1961

VOM WEG ZUM WISSEN

ANNÄHERUNG 70 dB

Die Annäherung im Stadtraum bietet ein gewohntes akustisches Umfeld: ein Konglomerat aus verschiedensten dynamischen Geräuschquellen, das der sich darin bewegende Mensch trotz der hohen Intensität kaum aktiv wahrnimmt. Es besteht aus einem Grundrauschen, das Großteils durch die endlosen dynamischen Abroll- und Motorengeräusche der vorbeifahrenden Fahrzeuge entsteht. Die Intensität des akustischen Stadtbildes wird jedoch in der näheren Umgebung im Rhythmus der Verkehrsschaltung stetig wiederkehrend für einen kurzen Moment gesenkt - eine kurze Verschnaufpause, bevor das Anrollen der Kraftfahrzeuge diese wieder beendet und sich die Hörer wieder inmitten der akustischen Stadtkulisse befindet. Bei der Annäherung der Besucher an das Gebäude verändert sich dieses allgegenwärtige Geräuschbild der Stadt langsam: Mit der Bewegung nach unten werden die Besucher nicht mehr von der gewohnten Stadtkulisse umhüllt, sondern nehmen immer eindeutiger eine klare Richtung, aus der diese kommt, wahr. Gleichzeitig verliert diese jedoch auch an Intensität und die Nutzer tauchen in eine andere, jedoch ebenfalls gewohnte akustische Umgebung ab. Unten angelangt überwiegen menschliche Interaktionen und das immer wiederkehrende dumpfe Rattern vermischt mit höherfrequentem Quietschen der einfahrenden Straßenbahngarnituren. Ein deutlich leiseres Stadtrauschen ist in dieser Umgebung in den ruhigeren Momenten ebenfalls wahrzunehmen, jedoch kann die Richtung, aus der es kommt, klar ausgemacht werden, nämlich von oben.

EINTRITT 20 dB

Im Moment der Annäherung an das Gebäude, werden die Besucher wieder verstärkt mit der Geräuschkulisse von oben konfrontiert. Beim Eintritt verschließt sich die akustische Kulisse des zurückgelassenen Straßenraumes mit dem Schließen der Schleuse jedoch schlagartig vollständig. Für den Bruchteil einer Sekunde begrüßt die Eintretenden vollkommene Stille als klarer Bruch zum dynamischen Außenraum mit seiner hohen Intensität. In diesem kurzen Zwischenraum gibt es keine Schallquellen und auch die eigenen Geräusche werden von den Oberflächen absorbiert. Der affektive Zustand der Ankommenden wird während des knappen Aufenthaltes in der Schleuse neu kalibriert und die Wahrnehmung wird geschärft.

ANKOMMEN 55 dB

Mit dem erneuten Öffnen der Schleuse in Richtung Innenraum wird die akustische Intensität im exakten Gegenteil zur Erwartungshaltung der Besucher wiederum abrupt erhöht. Die Geräusche, die in diesem Raum wahrgenommen werden, unterscheiden sich hingegen grundlegend zur gewohnten Stadtkustik der zurückgelassenen Außenwelt: ein dramatisch hallender Raum, in dem eine Melange aus ungewöhnlich stark gesteigertem Nachhall von entfernten Gesprächen und dumpfem Dröhnen aus dem Außenraum entsteht/vorherrscht. In diesem Raum wird den Eintretenden die ansonsten kaum auf auditiver Ebene wahrnehmbare Essenz des Gebäudes hörbar gemacht: das Lernen. In dieser akustischen Umgebung wird den Besuchern vom Beginn an die Hemmung vor sozialen Interaktionen genommen, die üblicherweise vom Typus Lernraum erwartet und gelebt wird. Wissen soll in diesem Gebäude nicht nur vom Niedergeschriebenen auf den Menschen übertragen werden, sondern vor allem auch auf direktem Wege durch das Lernen voneinander mittels zwischenmenschlicher Interaktion.

BEWEGUNG 55 - 20 dB

Um zu den Lernflächen zu gelangen, müssen die Nutzer die oberen Geschosse aufsuchen. Dies erfolgt durch einen akustisch fließenden Übergang in den vertikalen Verteiler. Der Geräuschcocktail aus dem Wissensraum begleitet die Besucher auf dem Weg nach oben, verblasst jedoch von Geschoss zu Geschoss, wie die Erinnerung daran, immer weiter. Durch das Distanzieren von der Geräuschquelle werden die akustisch stark reflektierenden, harten Oberflächen des Stiegenhauses immer klarer wahrgenommen. Das verstärkte Klopfen des Bodens im Rhythmus der eigenen Schritte wird spürbar unangenehmer bis es sich schließlich, in den oberen Geschossen angelangt, als das einzige klar wahrnehmbare Geräusch im vertikalen Raum manifestiert.

Die Nutzer werden dadurch auf die von ihnen selbst ausgehenden Geräusche aufmerksam und mit jedem Geschoss, das sie weiter nach oben steigen, stärker für die notwendige Ruhe sensibilisiert, welche die daran anschließenden Räume verlangen. Je weiter man nach oben steigt, desto leiser werden auch die Lernräume - so kann die ideale akustische Umgebung für die jeweilige Lerntätigkeit individuell und intuitiv gewählt werden.

LERNEN 20 - 30 dB

Beim Übertritt von der Erschließungseinheit zu den Lernflächen ändern sich die akustischen Gegebenheiten mit einem abrupten Wechsel der harten Materialien hin zu einer akustisch weichen, gedämpften Atmosphäre mit offenporigen und haptischen Oberflächen. Bereits beim ersten Schritt in den Lernräumen eliminiert der Belag jegliche Geräusche der durch das Treppenhaus ohnehin schon vorsichtig gewordenen Schritte der Nutzer. In diesen Bereichen herrscht eine Atmosphäre der Konzentration, die jedoch mit einem mehr oder weniger starken Grundpegel aus der gedämpften Mixtur der Geräusche aus dem Zentralraum hinterlegt ist. Dieser, je nach Geschoss verschieden hohe, Grundpegel ermöglicht, dass leise Gespräche und Geräusche von Mitbenutzern als nicht störend empfunden werden, da die einzelnen Schallereignisse im Grundpegel untergehen und somit nicht wahrnehmbar sind. Die Ausrichtung dieser Räume geht daher stärker nach innen hin zum zentralen Wissensraum. Am äußersten Perimeter des Gebäudes liegen die Einzelplätze, die zum individuellen Arbeiten und Lernen einladen. In diesen akustischen Kojen ist die Geräuschkulisse der Lernflächen am geringsten. An den Einzelarbeitsplätzen selbst entspringen wegen des individuellen Fokus auch nur sehr leise Geräusche. Im Unterschied zu den restlichen Lernflächen ist die visuelle Ausrichtung der individuellen Plätze durch die Fenster hindurch in Richtung Stadtraum. Der Blick schweift durch die Fenster über die laute Stadt, akustisch befindet man sich jedoch im Innenraum - in einer stillen, gedämpften und beruhigenden Umgebung.

ABSTAND 60 dB

Am höchsten Punkt des Gebäudes kann eine Lern- und Arbeitspause eingelegt werden. Ein Umgang am Dach entlässt die Nutzer für die notwendige Zeit aus der akustisch gedämpften Lernumgebung wieder zurück in den Stadtraum mit hoher akustischer Intensität. Die Stadt ist jedoch im Unterschied zur Bewegung auf Straßenniveau für die Besucher nicht sichtbar, sondern lediglich hörbar. Dies lenkt die Aufmerksamkeit von den Augen auf die Ohren und die Nutzer nehmen anders als gewöhnlich die Stadt erstmals aktiv akustisch wahr. Erst wenn die Besucher die Bewegung pausieren, eröffnet sich zur Geräuschkulisse auch ein kleiner Ausschnitt der visuellen Stadt. Erst wenn sich die Besucher aus der Bewegung begeben eröffnet sich zur Geräuschkulisse auch ein kleiner Ausschnitt der visuellen Stadt.

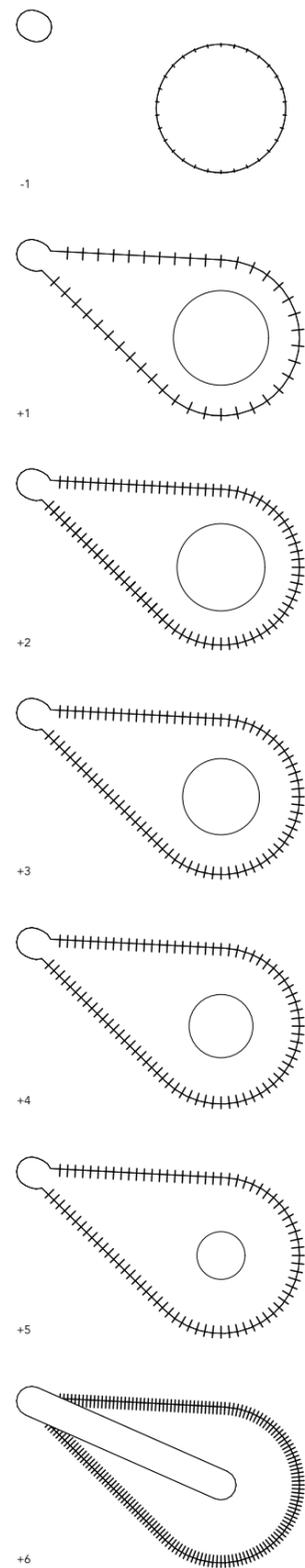


Abb. 26: Diagramm Gebäudeform und Fassadenteilung im Verlauf der Höhe

AKUSTISCHER STADTRAUM

Der Standort des Gebäudes befindet sich inmitten eines komplexen Verkehrsknotenpunktes, an dem eine die städtische Akustik besonders intensiv auf Passanten wirkt. Straßenbahnen und Fahrzeuge auf den umgebenden Fahrbahnen tragen ebenso zur Geräuschkulisse bei wie die Vielzahl an Personen, die diesen Ort am Weg zum individuellen Ziel tangieren. Die erlebte städtische Akustik ist dabei keinesfalls konstant sondern entwickelt sich, sowohl im Laufe des Tages als auch mit der Änderung der Jahreszeit und dem Wetter unweigerlich different. Was jedoch gleich bleibt ist die charakteristische Umhüllung des Bauplatzes durch die vorgefundenen Geräuschkulisse in verschiedenen Ebenen und Intensitäten. Der Mittelpunkt des grünen Ovals im Zentrum des Verkehrsbauperkes stellt dabei aufgrund der maximalen Distanzen den Punkt mit dem theoretisch geringsten Schalldruckpegel dar, obwohl hier aus allen Richtungen die akustische Stadtkulisse den Hörer umhüllt. Dieser Aspekt gemeinsam mit den logistischen Herausforderungen des Ortes prägt daher auch wesentlich den Entwurf des darin situierten Gebäudes.

Das Lernzentrum tritt dabei bis zur ersten Ebene über dem Straßenniveau bewusst nicht den Kampf gegen den vorherrschenden, hohen Geräuschpegel an sondern erlaubt in diesen Räumen die intensive akustische Erfahrung des Gebäudes und seinem direkten Umfeld. Auf Straßenniveau wird eine größtmögliche Offenheit angestrebt, um keine akustischen Barrieren, und damit großflächigen, städtischen Schallreflektoren zu erzeugen. Erst ab dem 1. Obergeschoss vervielfacht sich die Nutzfläche mit dem notwendigen Abstand zu den Geräuschquellen des Stadtraumes zugunsten der Lernflächen.

Um einen positiven Beitrag des Bauwerkes auf die Stadtakustik zu gewährleisten wirkt dessen Hülle zu einem wesentlichen Teil zerstreudend auf die auftreffenden Schallwellen. Dies wird sowohl im großen Maßstab durch die runde Grundrissform als auch im Detail in der eng geteilten, vielschichtigen Fassade sichergestellt, obwohl hier ein, im direkten Vergleich mit Nachbargebäuden auf der Ringstraße, hoher Anteil an Transparenz vorherrscht.

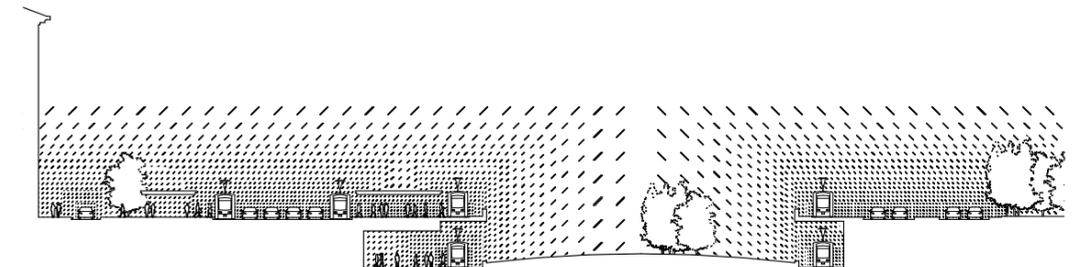


Abb. 27: Diagrammatischer Schnitt durch den Bauplatz mit Geräuschquellen

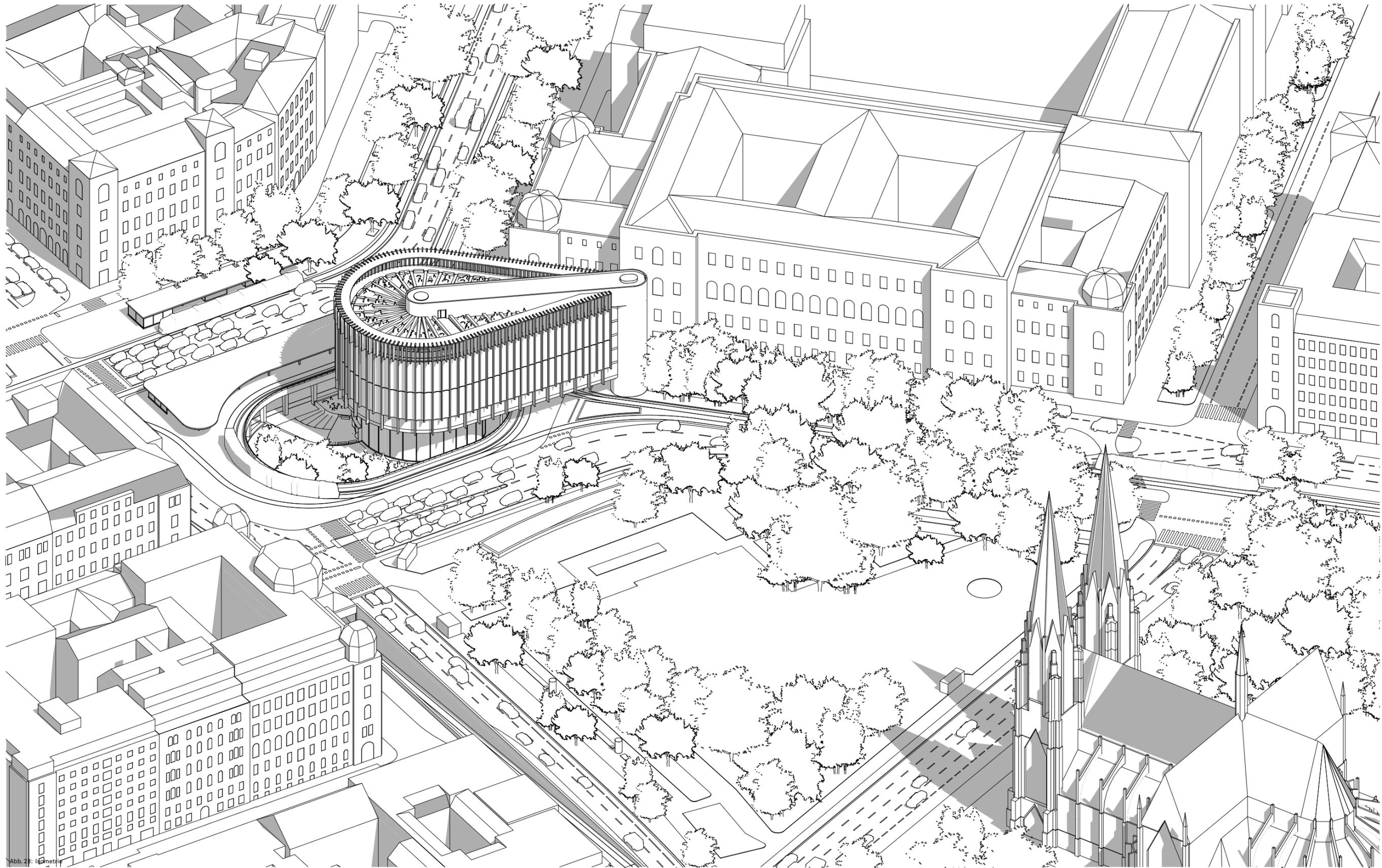


Abb. 28: 140metr

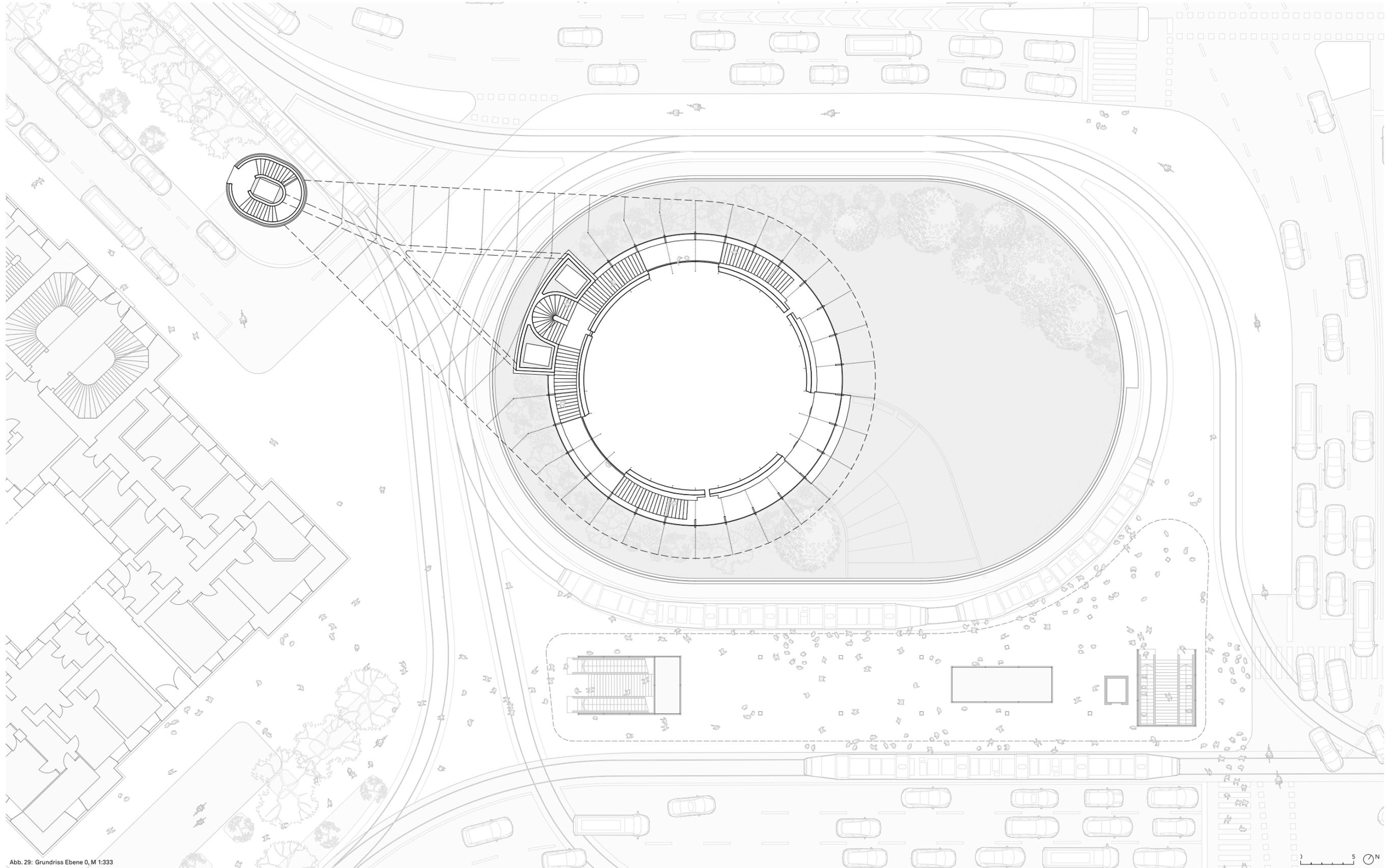


Abb. 29: Grundriss Ebene 0, M 1:333



Abb. 30: Schaubild Station Ebene -1

ORT

Die Schottenpassage zählt zu den am meisten frequentierten Stationen des öffentlichen Nahverkehrs im gesamten Wiener Stadtgebiet. Sowohl die Nähe zum Hauptgebäude der Universität Wien und dem Juridicum als auch die Lage an der Wiener Ringstraße führen hier zu einem hohen Personenaufkommen.

Zwischen 1959 und 1961 wurde am Platz des Schottentors der ehemaligen Stadtmauer unter dem Bürgermeister Franz Jonas mit den Plänen des Architekten Kurt Schlauss eine zweigeschossige Umkehrstation für aus dem Nord-Westen kommende Straßenbahnen errichtet. Durch die ikonische Form ist sie umgangssprachlich als „Jonas Reindl“ bekannt. Hier wenden heute sowohl auf Straßenniveau als auch im 1. Untergeschoss insgesamt 7 Straßenbahnlinien, drei weitere halten entlang des Ringes. Gemeinsam mit den Wendeschleifen und der Passage wurde auch die daran anschließende Votivparkgarage errichtet, welche unter anderem durch einen direkten Zugang von der Station aus erreichbar ist. Etwa eine Dekade später wurde im 2. Untergeschoss eine Station der U-Bahnlinie U2 eingebunden.

Das Lernzentrum bedient sich der bestehenden Infrastruktur des weitläufigen Verkehrsbauwerkes, indem es das öffentliche 1. Untergeschoss als Eingangsgeschoss nutzt. Ein gefahrloses Überschreiten der Gleise im Stationsbereich wird durch ein Verlegen der Haltebereiche der Straßenbahngarnituren gewährleistet. Über das Kellergeschoss des Hauptgebäudes der Universität Wien wird den Studenten zusätzlich ein direktes Erreichen des neuen Lerngebäudes ermöglicht.

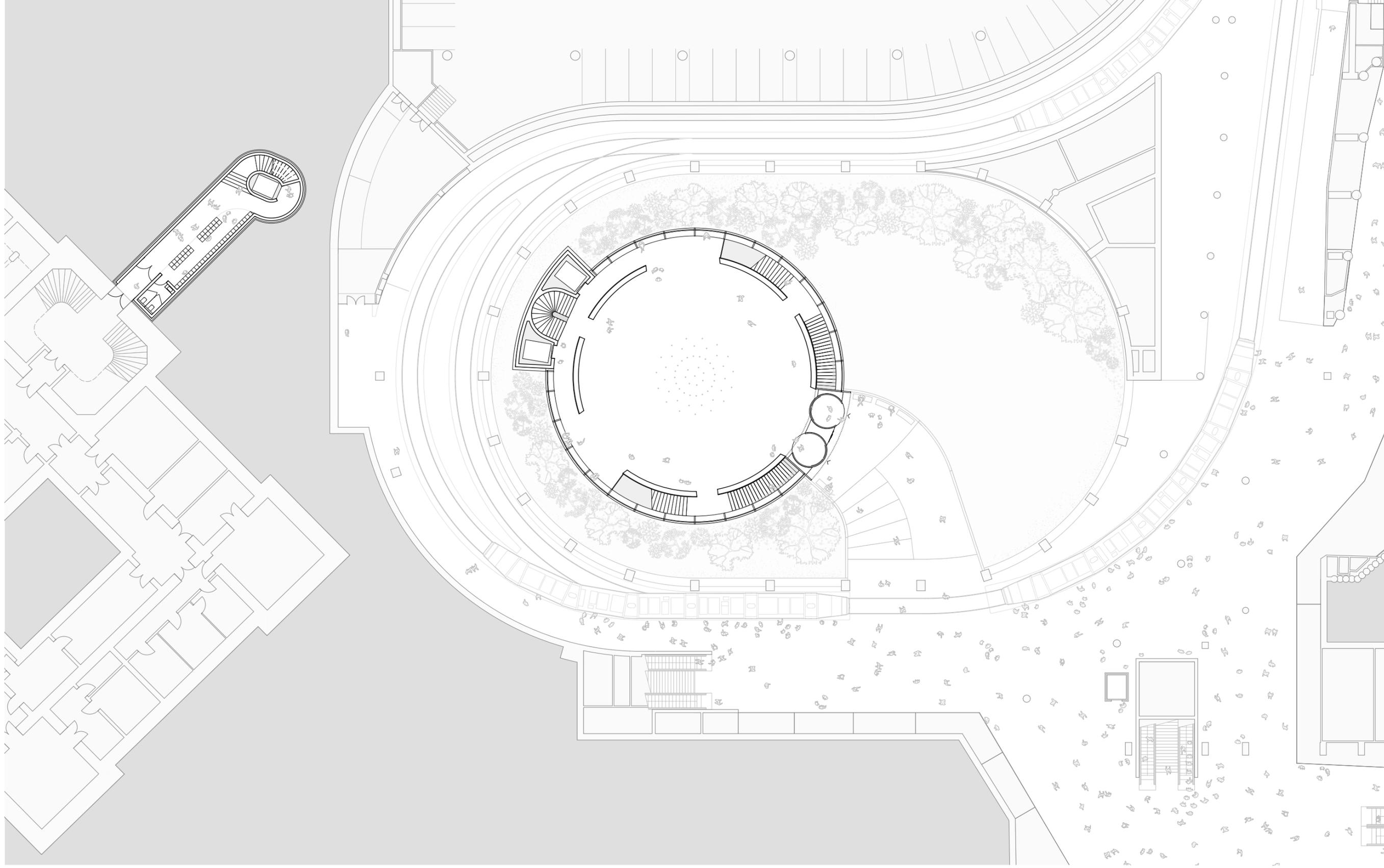
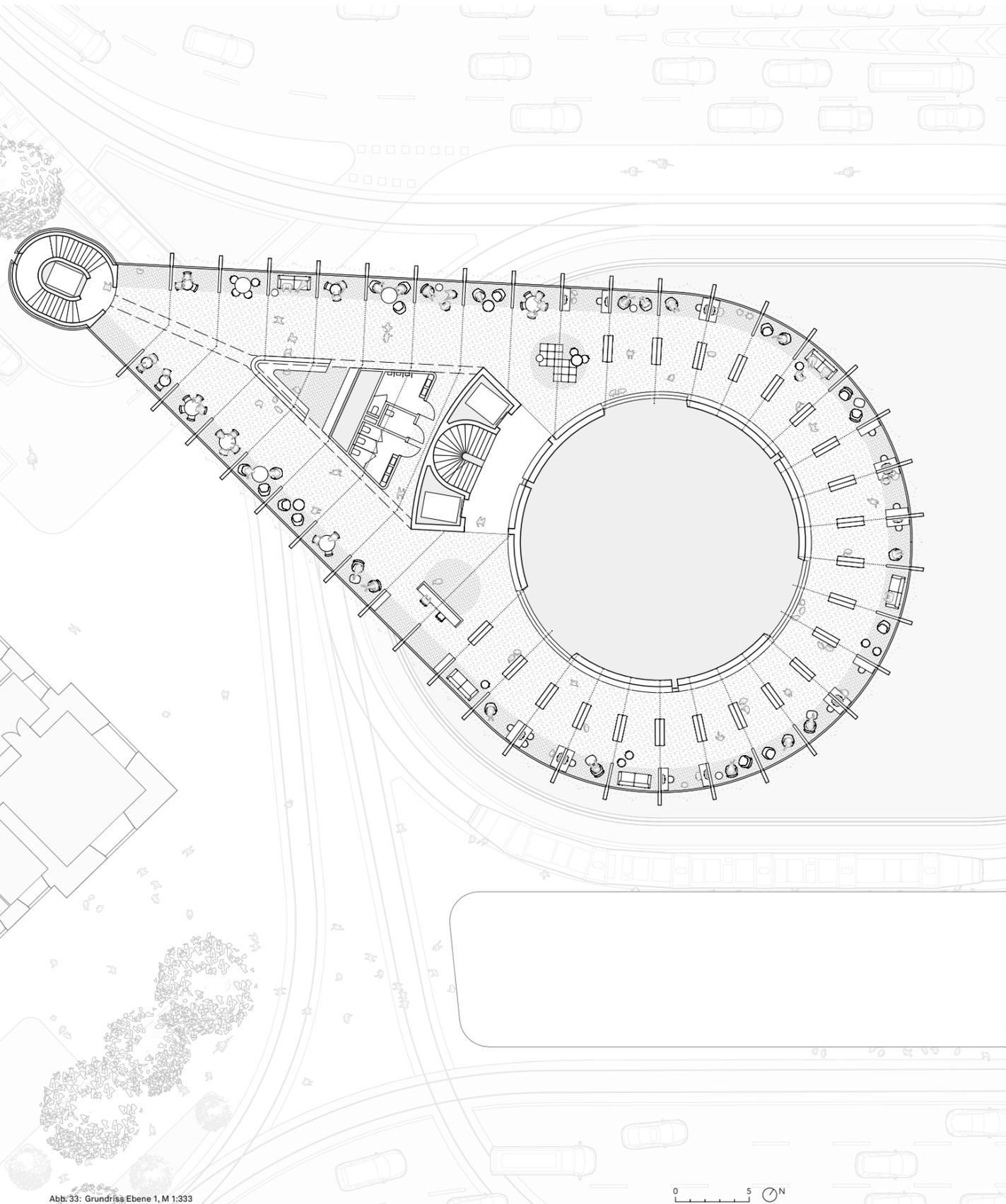




Abb. 32: Schaubild Station Ebene -1

Abb. 33: Grundriss Ebene 1, M 1:333



AKUSTISCHER AUFBAU

Die generelle Zonierung des Gebäudes erfolgt sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Ebene mit Fokus auf die akustischen Anforderungen der jeweiligen Nutzungsbereiche.

Über den Eingang gelangt man zuerst in die Mitte des Gebäudes, das von einem sich über das gesamte Gebäude erstreckenden Luftraum eingenommen wird. In diesem Zentralraum kann durch die Straßenbahnstationen in den unteren Geschossen sowie aufgrund der ankommenden Nutzer zeitweilen ein höherer akustischer Pegel erwartet werden, weshalb die Obergeschosse von diesem Mittelpunkt ausgehend eine akustische Schichtung erfahren: in der Horizontalen wirkt die an den Luftraum angrenzende Mittelzone mit ihren Gruppenarbeitsplätzen als akustischer Puffer zu den Einzelarbeitsplätzen am äußersten Perimeter des Lernzentrums. Der Abfall des Schallpegels verläuft somit immer radial vom Mittelpunkt hin zur Randzone.

In der Vertikalen verläuft diese Schichtung linear von Unten nach Oben: der von den Schalen gebildete Luftraum ver-

jüngt sich nach oben hin, wodurch der jeweilige Luftraum in den Lerngeschossen, und dadurch auch die Öffnungen in diesen, immer kleiner werden. Dies bedingt, dass sich der vorgefundene Schallpegel mit jedem Geschoss weiter verringert und somit intuitiv der persönlich angenehmste Grundgeräuschpegel zum jeweiligen Lernen gewählt werden kann.

Diese Schichtungen der akustischen Zonen im Gebäude erlauben, verschiedene auditive Situationen im Bauwerk in einem gesamten Raumkontinuum unterzubringen, ohne diese jeweils mit Wänden und Türen voneinander vollständig abzuschotten, wodurch alle entstehenden Bereiche eine großzügige Offenheit erfahren. Dies stellt einen Gegenpol zu den Lesesälen der Bibliotheken des 19. und frühen 20. Jahrhundert dar, bei denen die akustische Schichtung umgekehrt von außen nach innen erfolgte. Der Lesesaal im Innersten des Gebäudes war somit immer der Raum mit dem geringsten Schallpegel - wie es zum Beispiel im Großen Lesesaal im angrenzenden Hauptgebäude der Universität Wien vorzufinden ist¹⁷.

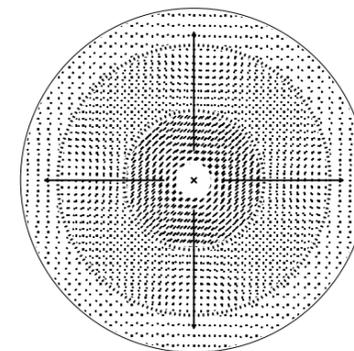


Abb. 34: Pegelabfall in horizontaler Ebene

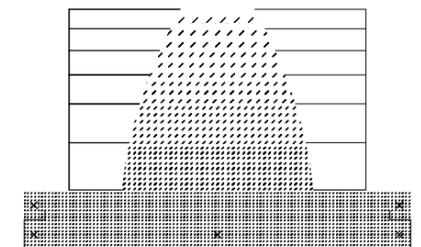


Abb. 35: Pegelabfall in vertikaler Ebene

¹⁷ vgl. Lushington/Rudorf/Wong, Entwurfsatlas Bibliotheken, 2018

Die approbierte, gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

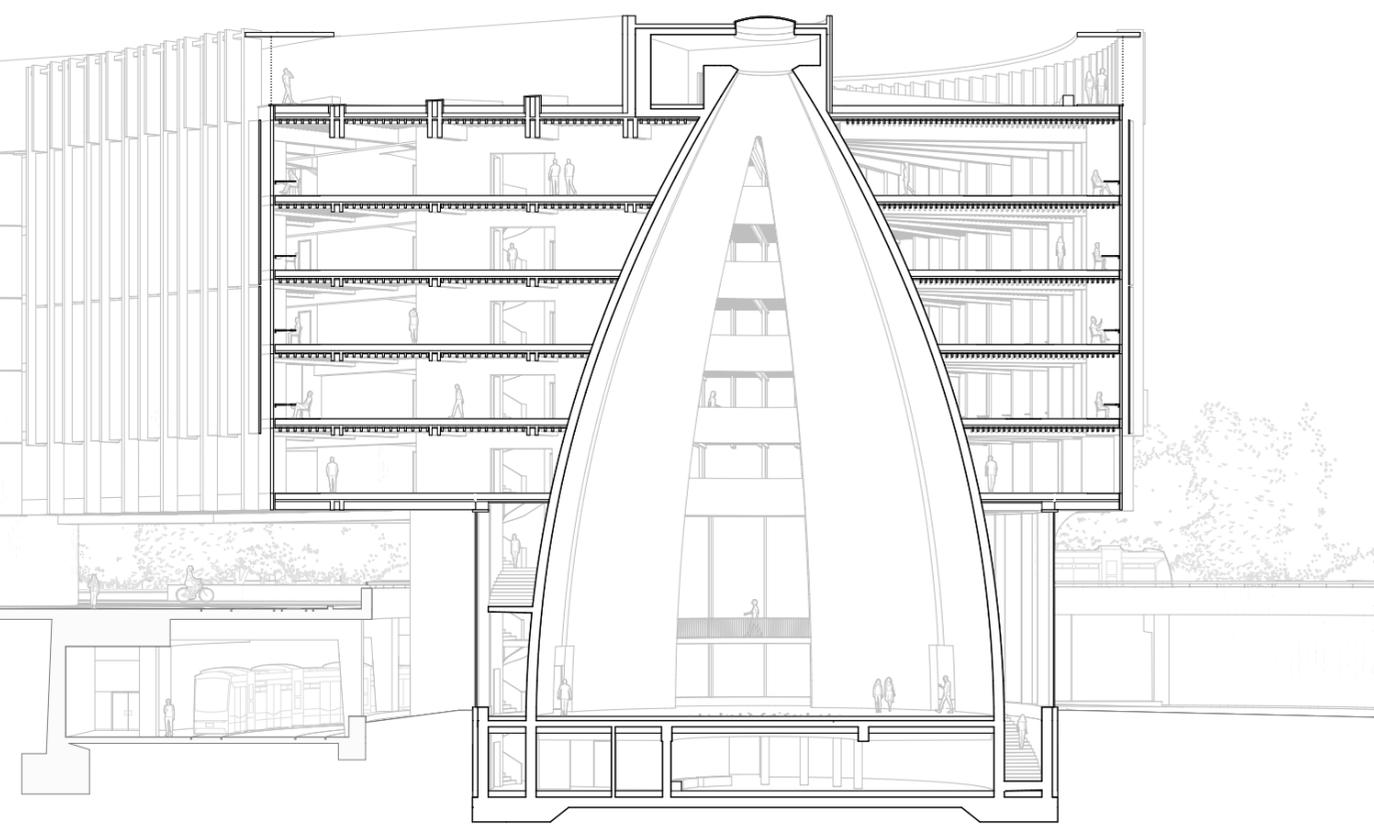
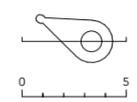


Abb. 36: Querschnitt, M 1:333



Die Mitte des Gebäudes nimmt der Wissensraum ein. Die gedämpfte Klangkulisse, die beim Betrieb der Lernflächen in den oberen Geschossen des Gebäudes entsteht, soll im weiter unten liegenden Eingangsbereich fokussiert und dadurch bewusst hörbar gemacht werden. Das akustische Ziel ist hier, den ankommenden Nutzern die ansonsten im Grundrauschen untergehende Klangkulisse durch Bündeln der Schallwellen auf einen verhältnismäßig kleinen Bereich wahrnehmbar zu machen - das Lernen aller Nutzer im Gebäude wird somit erstaunlicherweise hörbar.

Die Fokussierung des Schalls im Gebäude wird durch drei Stahlbetonschalen, die jeweils einen zu den Lernräumen offenen Bereich als Gegenüber erhalten, sichergestellt. Die Krümmung der einzelnen Schalenteile folgt in der vertikalen Richtung einer halben Hyperbel, was - analog den Hohlspiegelgesetzen - Schallwellen, die horizontal von den Lerngeschossen auf die Schalen treffen, in einem bodennahen Punkt bündelt. Die drei Schalenpaare bilden dabei in der waagrecht Ebene einen Kreis, um die dreidimensionale Bündelung von Schallwellen aus verschiedenen horizontalen Richtungen sicherzustellen.

Die Fokussierung der Schallwellen aus den Obergeschossen bedeuten im Umkehrschluss die Verteilung der auftretenden Schallwellen im Untergeschoss auf alle Obergeschosse, was mit einer Verminderung der Schallintensität einhergeht.

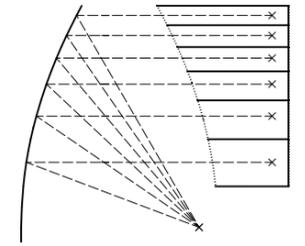


Abb. 37: Fokus in vertikaler Ebene

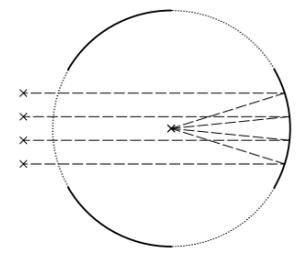


Abb. 38: Fokus in horizontaler Ebene

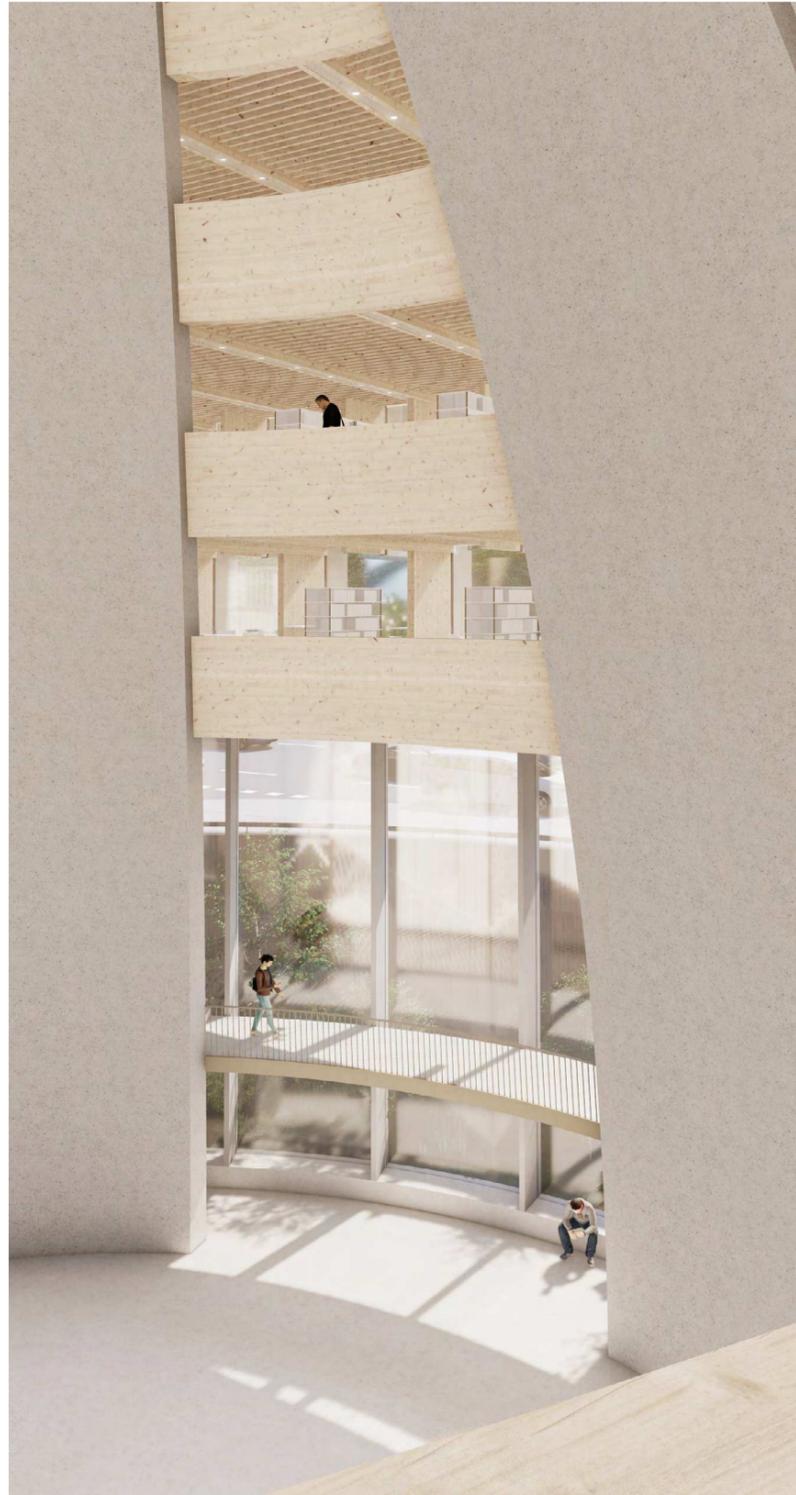


Abb. 39: Schaubild Zentralraum, Ebene +1

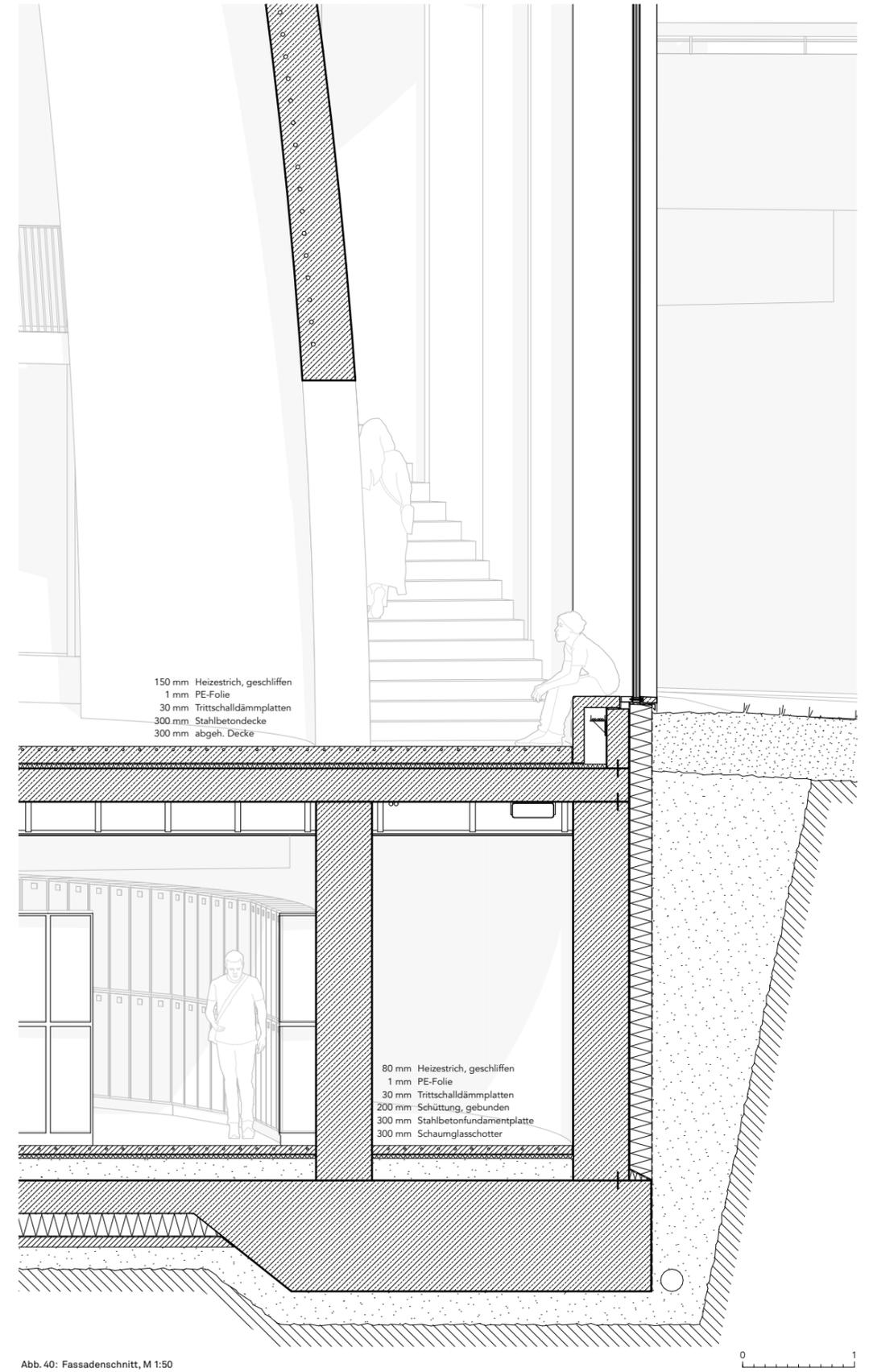


Abb. 40: Fassadenschnitt, M 1:50

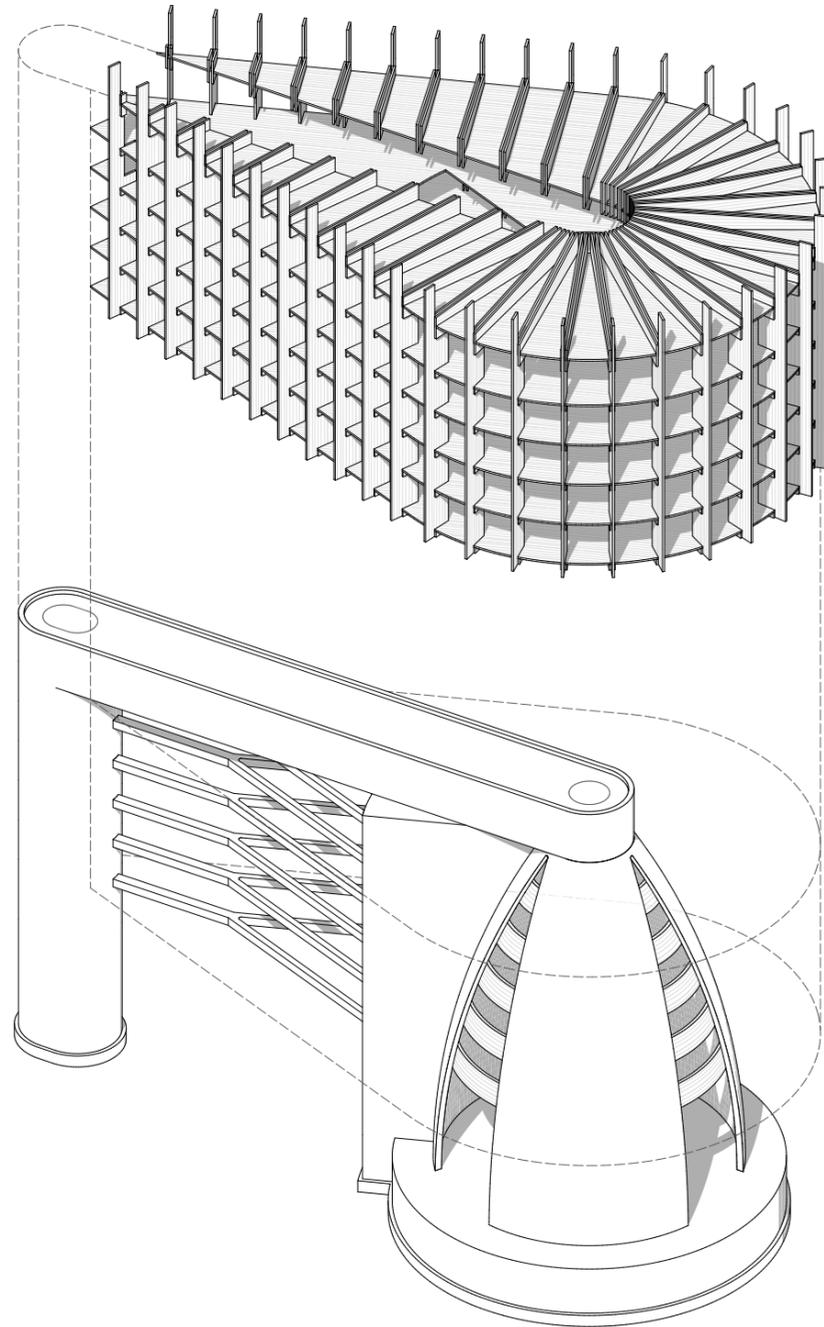


Abb. 41: Isometrie Tragstruktur

STATISCHES SYSTEM

Durch den Betrieb der Straßenbahnwendschleifen im Erd- und Untergeschoss rund um das Lernzentrum ist im Erdreich mit nicht unerheblichen Erschütterungen und Schwingungen zu rechnen. Dieser Aspekt wird im statischen Konzept des Gebäudes aufgegriffen, um die dadurch entstehenden Geräusche teilweise hörbar zu machen und dort, wo sie nicht erwünscht sind, weitestgehend zu eliminieren. Die tragende Struktur des Gebäudes bildet dabei eine hybride Konstruktion aus Stahlbeton und Holz, wobei Bauteile aus Stahlbeton durch ihre Steifigkeit die Vibrationen der Straßenbahnen aufnehmen und durch ihre hohe Wichte dämpfen, die in den Lerngeschossen verwendeten Holzbauteile absorbieren durch ihre gedämpfte Auflagerung und ihre relative Weichheit im Gegensatz zum gegossenen Material die auftretenden Schwingungen zum gegossenen Material die auftretenden Schwingungen und leiten die Schwingungen dadurch nicht in die Räume weiter. Innerhalb der Straßenbahnwendschleife bilden die

drei Schalenpaare in Verbindung mit dem Stiegenhauskern den Hauptlastabtragungspunkt, welcher ein gemeinsames Flächenfundament unter dem 2. Untergeschoss mit ringförmigen Vouten unter Hauptbelastungsbereichen aufweist. Der hintere Stiegenhauskern ist dagegen außerhalb der Schleife situiert und bildet den zweiten Auflagerpunkt der verbindenden Stahlbetonsperre im obersten Geschoss. An diesem geschosshohen Stahlbetonelement sind 40, sich je nach Länge verjüngende Holztragträger aufgespannt, welche die Holzzugscheiben in der Fassadenebene abspannen. Die Geschosse selbst werden dann über wesentlich schlankere, radiale Einfeldträger aus Brettschichtholz mit gedämpften Auflagerpunkten jeweils in der Fassadenebene außen und auf den Stahlbetonbauteilen innen abgetragen. Auf den daran befestigten Sekundärträgern, welche durch ihren geringen Abstand eine akustisch zerstreue und absorbierende Wirkung haben, liegen Brettsperrholzplatten.

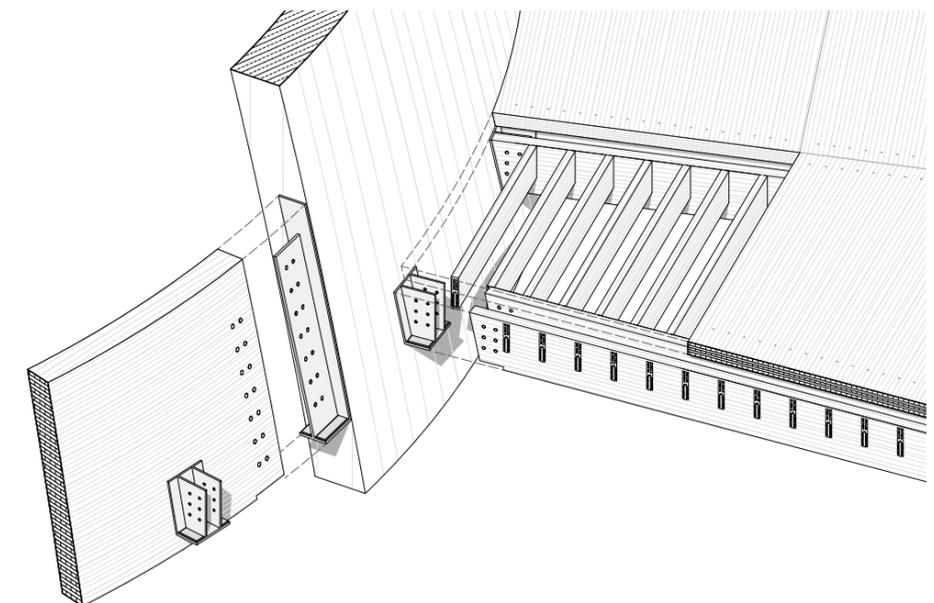


Abb. 42: Anschlussdetail BSH-Träger und Primärträger an Schale

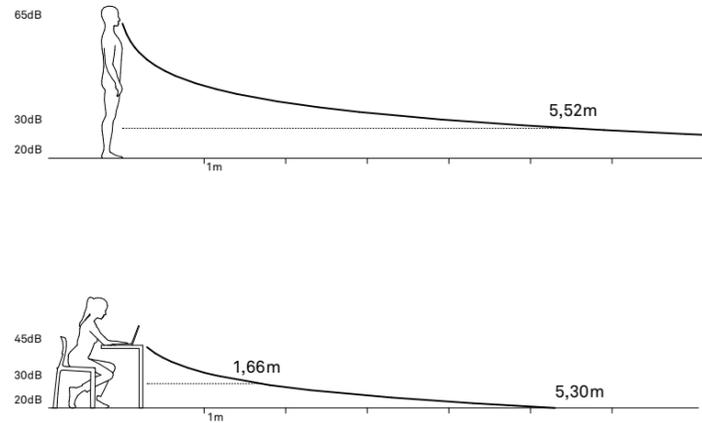


Abb. 43: Diagramm Pegelabfall Sprechen
Abb. 44: Diagramm Pegelabfall Tischarbeit

AKUSTISCHER RASTER

In Bezug auf die innere Organisation des Gebäudes wird auf ein Rastermaß zurückgegriffen, das auf akustischen Phänomenen aufbaut. Es wurde untersucht, welche theoretischen Distanzen zwischen den einzelnen Nutzern notwendig sind, um sich gegenseitig nicht zu stark zu behindern. Hierzu werden zwei akustische Grundsituationen der erwarteten Nutzung im Gebäude herangezogen: eine sprechende Person sowie eine Person, welche Tischarbeit ausführt. Durch approximative Messungen im persönlichen Umfeld wurde für die Tätigkeit des Sprechens ein Schallpegel von 60dB(A) in unmittelbarer Nähe angenommen, für die der Tischarbeit 45dB(A). Ziel war es, die Entfernungen zu berechnen, ab wann diese Tätigkeiten im angenommenen Grundrauschen des Lernzentrums untergehen würden, und somit nicht mehr wahrnehmbar sind. Hierzu wurde 30dB(A) als Grenze angenommen. Da sich der Schall in reflexionsarmen Umgebungen kugelförmig ausbreitet, nimmt die Schallintensität umgekehrt proportional zur Oberfläche der gedachten Kugel ab. Vereinfacht kann von einer Schallpegelabnahme von ca. 6dB pro Abstandsverdoppelung ausgegangen werden. Für die beiden Tätigkeiten wurde somit ein theoretischer Abstand von 5,52m von sprechenden Personen sowie 1,66m von am Tisch arbeitenden Personen berechnet. In der Berechnung wurden die Dissipation sowie etwaige Frequenzabhängigkeiten außer Acht gelassen.

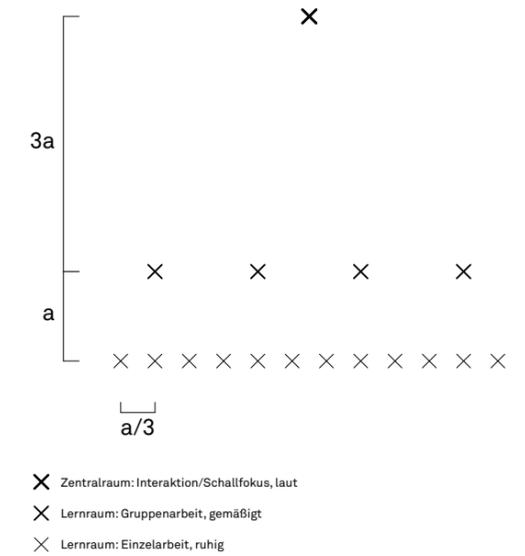


Abb. 45: Diagramm Abstände Pegelabfall im Verhältnis

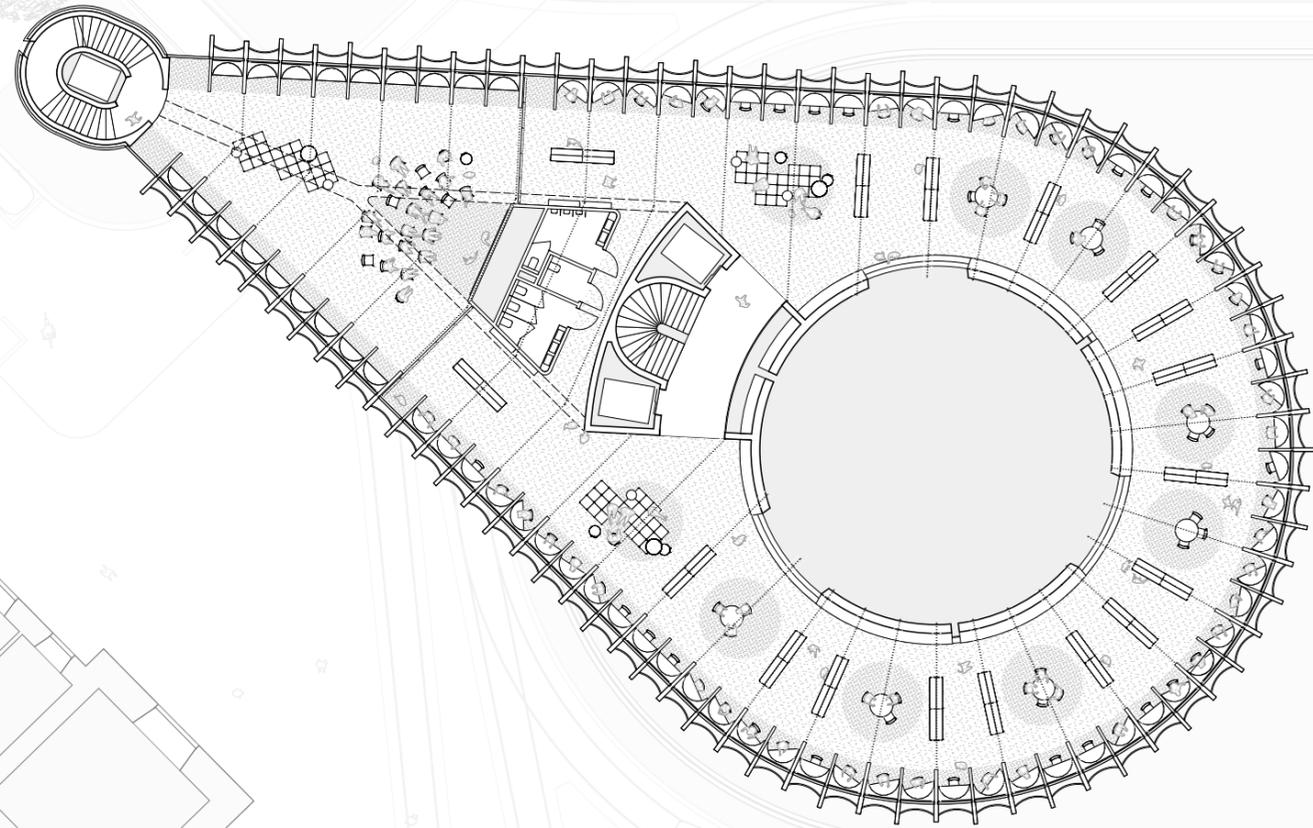


Abb. 46: Grundriss Ebene 2, M 1:333

AKUSTISCHER RASTER

Die im vorherigen Schritt berechneten Abstände geben im Weiteren das Rastermaß sowie die Aufteilung der jeweiligen Arbeitsplätze im Lernzentrum vor. Der Wissensraum, als Raum mit dem höchsten Schallpegel, ist mittig platziert. Mit größerem Abstand in der horizontalen Ebene schließen daran die Gruppenarbeitstische an, an denen vermutlich Gespräche geführt werden. Deshalb halten diese Tische sowohl untereinander als auch zu den Einzelarbeitsplätzen den theoretisch berechneten Abstand von 5,52m ein. Die Kojen für Einzelarbeit am äußersten Rand des Gebäudes halten die Distanz von 1,66m zueinander ein. Diese Anordnung wird sowohl im kreisförmigen Teil des Gebäudes radial als auch im linearen Grundrissabschnitt eingehalten, wodurch ein homogenes Nutzungsbild entsteht, das gleichzeitig dem grundlegenden akustischen Aufbau des Gebäude folgt und außerdem den angestrebten Fokus im Zentrum ermöglicht.

Da es sich bei dieser vereinfachten Berechnung lediglich um theoretische Annahmen handelt, in denen weder reflektierende Oberflächen noch die Dissipation berücksichtigt wurde, wird sowohl durch geeignete Möblierung als auch durch akustisch und statisch wirksame Trennelemente wie Träger und Wandscheiben eine weiterführende Abgrenzung der einzelnen Bereiche mit verschiedenen Schallpegelintensitäten vorgenommen, um etwaigen Abweichungen zwischen den realen Bedingungen und den theoretischen Annahmen vorzubeugen.

Durch den Distanzaufbau und die kleiner werdende Öffnung zum Wissensraum beim Aufsteigen der Lerngeschosse werden nicht nur die Räume an sich ruhiger, sondern auch die Abstände von den Gruppenarbeitsplätzen zu den Einzelarbeitsplätzen aufgrund des Raumgewinnes ausgeweitet und die Einzelkochen dadurch akustisch entlastet.

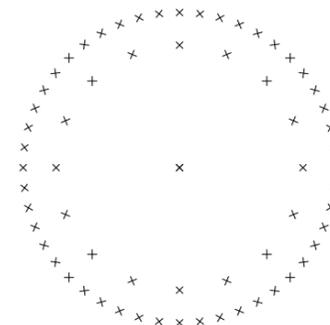


Abb. 47: Diagramm Verteilung Geräuschquellen

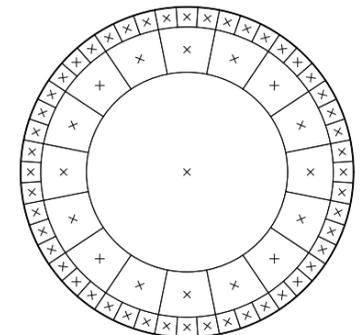


Abb. 48: Diagramm Abstände Geräuschquellen



Abb. 49: Schaubild Lernkoje

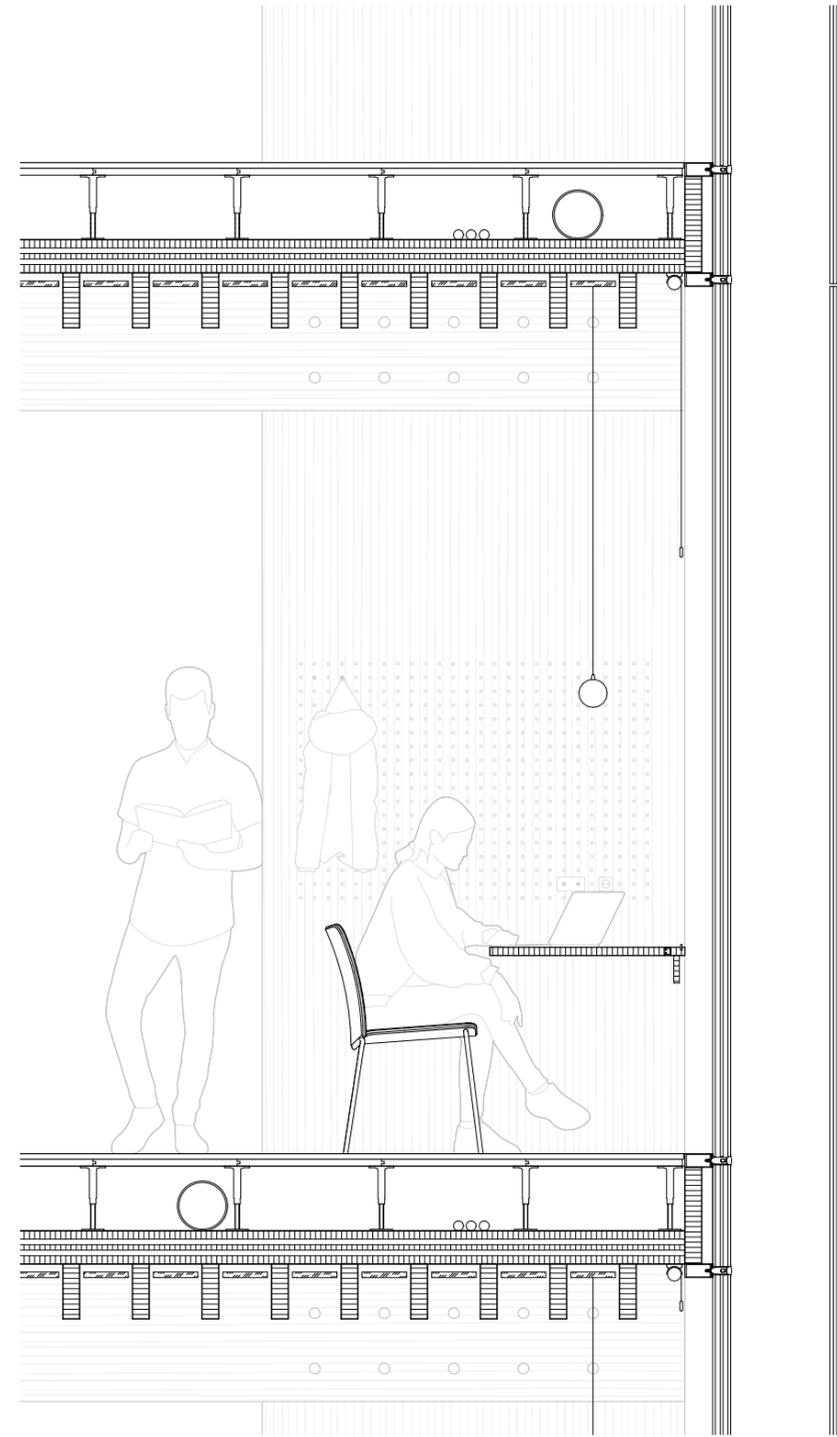


Abb. 50: Schnitt Lernkoje, M 1:25



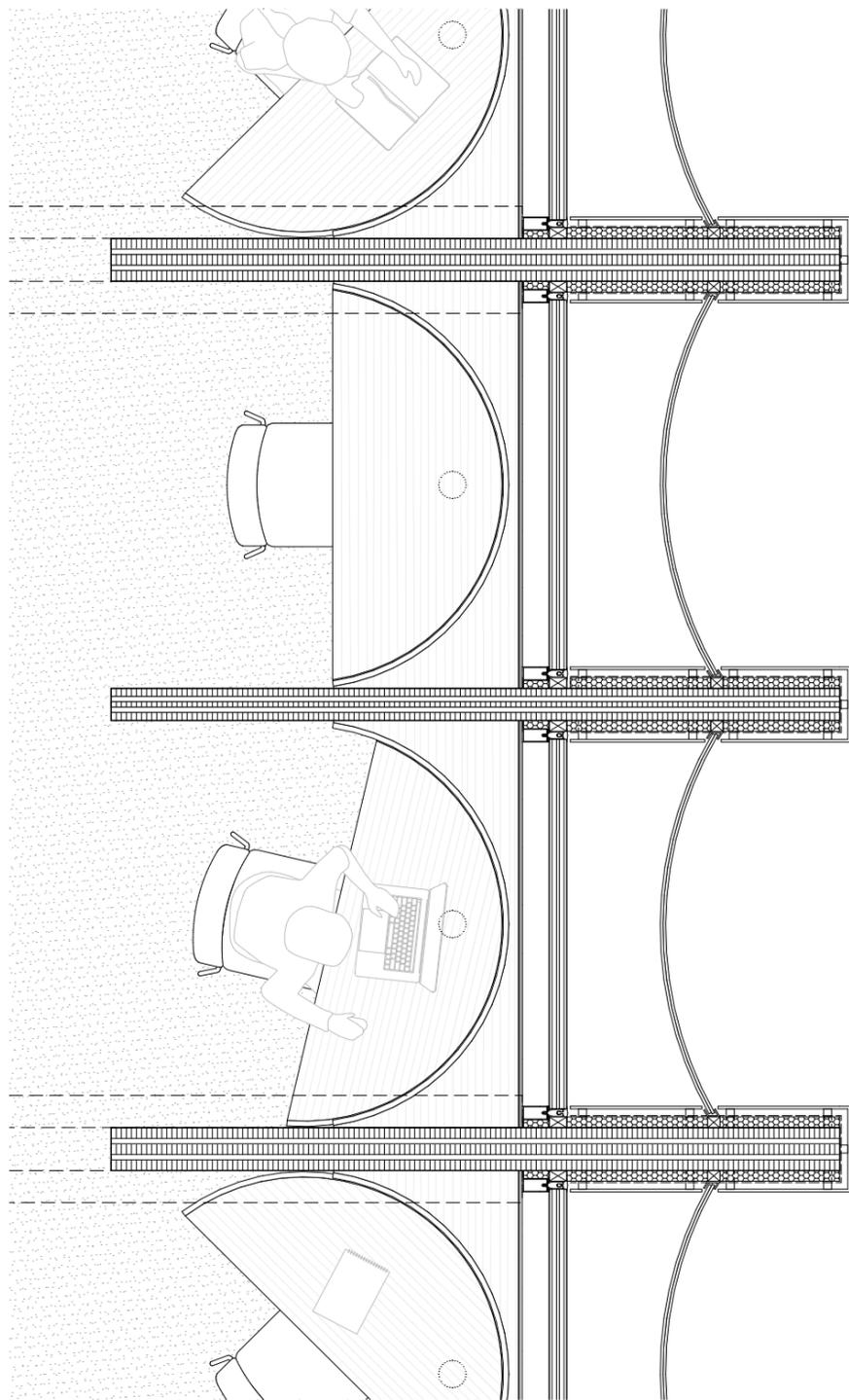


Abb. 51: Grundriss Lernkoje, M 1:25



LERNKOJEN

642 Einzelarbeitsplätze stehen den Nutzern unter anderem im neuen Lernzentrum zur Verfügung - annähernd doppelt so viele wie im weit entfernten Großen Lesesaal der Universität Wien. Jeder einzelne Arbeitsplatz befindet sich in seiner eigenen Koje, in der ein ungestörtes Lernen und Arbeiten trotz der räumlichen Nähe zum Sitznachbar ermöglicht wird. Durch die Anordnung der Einzelarbeitsplätze am Perimeter des Lernzentrums wird zusätzlich zum akustischen Aufbau des Gebäudes der Vorteil geschaffen, dass alle Arbeitsplätze als Fensterplatz einen jeweils eigenem Ausschnitt des Wiener Rings oder des Votivpark mit der dahinter liegenden Votivkirche als Ausblick bereitstellen.

Die Kojen werden durch statisch wirksame Zugscheiben aus Brettsperrholzplatten gebildet, welche die Fassadenseite des Gebäudes abtragen. Die raue, offenporige Holzoberfläche der Trennwände ist durch eine Vielzahl an Bohrungen in Kopfhöhe akustisch wirksam und dämpft die entstehenden Geräusche. Die Montage der Tischplatte zwischen den beiden Wandscheiben ermöglicht einen freien Fußbereich, ohne störende Tischbeine. Jede Tischplatte ist durch eine Messingschiene in zwei Teile geteilt: ein verschraubter Grundteil und ein entlang der Schiene beweglicher vorderer Teil, welcher kreisförmig in beide Richtungen um jeweils bis zu 45° verdreht werden kann, um ein angenehmes Lernen und Arbeiten in den verschiedensten Sitzpositionen, auch quer zur Fensterscheibe, zu ermöglichen.

Die Fixverglasung vor den Einzelarbeitsplätzen in Kombination mit der davor stehenden konkaven Prallscheibe lassen sowohl den Verkehrslärm der vorbeifahrenden Straßenbahnen als auch der Fahrzeuge nicht ins Innere des Gebäudes dringen und bieten dennoch volle Durchsicht. Die Stadt ist somit sichtbar - aber nicht hörbar.

Jede Lernkoje ist zusätzlich zur Grundbeleuchtung der Lerngeschosse mit einer eigenen Arbeitsleuchte ausgestattet, welche individuell vom Nutzer eingeschaltet werden kann. Dadurch kann ab der Dämmerung sowie an dunkleren Tagen die aktuelle Belegung bzw. Auslastung des Lernzentrums bereits von außen abgelesen werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

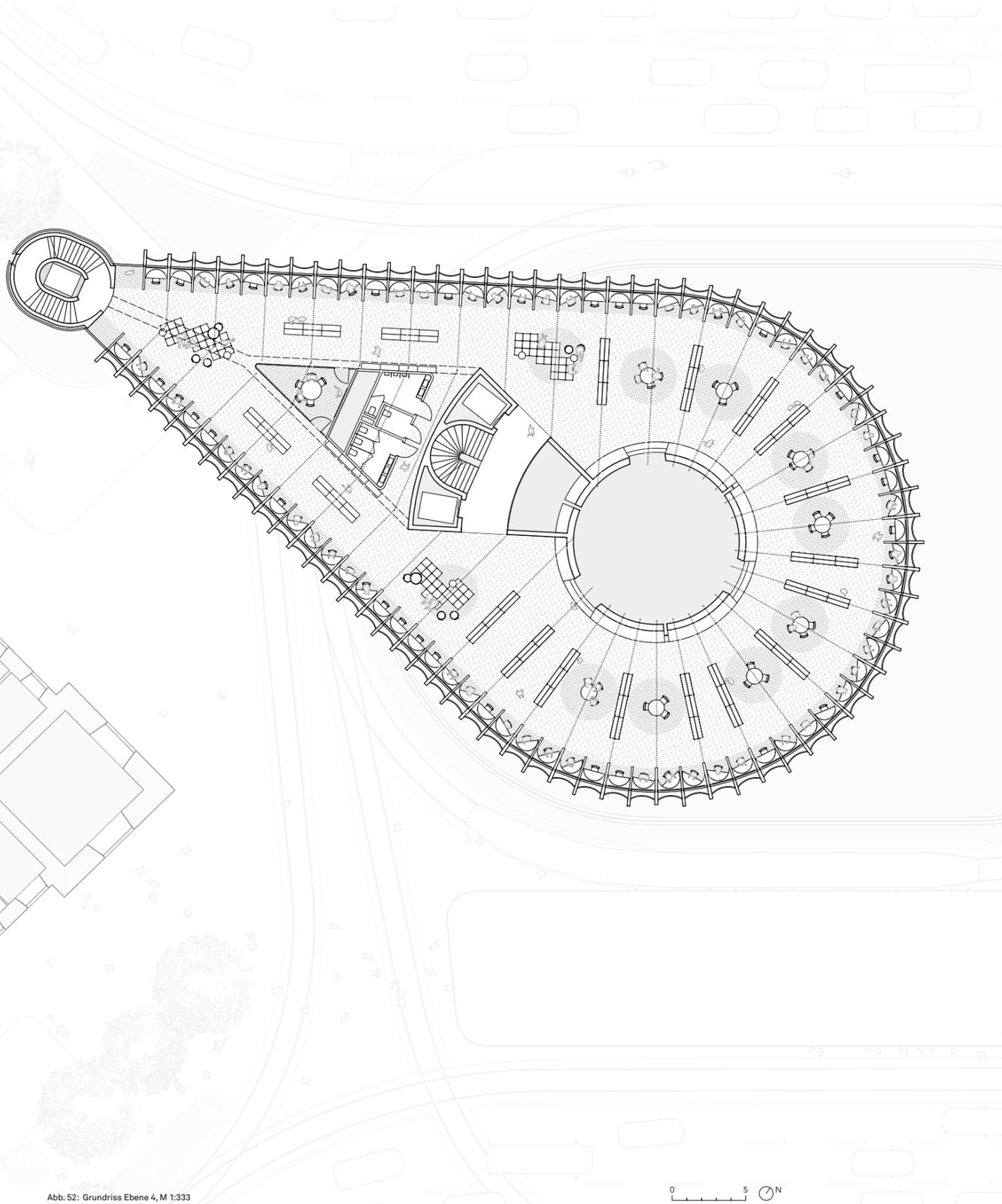


Abb. 52: Grundriss Ebene 4, M 1:333

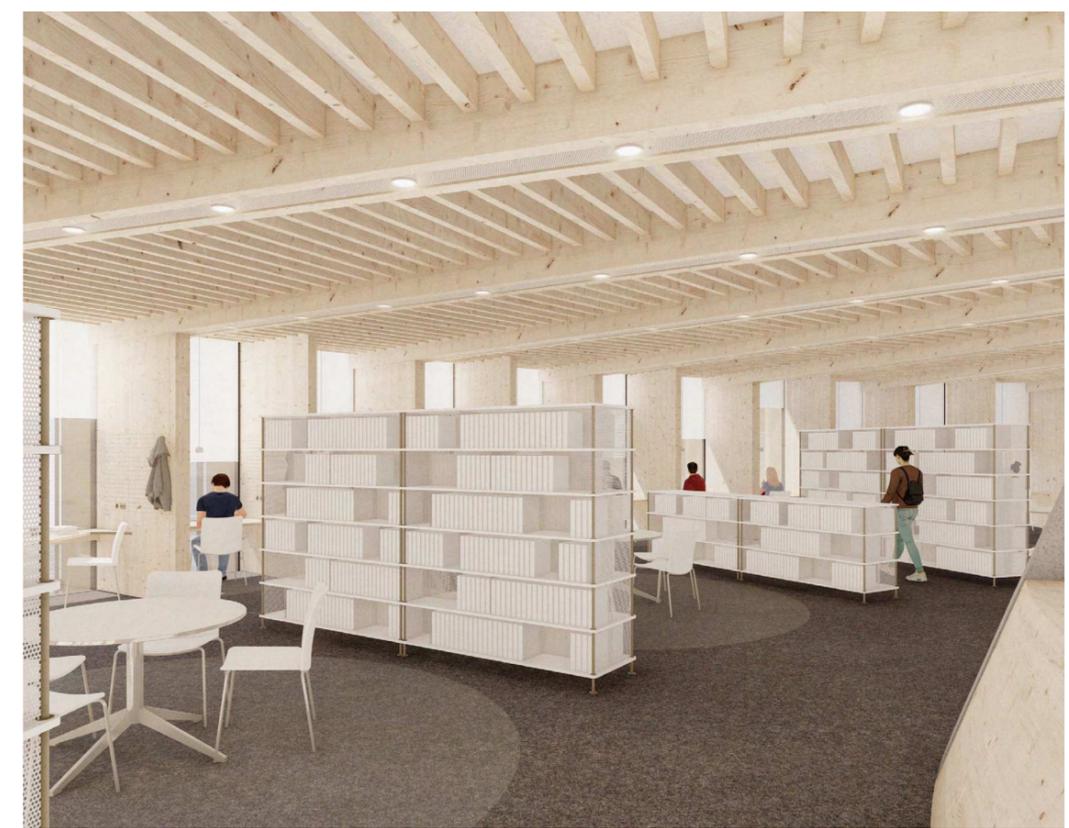


Abb. 53: Schaubild Lerngeschoss

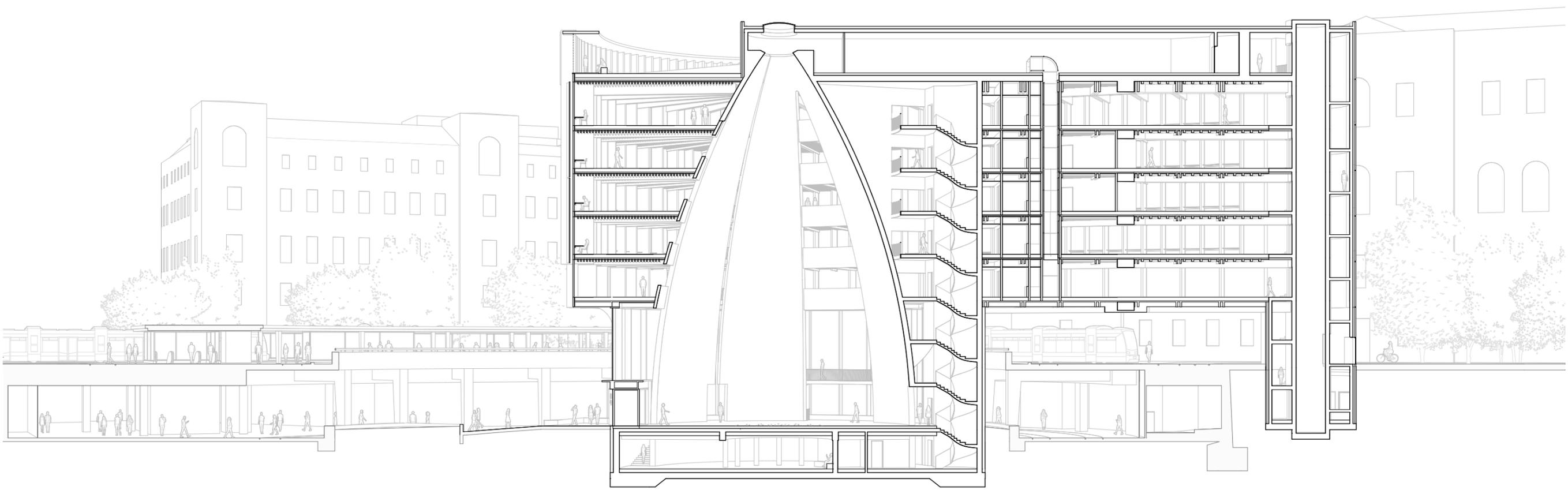
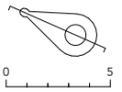


Abb. 55: Längsschnitt, M 1:333



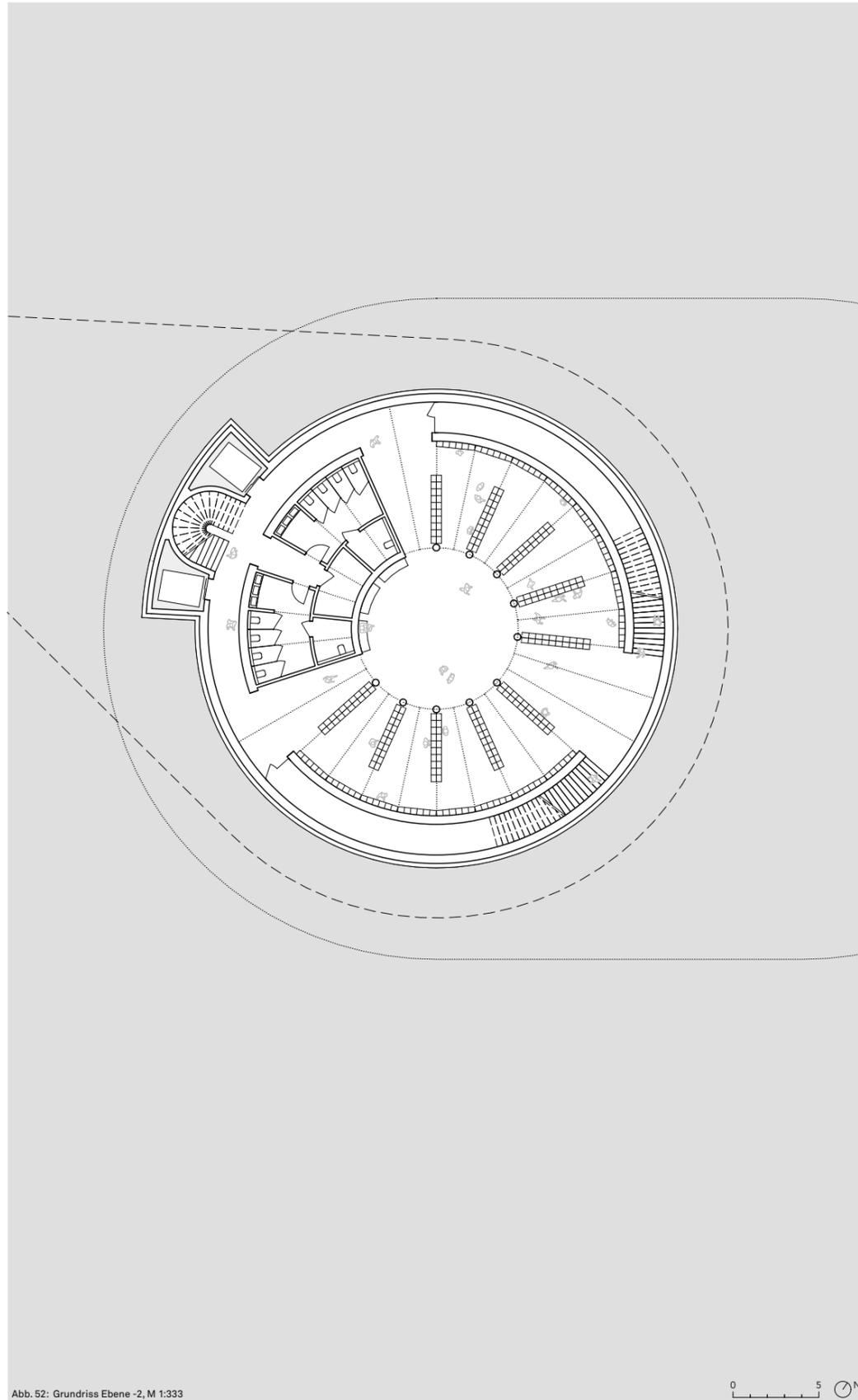


Abb. 52: Grundriss Ebene -2, M 1:333

Das haustechnische Konzept des Lernzentrums entspringt der Anforderung, dass es im Betrieb akustisch weitestgehend in den Hintergrund treten soll.

Da der Großteil des Raumvolumens in den obersten Geschossen des Gebäudes verteilt ist, befindet sich die Lüftungszentrale in der statisch wirksamen Stahlbetonpange im Dachgeschoss. Von dort aus wird die aufbereitete und, wenn erforderlich, klimatisierte Frischluft über einen großen Schacht nach unten in die Geschosse verteilt. Im Schacht befinden sich zwei Lüftungsstränge, die jeweils die Hälfte des Gebäudes versorgen, indem diese in jedem Geschoss eine Abzweigung in die jeweilige Geschossdecke aufweisen. Die Ebenen selbst werden dabei entlang der Spiegelachse des Gebäudes in 2x3 flächenmäßig annähernd gleich große Abschnitte eingeteilt und durch Zuleitungen aus dem Lüftungsstrang der jeweiligen Gebäudeseite mit Frischluft versorgt. Der Doppelboden als luftgeführter

Fußbodenaufbau in den Lerngeschossen erlaubt dann in den einzelnen Bereichen die Verteilung, wobei die Einbringung der Luft in die Lernräume über einen Quellluftboden erfolgt: über einen leichten Überdruck wird vom luftgeführten Bodenaufbau durch perforierte Belagsträger und den luftdurchlässigen Teppichböden hindurch an allen Stellen gleichzeitig eingeblasen. Dadurch entfällt die Notwendigkeit von einzelnen Lüftungsdüsen oder -lamellen, was einerseits den entstehenden Geräuschpegel bei der Frischlufteinbringung aufgrund der niedrigeren Einbringgeschwindigkeit minimiert und andererseits dadurch auch unangenehme Zugluft vermieden wird.

Die Heizungsverteilung erfolgt über eine Bauteilaktivierung der Stahlbetonbauteile der drei Schalenteile sowie des anschließenden Stiegenhauskerns. Diese Bauteile wirken bei kalten Außentemperaturen als zentrale Wärmestrahler für die Lernräume, die Restwärme wird über das Lüftungssystem eingebracht.

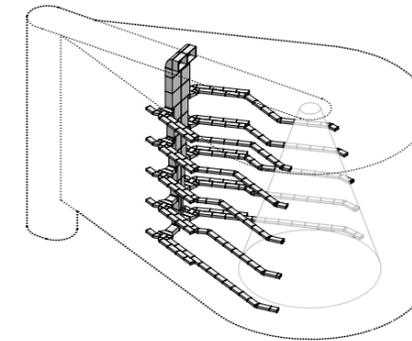


Abb. 56: Frischluftverteilung im Gebäude

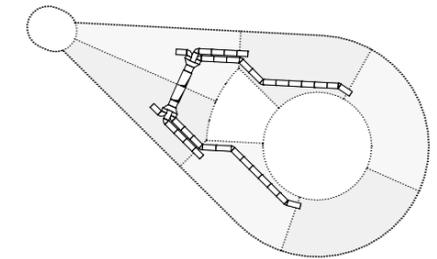


Abb. 57: Frischluftverteilung in den Geschossen



Abb. 58: Schaubild Pausenweg, Ebene +6

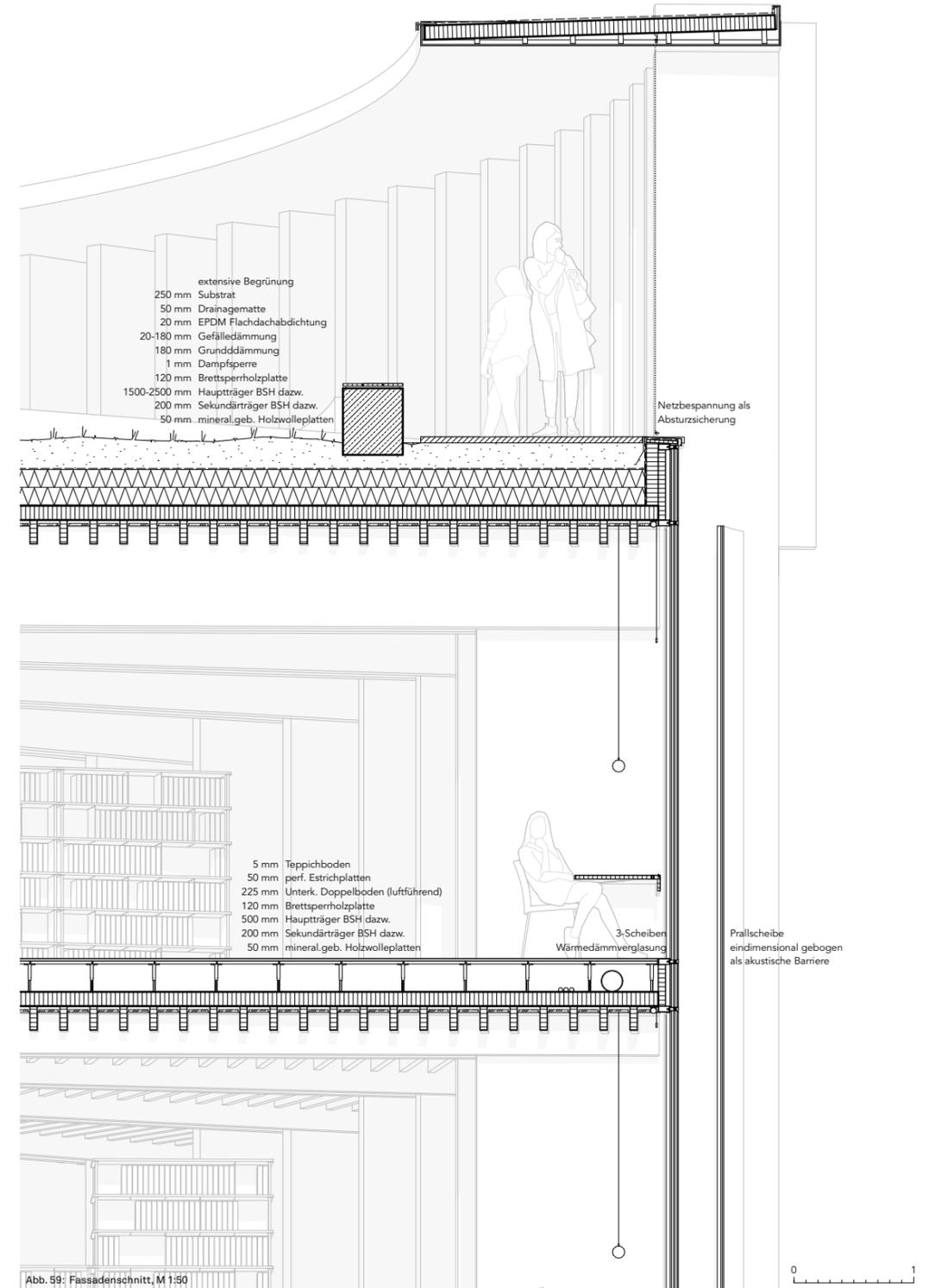


Abb. 60: Grundriss Dach, M 1:333



DACH

Die effektivste Art um die Produktivität einer Lerneinheit zu verbessern ist es, regelmäßig Pausen einzulegen. Am Dach des Lernzentrum befindet sich daher ein Rundgang, welcher es den Nutzern erlaubt, für kurze Zeit und ohne großen Aufwand aus der gewohnten Lernumgebung zu entfliehen. In der Pausenzone wird sowohl akustisch als auch visuell der größtmögliche Kontrast angestrebt, um den Effekt des gefühlten Abstand zum Lernplatz zu maximieren.

Das üppig bepflanzte Dach, welches von einem Weg am äußeren Rand des Gebäudes umkreist wird, bringt dazu die grüne Oase des Straßenbahnwende-Ovals auf ein höheres Niveau. Die lineare Wegführung entlang der eng gestellten Wandscheiben an der Außenseite verwehren dabei dem Spaziergänger bewusst die Sicht auf die Stadt: der Fokus liegt auf der akustischen Stadtkulisse und dem grünen Dachgarten im Inneren. Erst wenn die Bewegung gestoppt und auf den entlang des Weges aufgereihten Sitzbänke Platz genommen wird, geben die Scheiben einen knappen visuellen Ausschnitt der Stadt zur Beobachtung frei. Die durchgehende Überdachung des Umganges erlaubt die Benützung des Freibereiches auch bei Schlechtwetter. Die gesamte Umrundung dauert in etwa 3 Minuten, am Ende gelangen die Besucher wieder in den selben Vorraum aus dem sie gestartet sind, egal welche Richtung zu Beginn gewählt wurde, um durch das Stiegenhaus wieder zum individuellen Lernplatz zu gelangen.



Abb. 61: Schaubild Station Schottentor, Ebene 0

Fotografien, Grafiken, Pläne und Schaubilder
Michael Heiderer

Mit Ausnahme folgender Abbildungen:

- Abb. 1 Unbekannter Fotograf, 1921
Geschenk von Herbert A. French
National Photo Company Collection,
Library of Congress (USA)
- Abb. 6 Giorgio Grassi, 1985
Studies in Tectonic Culture, Kenneth Frampton
1995, MIT Press
- Abb. 10 Klaus Pichler, 2016
Wienbibliothek im Rathaus
abgerufen auf wienbibliothek.at
- Abb. 13 Universität Wien, 2013
abgerufen auf geschichte.univie.ac.at
- Abb. 15 Roland Halbe, 2014
abgerufen auf archdaily.com
- Abb. 17 Gerald Zugmann
Museum für angewandte Kunst
abgerufen auf mak.at
- Abb. 22 Hans Siegenfeld, 1960
Österreichische Nationalbibliothek
abgerufen auf kulturpool.at
- Abb. 23 Carl Ferdinand Langhans, 1810 Berlin
Ueber Theater oder Bemerkungen über
Katakustik in Beziehung auf Theater
abgerufen über Universitäts- und Landesbibliothek Münster
- Abb. 25 Simoner Otto, 1963
Österreichische Nationalbibliothek
abgerufen auf kulturpool.at

- AUINGER, ODLAND *Reflections on the Sonic Commons*. Leonardo Music Journal, Vol 19: The MIT Press, 2009
- BLESSER, SALTER *Spaces Speak, Are You Listening?* Cambridge, London: The MIT Press, 2007
- CRESSMAN *Acoustic architecture before science: the case of Amsterdam's Concertgebouw*. Maastricht University, 2016
- DREWNIG *Allgemeine Psychologie: Multisensorische Informationsverarbeitung*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2017
- ERNST, BÜLTHOFF *Merging the senses into a robust percept*. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol 8, Nr. 4: Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik Tübingen, 2004
- FASOLD, VERES *Schallschutz und Raumakustik in der Praxis*. Stuttgart: Verlag für Bauwesen, 1998
- FERREIRA, SEQUEIRA, VENTURA *Cognitive Architectures*. Lissabon: Springer Nature Switzerland, 2019
- GELLEN *Hearing Spaces: Architecture and Acoustic Experience in Modernist German Literatur*. *Modernism*, Vol. 17, Nr. 4: John Hopkins University Press, 2011
- GRÜTTER *Grundlagen der Architekturwahrnehmung*. Bern: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015
- GUSKI, *Wahrnehmen - ein Lehrbuch*. Stuttgart, Berlin, Köln: Verlag W. Kohlhammer, 1996
- LARSSON, PONTUS, VASTFJALL, DANIEL, KLEINER, MENDEL *Better Presence and Performance in Virtual Environments by Improved Binaural Sound Rendering*. 22. AES Conference, Paper Nr.000228, 2002
- LINDNER *Biologie*. J. B. Metzler Verlag, 1967
- LUSHINGTON, RUDORF, WONG *Entwurfsatlas Bibliotheken*. Basel: Birkhäuser, 2018
- MOMMERTZ, MÜLLER-BBM *Detail Praxis: Akustik und Schallschutz*. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation (Redaktion DETAIL), 2008
- NOBLE, GATES *Accuracy, latency, and listener-search behavior in localization in the horizontal and vertical planes*. *The Journal of Acoustical Society of America*, Vol 78, Nr. 6, 1985
- PALLASMAA *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1996
- PENTCHEVA *Hagia Sophia and multisensory aesthetics*. *Gesta*, Vol 50, Nr. 2: The University of Chicago Press & International Center of Medieval Art, 2011
- PÖPPEL *Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn*. Informatik-Spektrum Vol 25: Springer Verlag, 2002
- SABINE *Collected papers on acoustics*. Harvard University Press, 1922
- SCHRAGE *Erleben, Verstehen, Vergleichen: Eine soziologische Perspektive auf die auditive Wahrnehmung im 20. Jahrhundert*. *Zeithistorische Forschungen*, Online-Ausgabe, 8/ H2, 2011
- SHERIDIAN, VAN LENGEN *Hearing Architecture: Exploring and Designing the Aural Environment*. *Journal of Architectural Education*, Vol 57, Nr. 2: Taylor & Francis Ltd, Association of Collegiate Schools of Architecture, 2003
- VITRUV *Zehn Bücher über Architektur*, 9. Jahrhundert

DANKSAGUNG

Dieses Studium abzuschließen, stellt für mich das Erreichen eines Ziels dar, das ich mir vor vielen Jahren auferlegt habe. Es erfüllt mich mit Freude und Stolz, dies mit der Unterstützung aller meiner Familie und meiner Freunde nun wirklich erreicht zu haben.

Ich hatte dabei das große Glück, zu den wenigen gehören zu dürfen, die ihre Berufung schon früh genug gefunden haben, um den persönlichen Bildungsweg daran anzupassen. Diesen, von mir gewählten Weg, haben meine Eltern immer uneingeschränkt und ohne Zweifel unterstützt, was ich keinesfalls als selbstverständlich ansehe und wofür ich außerordentlich dankbar bin. Ich hoffe, ich kann euch mit diesem Schritt auch ein klein wenig stolz machen.

Als wichtigste Errungenschaft meines Studiums sehe ich die Menschen an, die ich dabei kennen und schätzen lernen durfte. Ohne das Studium wäre Anna nicht bei mir, der ich hier einen besonders großen Dank für ihre unermüdliche Unterstützung und stetige Begleitung, vor allem in den letzten Monaten, aussprechen möchte - du bist wirklich die Beste.

Das Glück zu haben, nach der gemeinsamen Schulzeit nun auch das Architekturstudium mit Lukas gemeinsam abzuschließen zu dürfen, schätze ich genauso wie unsere Freundschaft wirklich enorm. Ich hoffe, wir können noch lange weiter gemeinsam wachsen.

Sowohl für den fachlichen und durchaus kritischen Austausch als auch für die dabei entstandene, enge Freundschaft möchte ich mich auch bei Manuel, als einem der wichtigsten Wegbegleiter während meines Studiums und auch hoffentlich weiterhin, bedanken.

Vor allem zu Beginn und nun auch am Ende meiner Ausbildung hat mich Ivica durch seine fordernde, jedoch unglaublich wertvolle Betreuung und professionelle Begleitung dieser Arbeit geprägt, wofür ich sehr dankbar bin.

Abschließend möchte ich Lukas für das professionelle Lektorat meiner Texte einen großen Dank aussprechen. Ich bin froh, immer auf dich zählen zu können.