

HAW Hamburg
Fakultät Elektro-, Medien- und Informationstechnik
Zeitabhängige Medien / Sound – Vision

Masterarbeit

Entwicklung einer KI-basierten
Fachplanung in der Beschallungstechnik.

Erstprüfer: Robert Mores
Zweitprüfer: Marco Grimm

Vorgelegt von:

Jan Köpcke

[REDACTED]

Matrikelnummer:

E-Mail:

Telefon:

Abgabe: 03.02.2026

Wintersemester 2025/26

Kurzfassung

Es wird untersucht, wie sich die Planung von Beschallungssystemen im Hospitality-Bereich durch KI vereinfachen und beschleunigen lässt, ohne den Anspruch fachlicher Plausibilität zu verlieren. Ziel ist es, bereits in der Akquisephase eine belastbare Kostenschätzung aufzustellen, die typische Unsicherheiten der Vorplanung berücksichtigt und zugleich den Aufwand der manuellen Angebotserstellung reduziert. Dafür wird ein regelbasiertes Planungsschema entwickelt, das technische Bedingungen wie Zonenlogik, Lautsprecher- und Verstärkerdimensionierung und Systemtopologie in strukturierte Eingaben überführt und mit einem Large-Language-Model in Form eines Custom GPT in eine automatisierte Stücklisten- und Kostenschätzung umwandelt. Die Vorgehensweise kombiniert eine einheitliche Datengrundlage aus technischen Komponenten und Preisen mit reproduzierbaren Berechnungs- und Zuordnungsregeln. Der Ansatz wird anhand von Referenzprojekten aus der Praxis validiert, indem die geschätzten Kosten sowie die Planungsentscheidungen mit den Ergebnissen einer realen Fachplanung gegenübergestellt werden. Die Resultate zeigen, dass sich mit dem entwickelten Ansatz als vorgelagertes Planungswerkzeug automatisiert nachvollziehbare Preisspannen erzeugen lassen, die für die frühe Entscheidungsphase von Projekten geeignet sind.

Abstract

The project investigates how AI can simplify and accelerate the planning of sound systems in the hospitality sector without compromising technical plausibility. The aim is to produce a reliable cost estimate during the acquisition phase that considers the typical uncertainties of preliminary planning while reducing the effort involved in manual quotation preparation. To this end, a rule-based planning scheme is being developed that converts key technical conditions such as zone logic, loudspeaker and amplifier dimensioning, and system topology into structured inputs and uses a large language model in the form of a custom GPT to convert them into an automated parts list and cost estimate. The approach combines a uniform data basis of technical components and prices with reproducible calculation and allocation rules. The approach is validated using reference projects from practice, in which the estimated costs and planning decisions are compared with the results of real technical planning. The results show that the developed approach can be used as an upfront planning tool to automatically generate comprehensible price ranges that are suitable for the early decision-making phase of projects.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	IV
TABELLENVERZEICHNIS.....	V
1. EINLEITUNG.....	1
1.1. PROBLEMSTELLUNG UND FORSCHUNGSFRAGE	1
1.2. ZIEL DER ARBEIT UND HYPOTHESEN	3
1.3. AUFBAU DER ARBEIT	4
2. GRUNDLAGEN VON BESCHALLUNGSSYSTEMEN IM HOSPITALITY-BEREICH.....	5
2.1. DIE ROLLE VON HINTERGRUNDMUSIK	5
2.2. TECHNISCHE UND NORMATIVE GRUNDLAGEN DER BESCHALLUNG	6
2.3. LAUTSPRECHERPLANUNG.....	8
2.4. VERSTÄRKERBERECHNUNG.....	9
2.5. MATRIX- UND STEUERUNGSSYSTEME	10
2.6. BESTEHENDE ANSÄTZE ZUR KOSTENSCHÄTZUNG IN DER BESCHALLUNGSPLANUNG	11
3. METHODIK UND KONZEPTION DES CUSTOM GPT	13
3.1. AUSWAHL DES KI-ANSATZES	14
3.2. AUFBAU UND ARBEITSWEISE DES CUSTOM GPT	16
3.2.1. Kriterien für die Lautsprecherplanung.....	19
3.2.2. Kriterien für die Verstärkerplanung.....	23
3.2.3. Kriterien für die Matrix/Steuerzentrale	24
3.2.4. Kriterien für Steuer- und Inputmodule	25
3.2.5. Kriterien zur Aufwandsschätzung.....	26
3.2.6. Kriterien zur Kostenschätzung.....	27
3.2.7. Aufbau der Wissensdatenbank.....	29
3.3. BEWERTUNGSMETHODEN.....	30
3.3.1. Auswahl und Nutzung von Testprojekten.....	31
3.3.2. Quantitative Bewertungsmethode.....	33
3.3.3. Qualitative Bewertungsmethode	33
4. DURCHFÜHRUNG UND IMPLEMENTIERUNG DES CUSTOM GPT	35
4.1. UMSETZUNG DES CUSTOM GPT	35
4.1.1. Integration der Lautsprecherlogik.....	39
4.1.2. Integration der Verstärkerlogik.....	42
4.1.3. Integration der Matrix-/Steuerlogik.....	44
4.1.4. Integration der Steuer-/Inputmodule	44
4.1.5. Umsetzung der Aufwandsschätzung	45

4.1.6.	<i>Umsetzung der Kostenschätzung</i>	46
4.1.7.	<i>Implementierung der Wissensdatenbank</i>	48
4.2.	VALIDIERUNG, BEWERTUNG UND ERGEBNISSE	49
4.2.1.	<i>Quantitative Bewertung anhand der geschätzten Kosten</i>	50
4.2.2.	<i>Qualitative Bewertung anhand der geplanten Komponenten</i>	55
4.2.3.	<i>Ergebnisse: Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothesen</i>	58
5.	DISKUSSION	60
5.1.	AUSSAGEKRAFT UND GRENZEN DER KI-BASIERTEN PLANUNGSMETHODE	60
5.2.	VERGLEICH MIT ALTERNATIVEN AUS DER PRAXIS	61
5.3.	IMPLIKATIONEN FÜR DIE BESCHALLUNGSPLANUNG IM HOSPITALITY-BEREICH	63
6.	FAZIT UND AUSBLICK	65
	LITERATURVERZEICHNIS	67
	ANHANG	69
A.	ALLGEMEINER HINWEISTEXT FÜR DAS CUSTOM GPT	69
B.	SPEZIFISCHE AUFGABENTEXTE FÜR DAS CUSTOM GPT	71
C.	TABELLEN AUS DER WISSENSDATENBANK DES CUSTOM GPT	88
D.	AUSGEWÄHLTE PROMPTS ZUM TESTEN DES CUSTOM GPT	93
E.	AUSGEWÄHLTE ANTWORTEN DES CUSTOM GPT	98

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER REGELARCHITEKTUR	19
ABBILDUNG 2: BENUTZEROBERFLÄCHE DER ARBEITSUMGEBUNG FÜR DIE ERSTELLUNG EINES CUSTOM GPT	36
ABBILDUNG 3: EASE-SIMULATION ZUR SCHALLABDECKUNG: DECKENHÖHE $Z = 2,5$ M UND 8 LAUTSPRECHER	40
ABBILDUNG 4: EASE-SIMULATION ZUR SCHALLABDECKUNG: DECKENHÖHE $Z = 3,0$ M UND 6 LAUTSPRECHER	40
ABBILDUNG 5: EASE-SIMULATION ZUR SCHALLABDECKUNG: DECKENHÖHE $Z = 4,0$ M UND 4 LAUTSPRECHER	41
ABBILDUNG 6: VERGLEICH VON GESCHÄTZTEN KOSTEN (MITTELWERTE) MIT DEN REFERENZANGEBOTEN PRO KOSTENBLOCK FÜR ALLE PROJEKTE.....	55

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: RICHTWERTE FÜR $L(A)$, EQ UND $L(A)$, 1 FÜR VERSCHIEDENE BETRIEBSCHARAKTERISTIKA	7
TABELLE 2: VERGLEICH VON GESCHÄTZTEN KOSTEN MIT DEN REFERENZANGEBOTEN PRO KOSTENBLOCK FÜR DAS PROJEKT „ME AND ALL HOTEL BERLIN“	52
TABELLE 3: VERGLEICH VON GESCHÄTZTEN KOSTEN MIT DEN REFERENZANGEBOTEN PRO KOSTENBLOCK FÜR DAS PROJEKT "DER PLAYER"	53
TABELLE 4: VERGLEICH VON GESCHÄTZTEN KOSTEN MIT DEN REFERENZANGEBOTEN PRO KOSTENBLOCK FÜR DAS PROJEKT "DAS LOKAL"	54
TABELLE 5: LAUTSPRECHERLISTE (AUSZUG).....	88
TABELLE 6: VERSTÄRKERLISTE.....	89
TABELLE 7: MATRIXLISTE.....	90
TABELLE 8: STEUER-INPUTLISTE.....	91
TABELLE 9: AUFWANDSLISTE.....	92
TABELLE 10: LAUTSPRECHERPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "ME AND ALL HOTEL BERLIN"	98
TABELLE 11: VERSTÄRKERPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "ME AND ALL HOTEL BERLIN"	99
TABELLE 12: MATRIXPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "ME AND ALL HOTEL BERLIN"	100
TABELLE 13: STEUER- UND INPUTMODULPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "ME AND ALL HOTEL BERLIN"	100
TABELLE 14: AUFWANDSPANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "ME AND ALL HOTEL BERLIN"	101
TABELLE 15: LAUTSPRECHERPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DER PLAYER"	102
TABELLE 16: VERSTÄRKERPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DER PLAYER"	103
TABELLE 17: MATRIXPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DER PLAYER"	104
TABELLE 18: STEUER- UND INPUTMODULPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DER PLAYER"	104
TABELLE 19: AUFWANDSPANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DER PLAYER"	105
TABELLE 20: LAUTSPRECHERPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DAS LOKAL"	106
TABELLE 21: VERSTÄRKERPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DAS LOKAL"	107
TABELLE 22: MATRIXPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DAS LOKAL"	108
TABELLE 23: STEUER- UND INPUTMODULPLANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DAS LOKAL"	108
TABELLE 24: AUFWANDSPANUNG DES CUSTOM GPT FÜR DAS PROJEKT "DAS LOKAL"	109

1. Einleitung

Um den Nutzen der vorliegenden Arbeit einordnen zu können, ist zunächst die Rolle von Hintergrundmusik und Beschallungskonzepten im Hospitality-Bereich zu betrachten. In der Hotellerie, der Gastronomie und im Einzelhandel ist sie ein wesentlicher Bestandteil der Atmosphäre. Sie beeinflusst maßgeblich die Aufenthaltsqualität, prägt die unterbewusste Markenwahrnehmung und kann das Kauf- und Konsumverhalten von Kunden und Gästen mitsteuern. Heutzutage gibt es hierzu nicht nur qualitative Einschätzungen, sondern auch konkrete Untersuchungen. Die im Auftrag der GEMA durchgeführte „Music Impact Studie“ weist beispielsweise einen messbaren wirtschaftlichen Effekt nach. Demnach steigt der Umsatz im Einzelhandel mit sinnvoll eingesetzter Hintergrundmusik im Durchschnitt um 8 % und in der Gastronomie um 5,4 % (GEMA, 2025)

Damit rückt zwangsläufig die technische Seite in den Mittelpunkt. Die Wirkung von Musik hängt stark von ihrer Wiedergabequalität ab. Eine unangemessen geplante oder qualitativ unzureichende Beschallungsanlage kann das Hörerlebnis beeinträchtigen und damit genau jene Effekte negativ beeinflussen, die durch den gezielten Einsatz von Musik erreicht werden sollen. Für Betreiber entsteht daraus ein direkter Zusammenhang: Wenn Musik zur Prägung der Atmosphäre und als wirtschaftlicher Faktor eingesetzt werden soll, muss auch die technische Infrastruktur so ausgelegt sein, dass sie diese Rolle zuverlässig erfüllt. Hier kommt die professionelle Fachplanung von Beschallungssystemen ins Spiel.

1.1. Problemstellung und Forschungsfrage

In vielen medientechnischen Fachplanungsfirmen, die sich auf Beschallungstechnik spezialisiert haben, sind die Planungsprozesse von hohen Qualitätsansprüchen, normativen und technischen Vorgaben, sowie knappen Planungsressourcen geprägt. Bereits in frühen Projektphasen erwarten Auftraggeber belastbare Kostenschätzungen, obwohl zu diesem Zeitpunkt wesentliche Planungsdetails noch fehlen oder nur in Form grober Rahmenparameter vorliegen. In der Praxis führt dies häufig zu einem Dilemma: Ohne eine ausreichende technische Planung ist eine seriöse Angebotserstellung nahezu unmöglich. Gleichzeitig ist der Aufwand für eine belastbare Fachplanung so hoch, dass er insbesondere in frühen Akquisephase nicht immer im Verhältnis zur Wahrscheinlichkeit einer Beauftragung steht. Ein internationaler Benchmarkreport über Ausschreibungsprozesse und Angebotsphasen zeigt eine durchschnittliche Beauftragungsrate im Technologiesektor

(Hardware und IT) von 45 % (Loopio, 2025). Das heißt über die Hälfte des Fachplanungsaufwands im Zuge der Angebotserstellung ist nicht gewinnbringend. Für viele Planungsunternehmen stellt dieser Umstand ein großes wirtschaftliches Problem dar.

Eine belastbare technische Planung wird normalerweise von Fachplanern in mehreren komplexen Schritten und mit hohem Zeitbedarf bearbeitet. Denn in vielen Projekten entstehen hohe planerische Anforderungen an Musik- und Lautsprechersysteme, da unterschiedliche Zonen gezielt, getrennt und nutzungsabhängig versorgt und gesteuert werden müssen. Dafür werden Begehungstermine vor Ort durchgeführt, Bestandsaufnahmen gemacht, Simulationen erstellt und viele technische Abhängigkeiten bedacht: Welche Lautsprechertypen sind für Raumgeometrie, Deckenaufbau, Nutzungsszenario und Zielpiegel geeignet? Welche Stückzahlen eignen sich und wie wirkt sich dies auf die Verstärkerdimensionierung aus? Welche Steuerungsarchitektur passt zur Anzahl der Zonen? Wie hoch sind die Aufwände von Montage und Inbetriebnahme und welche Sicherheitszuschläge müssen bei der Planung bereits einkalkuliert werden?

Die vorliegende Arbeit setzt an dieser Stelle an und untersucht, inwiefern ein KI-basiertes System die typischen Planungsschritte einer Beschallungsfachplanung so abbilden kann, dass bereits frühzeitig eine belastbare Kostenschätzung möglich wird, ohne vorab in einen hohen Planungsaufwand zu investieren. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung eines KI-basierten Planungstools, das anhand einiger konkreter Eingangsparameter einen strukturierten Planungs- und Kostenschätzungsprozess ausführt. Ziel ist hierbei nicht, die vollständige Fachplanung zu ersetzen, sondern die Angebotserstellung in der Akquisephase deutlich zu beschleunigen und eine realistische Preisspanne zu liefern. Daraus ergeben sich zwei Forschungsfragen:

F1: Inwiefern lassen sich die grundlegenden Schritte einer Fachplanung in der Beschallungstechnik durch ein KI-basiertes System zuverlässig durchführen?

F2: In welchem Maß stimmen die mit dem KI-basierten Ansatz geschätzten Kosten mit den in einer manuellen Fachplanung ermittelten Kosten überein?

1.2. Ziel der Arbeit und Hypothesen

Ziel der Arbeit ist die Konzeption und prototypische Umsetzung eines KI-basierten Planungstools in Form eines personalisierten KI-Sprachmodells (Custom GPT) zur vereinfachten Fachplanung und einer daraus resultierenden Kostenschätzung. Im Fokus steht eine praxisnahe Abbildung der Planungsschritte, wie sie in der frühen Projekt- bzw. Akquisephase typischerweise stattfinden. Der Prototyp soll sich an nachvollziehbaren Regeln und etablierten Vorgehensweisen orientieren. Dadurch sollen die Ergebnisse konsistent und prüfbar sein und in der Realität als solide Grundlage für eine anschließende händisch durchgeführte Fachplanung dienen. Zudem soll die Eignung des Tools für den Einsatz in einem echten Fachplanungsunternehmen diskutiert werden.

Die Arbeit verfolgt damit zwei eng miteinander verknüpfte Ziele. Erstens wird untersucht, ob ein Large-Language-Model in Form eines Custom GPT in der Lage ist, eine fachliche Planungslogik über mehrere Schritte hinweg stabil auszuführen und technische Abhängigkeiten plausibel abzuleiten (z. B. von Lautsprecherstückzahlen zu Verstärkerkanälen und Leistungsreserven oder von Zonenanforderungen zur passenden Steuerungsarchitektur). Zweitens wird geprüft, ob die daraus entstehende Kostenschätzung hinsichtlich ihrer Genauigkeit für die Akquisephase geeignet ist und eine Preisspanne liefert, die in der Praxis als Entscheidungsgrundlage dient. Auf Basis dieser Zielsetzung werden folgende Hypothesen formuliert:

H1: Ein KI-basiertes System kann die wesentlichen Schritte einer Fachplanung in der Beschallungstechnik zuverlässig durchführen, indem es die technischen Komponenten anhand praxisüblicher Regeln und Herangehensweisen den Projektanforderungen zuordnet.

H2: Die in der KI-basierten Fachplanung geschätzten Kosten weichen für jedes getestete Projekt nicht mehr als 20 % von den in einer manuellen Fachplanung ermittelten Kosten ab.

Die Hypothesen sind so gewählt, dass sie zum einen eine qualitative Bewertung hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Planungslogik und der Konsistenz der Ergebnisse ermöglicht und zum anderen eine quantitative Bewertung in Bezug auf die Kostenschätzung durchgeführt werden kann.

1.3. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist so aufgebaut, dass zunächst einige fachliche und technologische Grundlagen geschaffen werden, bevor Methodik, Umsetzung und Bewertung des Custom GPT dargestellt werden. Zu Beginn werden in Kapitel 2 die Grundlagen der Beschallungsplanung im Hospitality-Kontext erläutert. Dazu zählen die Rolle von Hintergrund- und Vordergrundbeschallung in typischen Nutzungsszenarien, technische und normative Vorgaben sowie zentrale Planungsbausteine wie zum Beispiel Kriterien der Lautsprecherwahl, der Verstärkerdimensionierung und die Bedeutung von Signalführung und Steuerung. Ergänzend werden einige Grundlagen zur künstlichen Intelligenz behandelt. Im Mittelpunkt stehen dabei die Large-Language-Models als Klasse von KI-Systemen und deren Funktionsprinzipien. Zudem wird die Wahl zwischen Open-Source-Ansätzen und proprietären Plattformen begründet.

Darauf aufbauend beschreibt Kapitel 3 die Methodik und Konzeption. Hier wird der Aufbau des Custom GPT nachvollziehbar entwickelt und es werden übergeordnete Herangehensweisen an die Arbeit mit KI-Sprachmodellen dargestellt: Welche Eingangsparameter werden benötigt, wie sind die Arbeitsschritte strukturiert und wie wird sichergestellt, dass das System über mehrere Schritte hinweg konsistent bleibt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Einbettung von Wissen aus der Praxis in Form von Regeln und Entscheidungslogiken, damit die Material- und Aufwandsplanungen reproduzierbar und methodisch begründbar sind.

Kapitel 4 stellt die Durchführung und Implementierung dar. Es beschreibt die tatsächliche Umsetzung des Custom GPT sowie die dabei auftretenden Herausforderungen: Grenzen beim Befolgen von Regeln, Ungenauigkeiten und typische Fehlerbilder.

Anschließend werden die Ergebnisse in Kapitel 5 in einer Diskussion eingeordnet. Das System wird mit Alternativen verglichen und es wird der klassischen manuellen Planung gegenübergestellt. Zudem werden die Aussagekraft, die Grenzen und mögliche Einsatzgebiete einer KI-basierten Methode in der Wirtschaft herausgearbeitet.

2. Grundlagen von Beschallungssystemen im Hospitality-Bereich

Dieses Kapitel schafft eine allgemeine Übersicht zur Planung von Beschallungssystemen im Hospitality-Bereich, um die Konzeption und die Bewertung des in dieser Arbeit entwickelten Custom GPT einzuordnen. Es erklärt die Hauptbestandteile einer frühen Fachplanung von der Rolle der Hintergrundmusik als atmosphärischen und wirtschaftlichen Faktor bis hin zu technischen und normativen Rahmenbedingungen. Darauf aufbauend werden bestehende Ansätze zur Kostenschätzung in der Beschallungsplanung dargestellt, um den gewählten Ansatz im späteren Verlauf methodisch einordnen und gegenüber gängigen Verfahren abgrenzen zu können.

Die Beschallungsplanung orientiert sich stark an der späteren Nutzung und an den baulichen Rahmenbedingungen. Bereits zu Anfang müssen diverse grundlegende Entscheidungen getroffen werden, wie zum Beispiel zur Zonierung, zum Leistungsbedarf, zur Systemarchitektur und zu den Komponenten der Steuerung. Da diese technischen Entscheidungen immer aus dem Nutzungskontext abgeleitet werden, beginnt die Einordnung zunächst mit der Rolle von Hintergrundmusik und mit der Frage, warum Musik im Hospitality-Betrieb überhaupt ein relevanter Gestaltungs- und Erfolgsfaktor ist. Anschließend werden die relevanten technischen Planungsgrundlagen zusammengefasst, um einen fachlichen Bezug für die später abgeleiteten Regeln im Custom GPT-Ansatz zu schaffen.

2.1. Die Rolle von Hintergrundmusik

Eine angenehme Hintergrundmusik ist in Hotels, Gastronomiebetrieben und Geschäften ein wichtiges Gestaltungsmittel der Atmosphäre. Zahlreiche Studien belegen, dass passende Musik im Hintergrund das Wohlbefinden der Gäste steigert und ihr Verhalten beeinflusst. Mit der eingangs erwähnten Music Impact Studie der GEMA konnten neben der prozentualen Steigerung des Umsatzes noch weitere Effekte verdeutlicht werden. In der Studie wurden über 200 Standorte jeweils eine Woche mit und ohne Musik verglichen. Umfragen vor Ort zeigen, dass die Musik die Stimmung der Kunden verbessert und insbesondere in Restaurants die Verweildauer der Gäste verlängert. Auch auf das Personal wirkt sich Musik positiv aus. Sie erhöht die Motivation und die Bindung der Mitarbeiter spürbar. Entsprechend betrachten über 90 % der Gastronomen Musik heute als festen Bestandteil ihres Betriebes (GEMA, 2025). Über die monetären Effekte hinaus beeinflusst Musik das Konsumverhalten in vielfacher Hinsicht. Gäste wählen Lokale auch gezielt wegen

der dort gespielten Musik, um die Atmosphäre zu genießen, was wiederum den Konsum fördert, wie eine weitere Umfrage zeigte (Georgi, 2017). Unterschiedliche musikalische Parameter können das Verhalten steuern. Langsame, beruhigende Musik lässt Kunden länger im Laden verweilen und mehr kaufen, während schnelle Musik das Tempo erhöht. In einem klassischen Experiment aus den USA wurde bereits 1982 beobachtet, dass langsame Hintergrundmusik in einem Supermarkt die durchschnittliche Verweildauer verlängerte und der Umsatz um etwa 38 % höher lag als mit schneller Musik (Milliman, 1982). Zudem konnte herausgefunden werden, dass das in Restaurants gespielte Musikgenre ebenfalls Einfluss auf die Ausgaben hat. So wählen Gäste bei klassischer Musik im Hintergrund tendenziell eher teurere Speisen, was den Umsatz steigerte (Newtec Audio, 2024). Insgesamt gilt, dass gezielt eingesetzte Hintergrundmusik die Stimmung positiv beeinflusst und so das Kundenerlebnis und die Kaufbereitschaft steigert. Die musikalische Gestaltung wirkt jedoch erst dann als Atmosphären- und Umsatzfaktor, wenn sie im Raum auch in einer entsprechenden Qualität gehört werden kann, was direkt zum Thema der technischen Umsetzung führt.

2.2. Technische und normative Grundlagen der Beschallung

Die Planung von Beschallungssystemen erfordert zunächst ein Verständnis der raumakustischen Gegebenheiten und der technischen Kenngrößen. In stark verhallten Räumen ist es beispielsweise schwierig, eine gute Sprachverständlichkeit zu erreichen. Entscheidend ist ein hoher Anteil an Direktschall gegenüber dem Diffusschall. Ein grundlegendes Konzept ist dabei der Hallradius: Ein bestimmter Abstand vom Lautsprecher, bei dem Direktschall- und Diffusschallpegel gleich groß sind. Innerhalb dieses Hallradius dominiert der Direktschall, während jenseits davon der Klang verwaschener erscheint (Weinzierl, 2008). Die DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen" gibt Empfehlungen zur Gestaltung der Raumakustik und Nachhallzeiten, um in bestimmten Räumen ausreichende Sprachverständlichkeit zu gewährleisten. In vielen Fällen müssen daher bauakustische Maßnahmen wie Absorber oder akustische Deckensegel mit eingeplant werden, damit die elektroakustische Anlage effektiv arbeiten kann (DIN Deutsches Institut für Normung, 2016).

Bei der Planung einer elektroakustischen Anlage werden zunächst die Nutzungsziele wie zum Beispiel Hintergrundmusik, Vordergrundmusik oder Sprachdurchsagen und die dafür erforderlichen Schallpegel definiert. Diese Zielpiegel richten sich meist nach dem Umgebungsgeräuschpegel und dem Anwendungsfall. Für Sprachdurchsagen und

Alarmierung ist zum Beispiel gefordert, dass das Signal den Umgebungspegel um mindestens 15 dB übersteigt oder absolut mindestens 65 dB(A) erreicht. Für Hintergrundmusik hingegen darf der Pegel deutlich niedriger ausfallen, um eine angenehme Atmosphäre zu schaffen. Eine österreichische Richtlinie definiert Hintergrundmusik beispielsweise mit einem Richtwert von 65 dB und empfiehlt, die Beschallungsanlage so einzustellen, dass rosa Rauschen im Raum einen Pegel von ca. 58 dB(A) ergibt (Umweltbundesamt Wien, 2000). Zudem sind weitere Richtwerte aus dieser Richtlinie für die verschiedenen Betriebsarten einer Musikanlage in Tabelle 1 dargestellt. Im Gastronomiebereich gilt zudem als Faustregel, dass die Gesamtlautstärke inklusive Gesprächslärm etwa 55 dB(A) nicht überschreiten sollte, damit sich Gäste noch in normaler Lautstärke unterhalten können (Odeon, 2025). Überschreitet der Pegel diesen Wert deutlich, müssen Gäste ihre Stimmen erheben, was die Geräuschspirale weiter antreibt. Dies wird mit dem Lombard-Effekt beschrieben. Folglich sollte die Hintergrundbeschallung im Alltagsbetrieb eher dezent ausgelegt werden.

Nach der Anpassung der raumakustischen Parameter auf ein geeignetes Maß und der Festlegung der erforderlichen Beschallungspegel je nach Nutzung werden nun passende Lautsprecherstandorte gewählt, um ein gleichmäßiges Klangfeld mit ausreichendem Direktschallanteil zu erzielen. Insgesamt gilt es, Technik und Raumakustik so in Einklang zu bringen, dass Klangqualität und Verständlichkeit im gesamten beschallten Bereich entsprechend der Betriebsart gewährleistet sind.

Tabelle 1: Richtwerte für $L(A)_{eq}$ und $L(A)_1$ für verschiedene Betriebscharakteristika

Charakteristik des Betriebes	$L_{A,eq}$	$L_{A,1}$
leiser Club, Café mit Hintergrundmusik	65 dB	75 dB
Buschenschank, Gasthaus mit leiser Musik	70 dB	80 dB
Café – Bistro mit Musik	75 dB	85 dB
Café mit lauter Musik	80 dB	85 dB
Tanzlokal, Bierlokal, Pub	85 dB	90 dB
Nachtclub, Tanzcafé mit sehr lauter Musik	90 dB	95 dB
Tanzlokal mit sehr lauter Musik	95 dB	100 dB
Diskotheek	100 dB	110 dB
Liveband mit elektroakustischer Beschallungsanlage	105 dB	115 dB

$L_{A,eq}$ = der A-bewertete energieäquivalente Pegel des Ausgangssignals

$L_{A,1}$ = der in 1% der Dauer des Musikstücks überschrittene A-bewertete Pegel

2.3. Lautsprecherplanung

Die Lautsprecherplanung umfasst die Auswahl, Dimensionierung und Platzierung der Schallquellen im Raum. Ziel ist eine gleichmäßige Abdeckung aller relevanten Bereiche bei angemessenem Pegel. In der Praxis greifen Firmen neben aufwändigen Simulationsprogrammen hierbei oft auf Erfahrungswerte und Faustregeln zurück, insbesondere bei Hintergrundbeschallungen, um mit vertretbarem Aufwand ein gutes Ergebnis zu erzielen. Eine gängige Faustformel für Deckenlautsprecher besagt etwa: Abstand der Lautsprecher $\approx 2 \times (\text{Raumhöhe} - \text{Ohrenhöhe})$ (Monacor, 2025). Beispielsweise ergibt sich in einem 4 m hohen Raum mit einer Ohrenhöhe von 1,3 m ein Raster von 5,4 m in Breite und Länge. Dieses Rastermaß gewährleistet eine sehr gleichmäßige Beschallung von sitzenden Personen, ohne größere Pegelschwankungen zwischen den Hörplätzen. Generell führt eine größere Anzahl verteilter Lautsprecher, die jeweils mit geringerer Lautstärke betrieben werden, zu einem angenehmeren Klangteppich als wenige, dafür sehr laute Lautsprecher (Monacor, 2025). Durch die dezentrale Beschallung entstehen weniger Hotspots mit überhöhtem Pegel und der Klang wirkt ausgewogen und unaufdringlich, was gerade bei Hintergrundmusik wünschenswert ist. Sollte in der Praxis auf Grund von asymmetrischer Raumaufteilung ein gleichmäßiges Raster nicht überall möglich sein, lässt sich mit Zonierung und Pegelgruppen arbeiten. So können bestimmte Lautsprecher lauter und andere leiser eingestellt werden, um lokale Unterschiede auszugleichen. Moderne Matrix-Verstärker bieten hierfür die Möglichkeit, Lautsprecher in Gruppen mit unterschiedlichen Pegeln anzusteuern.

Bei aufwendigen Beschallungsprojekten wie zum Beispiel in großen Hotels oder komplex geschnittenen Räumen kommt zunehmend eine computergestützte Simulation zum Einsatz. Mit entsprechender Planungssoftware lassen sich Lautsprecherpositionen und -Typen virtuell testen und die resultierende Schallverteilung visualisieren. Dies erlaubt eine Optimierung nach objektiven Kriterien wie Pegelgleichmäßigkeit, Frequenzgang und Sprachverständlichkeit noch bevor die Hardware installiert wird. Dennoch wird in vielen praktischen Fällen insbesondere bei kleineren Anlagen nicht jedes Mal eine Vollsimulation durchgeführt. Stattdessen kommen bewährte Planungsschritte zum Einsatz: Zunächst den zu beschallenden Bereich und die benötigten Pegel bestimmen, dann anhand von Leistungsdaten und Richtcharakteristika der Lautsprecher überschlagen, wie viele Lautsprecher in welchem Abstand nötig sind und schließlich vor Ort feinjustieren. Hersteller geben oft Richtwerte vor, wie viele Quadratmeter ein Lautsprecher abdecken kann. So empfiehlt der Hersteller Monacor beispielsweise das oben genannte Rastermaß für eine

gleichmäßige Hintergrundbeschallung und warnt vor einer zu geringen Lautsprecherstückzahl (Monacor, 2025). Eine Unterdimensionierung würde dazu führen, dass einige Lautsprecher zu laut eingestellt werden müssen, was lokal zu unangenehmen Hotspots führen würde. Hierbei helfen einfache Berechnungen und Faustregeln ebenso wie Simulationswerkzeuge und Messtechnik bei komplexeren Projekten, um das Planungsergebnis zu verifizieren (Weinzierl, 2008).

2.4. Verstärkerberechnung

Um Lautsprecher korrekt und sicher zu betreiben, muss die Verstärkerleistung passend dimensioniert werden. Grundsätzlich gilt, dass der Verstärker genügend Leistung bereitstellen sollte, um alle angeschlossenen Lautsprecher bei Zielpegeln inklusive einer gewissen Reserve für dynamische Spitzen anzusteuern. In klassischen 100-Volt-Systemen wie zum Beispiel bei Sprachalarmierungsanlagen ist die Auslegung relativ einfach, da jeder Lautsprecher über einen Übertrager mit einem bestimmten Leistungs-Abgriff angeschlossen wird. Die Summenleistung aller Lautsprecher auf der Linie ergibt dann die Mindest-Verstärkerleistung. Es empfiehlt sich, den Verstärker mit ungefähr 10 – 20 % Reserve zu wählen, um Verzerrungen durch Aussteuerung zu vermeiden und spätere Erweiterungen zu ermöglichen (Baunetzwissen, 2025). So ist sichergestellt, dass der Verstärker nicht am Limit arbeitet und kurze Spitzen ohne Clipping bzw. Verzerrung verarbeitet werden können.

Neben der reinen Leistungsangabe ist die Anpassung der Impedanz insbesondere für die niederohmige Verkabelung ein wichtiger Aspekt. Niederohmige Lautsprecher mit 4 Ω oder 8 Ω Nennimpedanz dürfen nicht in zu großer Zahl parallel an einen Verstärker angeschlossen werden, da die Gesamtimpedanz sonst unter die zulässige Mindestimpedanz des Verstärkers fällt. Bei einer Parallelschaltung von zwei Lautsprechern halbiert sich die Impedanz. Zudem schwankt die tatsächliche Impedanz eines Lautsprechers je nach Frequenz (Shure, 2025). Werden mehrere Lautsprecher parallel betrieben, könnte die Gesamtimpedanz kurzfristig auf einen sehr niedrigen Wert von unter 1 Ω sinken, was zu einem sehr hohen momentanen Stromverbrauch und zu einer Überhitzung und Notabschaltung des Verstärkers führen würde. Viele moderne Geräte bieten Schutzschaltungen für Überstrom oder Kurzschlüsse, dennoch sollte die Planung konservativ erfolgen, um einen ausfallsicheren Dauerbetrieb sicherzustellen. Bei Bedarf müssen Lautsprecher daher in Gruppen auf mehrere Endstufenkanäle verteilt oder über die zuvor erwähnte 100-V-Technik angebunden werden. Hierbei kann das Problem nicht auftreten, da das Verstärkersignal auf 100 V hochtransformiert wird und jeder Lautsprecher über einen internen Transformator

entkoppelt wird. Dadurch können beliebig viele Lautsprecher parallel an die Verstärkerleitung angeschlossen werden, solange die Verstärkerleistung insgesamt ausreicht (Baunetzwissen, 2025). Die Verkabelung erfolgt meist als einfache Zweidrahtleitung in Ring- oder Sternstruktur und kann leicht erweitert werden.

2.5. Matrix- und Steuerungssysteme

In zeitgemäßen Beschallungsanlagen kommen oft Audio-Matrixsysteme zum Einsatz, um die verschiedenen Signalquellen flexibel auf mehrere Zonen zu verteilen. Eine Audio-Matrix bietet eine frei konfigurierbare Zuordnung von Eingängen zu Ausgängen. Damit lässt sich zum Beispiel Hintergrundmusik in verschiedenen Bereichen unterschiedlich abspielen, während Durchsagen gezielt in einzelnen Zonen erfolgen können. Solche Matrix-Systeme enthalten in der Regel eine umfangreiche digitale Signalverarbeitung (DSP), um den Klang in jeder Zone optimal anzupassen. Typische Funktionen einer Installations-DSP-Matrix sind Mischpultfunktionen, Equalizer für alle Eingänge und Ausgänge, Hochpass- und Tiefpassfilter, Kompressoren auf Ein- und Ausgangssignalen, Delays zur Laufzeitkorrektur, Limiter zum Schutz vor Übersteuerung und Speicherplätze für verschiedene Presets oder Szenen für zeitgesteuerte Beschallungsszenarien (Audac, 2025).

Ein essenzieller Aspekt bei Matrix-Systemen im Hospitality-Bereich ist die einfache Bedienbarkeit für den Endnutzer. Häufig müssen Angestellte ohne Vorkenntnisse der Tontechnik das System im alltäglichen Betrieb steuern können. Daher wird die Benutzeroberfläche so gestaltet, dass sie intuitiv und auf das Nötigste reduziert ist. In der Praxis gibt es dafür Wandbedienfelder, Touchscreens oder Apps für digitale Endgeräte, die mit der Matrix verbunden sind. Technisch werden die Experteneinstellungen häufig von der Benutzersteuerung getrennt. Während Installateure und Tontechniker über eine PC-Software oder ein Administrator-Menü alle DSP-Parameter detailliert einstellen können, bleibt die Lösung für den Endnutzer möglichst schlicht. Insgesamt zeichnet sich ein gutes Beschallungssystem dadurch aus, dass es flexibel und leistungsfähig im Hintergrund arbeitet, aber für den Anwender möglichst einfach zu handhaben ist. Die individuelle Lautstärkeregelung pro Bereich und das schnelle Umschalten von Musikquellen sind dabei Kernfunktionen, die durch die Matrix-Controller umgesetzt werden. Darüber hinaus lassen sich oft zeitgesteuerte Profile oder Szenen realisieren, was die Automation im Geschäftsalltag erleichtert. Zusammengefasst bieten Matrix- und Steuerungssysteme die zentralisierte Kontrolle über alle Audiozonen und -quellen. Sie sorgen für den optimalen Klang durch DSP-Anpassungen und ermöglichen dem Personal eine intuitive Steuerung.

2.6. Bestehende Ansätze zur Kostenschätzung in der Beschallungsplanung

Nach der Auswahl der technischen Komponenten, müssen vor der Umsetzung zunächst die Kosten für das gesamte Projekt möglichst genau vorhergesagt werden. Dazu existieren in der Praxis mehrere Methoden mit unterschiedlichen Ansätzen. In frühen Akquisephassen ist die Analogieschätzung verbreitet, weil sie sehr schnell verfügbar ist und ohne technische Detailplanung auskommt. Kosten werden aus ähnlichen historischen Projekten abgeleitet und über wenige Skalierungsgrößen wie zum Beispiel Flächen, Zonenanzahl oder Qualitätsniveau auf den neuen Fall übertragen. Methodisch entspricht das dem allgemeinen Prinzip des Analogous Estimating, bei dem Erfahrungswerte bewusst als Näherung genutzt werden, solange belastbare Detaildaten noch fehlen (Bichler, Projektmanagement Definitionen Analoge Schätzung, 2025).

Ein nächster Vorhersagegrad ist die parametrische Schätzung über Kennzahlen und bestimmte Kostenpunkte. So können Kosten nach Richtwerten etwa pro Quadratmeter oder pro Zone ermittelt und anschließend um weitere konkrete Faktoren ergänzt werden. Im Projektmanagement wird dieser Ansatz als Parametric Estimating beschrieben. Es wird eine Kostenbeziehung definiert und auf die Projektparameter angewandt. Die Qualität hängt dabei stark von der Verfügbarkeit geeigneter historischer Daten zur Kalibrierung und von der sinnvollen Definition der Parameter ab (Bichler, Projektmanagement Definitionen Parametrische Schätzung, 2025).

Die fachlich robusteste Form ist die Bottom-up-Schätzung, die aus einer nahezu vollständigen Fachplanung entsteht. Aus der technischen Auslegung wird eine Stückliste abgeleitet und anschließend mit Preisen und Aufwandsfaktoren versehen, die anschließend zu einer Gesamtkalkulation führen. Der Ansatz bildet technische Abhängigkeiten am genauesten ab, ist in der Akquisephase aber vergleichsweise teuer und zeitintensiv, weil er den größten Teil der Planungsarbeit bereits vorwegnimmt (Bichler, Projektmanagement Definitionen Bottom-up-Schätzung, 2025).

Neben diesen Grundformen entstehen in der Beschallungstechnik viele Kostenschätzungen mit Hilfe von Tools, da diese die technische Auslegung strukturieren und damit Material- und Funktionsumfang früh erkennbar machen – auch wenn sie zunächst nicht automatisch vollständige Kosten ausgeben. Typisch sind herstellerspezifische Systemplanungs- und Auslegungstools sowie die zuvor erwähnten Simulationsumgebungen, die Abdeckung, Pegelverteilung und Systemkonfiguration berechnen. Das am weitesten verbreitete

Simulationstools für die elektroakustische Planung ist EASE von AFMG (AFMG, 2025). Zudem sind weitere Programme bestimmter Hardwarehersteller auf die vereinfachte Systemauslegung spezifiziert. Dazu gehören ArrayCalc von d&b Audiotechnik für Line-Array Systemdesign, Soundvision von L-Acoustics als 3D-Modellierungs- und Vorhersageumgebung und MAPP 3D von Meyer Sound (d&b Audiotechnik, 2025) (L-Acoustics, 2021) (Meyer Sound, 2025).

In der Praxis entsteht die Kostenschätzung häufig als Kombination aus toolgestützter technischer Auslegung, händisch vervollständigten Stücklisten und kalkulatorischer Übersetzung über Preislisten und interne Aufwandsschätzungen. Genau diese Schnittstelle zwischen technischer Auslegung und schneller Übersetzung in Kosten ist in vielen Unternehmen der Engpass, weil sie oft auf der manuellen Arbeit mit Tabellen und Erfahrungswerten beruht.

In Bau- und Hospitality-Projekten wird die Kostenseite zudem häufig in normierten Strukturen dargestellt, um Angebote, Budgetierung und Projektmanagement gewerkeübergreifend kompatibel zu machen. In Deutschland ist dafür die DIN 276 ein üblicher Rahmen, der Kosten nach bestimmten Kostengruppen gliedert und damit auch technische Gewerke strukturiert (DIN Deutsches Institut für Normung, 2018). Für die Beschallungsplanung ist diese Einordnung mehr wie eine Übersetzungshilfe zu betrachten. Dadurch können Hardwarekosten, Systemkosten, Aufwände für Montage- und Inbetriebnahme und Schnittstelleneinrichtung so strukturiert werden, dass sie im Baukontext vergleichbar bleiben – unabhängig davon, ob die Kostenschätzung analog, parametrisch oder bottom-up erfolgt.

3. Methodik und Konzeption des Custom GPT

Im Mittelpunkt steht die Frage, wie die Konzeption des Custom GPT erfolgreich umgesetzt werden kann, so dass sich die Forschungsfragen F1 und F2 am Ende der Durchführung mit eindeutigen Ergebnissen beantworten lassen. Dafür muss zunächst ein Weg gefunden werden, die typischen Schritte einer Beschallungsfachplanung so abzubilden, dass sie zum einen zu einer belastbaren Kostenschätzung in der Angebotsphase führen und zum anderen erfolgreich in ein Custom GPT implementiert werden können. Ziel ist daher die Entwicklung eines Vorgehens, das die Planung anhand grober Rahmenparameter soweit standardisiert und gleichzeitig beschleunigt, dass eine realistische Preisspanne mit einer Zielgröße von 80 % Genauigkeit erreicht werden kann. Dabei geht es nicht um eine vollumfängliche Detailplanung mit genauer Software-Simulation und finaler Ausführungsreife, sondern um prozesssichere und reproduzierbare Planungsschritte, die zuverlässig funktionieren und als feste Grundlage für eine spätere, händisch durchgeführte Fachplanung dienen.

Um die beiden Forschungsfragen dieser Arbeit beantworten zu können, wird zunächst eingeordnet, welche grundsätzlichen Ansätze zur Kostenschätzung in der Praxis zur Verfügung stehen. Ein naheliegender und daher üblicher Weg ist die Arbeit mit Templates und Referenzprojekten, in dem viele vorhandene Bestandsprojekte als Vergleichsbasis nach dem Prinzip „ähnliches Projekt – ähnliche Kosten“ genutzt werden. Dieser Ansatz kommt ohne KI aus und ist schnell und praxisnah. Er stößt jedoch dort an Grenzen, wo wesentliche Projektparameter abweichen oder Sonderfälle auftreten, die nicht vollständig durch bestehende Beispiele abgedeckt sind.

Ein zweiter Ansatz ist ein rein analytisches, regel- und rechenbasiertes Vorgehen. Hier werden Entscheidungslogiken, Faustregeln, Prüfschritte und formalisierte Berechnungen eingesetzt, um aus wenigen Eingangsdaten eine nachvollziehbare Planung und daraus eine Kostenschätzung abzuleiten. Dies geschieht in Form eines Algorithmus oder Programmcodes, der feste Werte verarbeitet und reproduzierbare Ergebnisse liefert. Ein Vorteil ist die Transparenz: Die Herleitung ist dokumentierbar, sie lässt sich technisch begründen und die Ergebnisse sind absolut reproduzierbar. Dennoch bleibt dieser Ansatz ohne Simulation in seiner räumlichen Detailtiefe begrenzt, reagiert nur eingeschränkt auf Sonderfälle und erfordert je nach Regelwerk eine streng strukturierte Dateneingabe etwa durch eine fest definierte Eingabemaske.

Ein dritter Ansatz besteht darin, dass eine KI die Planung auf Basis ihres internen Modellwissens weitgehend eigenständig erzeugt. Prinzipiell kann dies sehr flexibel sein und auch bei unvollständigen Angaben plausible Lösungen liefern. In der Praxis setzt dieser Weg jedoch entweder eine sehr starke fachliche Trainingsbasis des Modells oder große, sauber aufbereitete Datenbestände mit einer Vielzahl vergleichbarer Referenzplanungen voraus. Ohne diese Grundlage steigt die Anzahl inkonsistenter oder nicht reproduzierbarer Ergebnisse, was insbesondere im Kontext für konkrete Kostenschätzungen ungeeignet ist.

Auf Basis dieser Einordnung wird in den folgenden Unterkapiteln zunächst der gewählte KI-Ansatz begründet und anschließend die Konzeption des Custom GPT entwickelt. Dabei wird dargestellt, welche Eingangsdaten benötigt werden, wie die Planungsschritte strukturiert sind und wie Wissen aus der Praxis in Form von Regeln, Entscheidungslogiken und Datenbanken so implementiert wird, dass es für die Erstellung des Custom GPT geeignet ist. Zudem wird sichergestellt, dass die Ergebnisse konsistent und für den Einsatz in einer realen Akquisephase geeignet sind.

3.1. Auswahl des KI-Ansatzes

Die im vorherigen Abschnitt dargestellten Grundansätze zur Kostenschätzung sind jeweils für sich genommen nur bedingt geeignet, um die Zielsetzung dieser Arbeit zu erfüllen. Besonders deutlich wird dies beim Ansatz einer frei planenden KI: Eine konkrete Fachplanung in der Beschallungstechnik basiert nicht nur auf generischem Fachwissen, sondern auf der konkreten Kombination aus einer sehr großen Bandbreite möglicher Hardwarekomponenten. Ein Sprachmodell kann zwar auf umfangreiches, weltweit verfügbares Wissen zurückgreifen, nutzt jedoch in jeder einzelnen Anfrage nur einen kleinen, fast zufällig ausgewählten Ausschnitt davon. Ohne einen regelbasierten Rahmen führt diese Offenheit schnell zu Ergebnissen, die zwar plausibel sein können, aber nicht verlässlich reproduzierbar sind. Aus diesem Grund sind die drei Grundansätze in Reinform für den Anspruch dieser Arbeit nicht ausreichend. Aus methodischer Sicht ergeben sich jedoch zwei realistische Mischvarianten, die KI sinnvoll einbinden.

Die erste Mischform kombiniert Projekt-Templates und KI. Dabei lernt die KI aus einer großen Anzahl bereits geplanter Projekte und leitet aus diesen Beispielen neue Planungen ab, indem sie bekannte Muster der Wahrscheinlichkeit nach auf neue Projekte überträgt. Dieser Weg entspricht einem klassischen Machine-Learning-Vorgehen und ist grundsätzlich geeignet, weil er eine flexible Anpassung an Projektvarianten ermöglicht. In der Praxis und

im Kontext dieser Arbeit fehlen jedoch die dafür notwendigen Voraussetzungen. Es bräuchte sehr große Datenmengen an vergleichbaren Projekten in einheitlicher Struktur, inklusive sauberer Labels und konsistenter Planungslogik. Solche Datensätze liegen in Fachplanungsunternehmen typischerweise nicht in der erforderlichen Menge und Qualität vor.

Die zweite Mischform verbindet analytische Regeln mit KI und entspricht dem in dieser Arbeit gewählten Ansatz. Dabei wird die KI als Ausführungsassistent eines fest definierten Algorithmus eingesetzt. Dieser Algorithmus besteht aus eindeutig formulierten Schrittfolgen, Entscheidungslogiken, Prüfschritten und bewusst berücksichtigten Sonderfällen. Die KI übernimmt damit die Aufgabe, diese Logik auf konkrete Projektparameter anzuwenden, Zwischenergebnisse auszugeben und den Prozess konsistent über mehrere Planungsschritte hinweg auszuführen. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der Nachvollziehbarkeit: Die Entscheidungen folgen dokumentierten Regeln und erzeugen Outputs, die fachlich kontrolliert werden können. Gleichzeitig bleibt der Prozess deutlich variabler als ein klassischer Programmcode. Während ein fest implementiertes Programm auf starren Variablen, festen Einheiten und exakt definierten Eingabeformaten basiert, erlaubt ein sprachlich formulierter Algorithmus eine flexiblere Eingabe, schnellere Anpassungen und eine einfache Behandlung von Sonderfällen, ohne bei jeder Regeländerung einen hohen Implementierungsaufwand inklusive Debugging zu erzeugen. Die erreichbare Qualität hängt dabei von zwei Faktoren ab: von der Güte des Regelwerks selbst und von der Fähigkeit des eingesetzten KI-Modells, diese Regeln über längere Schrittketten hinweg zuverlässig einzuhalten.

Da der gewählte Ansatz sowohl die Regeln als auch die Projektparameter in natürlicher Sprache verarbeitet, wird er konsequent in Form eines Large Language Models (LLM) umgesetzt. Auch wenn LLMs technisch auf Wahrscheinlichkeit beruhen, lassen sie sich durch präzise Regeln, einzelne Prozessschritte und feste Output-Formate in einen Arbeitsmodus führen, der deutlich reproduzierbarer wirkt als eine freie Textgenerierung. Hinsichtlich des Planungsprozesses mit vielen unterschiedlichen Einzelschritten, Regeln und Bedingungen bietet ein LLM weitere Vorteile: Es kann solche Regeln lesen, sequenziell anwenden und bei Bedarf in Textform beschriebene Sonderfälle einordnen, ohne dass jedes Detail in ein starres Formular eingegeben werden muss. Außerdem kann es strukturierte Outputs wie Tabellen oder Stücklisten erzeugen und Begründungen für Entscheidungen formulieren. Ein LLM vereinfacht damit die iterative Weiterentwicklung des Regelwerks,

in dem lediglich Textänderung eingegeben werden müssen und keine codebasierte Umprogrammierung stattfinden muss. Zudem bietet es Robustheit gegenüber unvollständigen Eingaben, bei denen klassische Programme typischerweise abbrechen würden.

Andere KI-Modellklassen, etwa Bild- oder Vision-Modelle, wären vor allem dann sinnvoll, wenn die KI primär aus Planbildern, Layouts oder geometrischen Mustern lernen soll. Das würde jedoch wieder in Richtung der Template-basierten Mischform führen und große Mengen an Trainingsdaten voraussetzen. Da diese Arbeit bewusst den Weg „Analytische Regeln und KI“ verfolgt, ist ein Sprachmodell die passendere Modellklasse.

Schließlich stellt sich die Frage nach der Plattform: In dieser Arbeit wird der leistungsstarke Closed-Source-Anbieter OpenAI genutzt, statt ein Open-Source-Modell lokal zu betreiben. Der Hintergrund ist vor allem praktisch begründet. Die zuverlässige Abarbeitung langer Reasoning-Prozesse, die strikte Einhaltung von Regeln und die konsistente Bearbeitung mehrteiliger Aufgaben erfordern leistungsstarke Modelle und entsprechende Rechenressourcen. Lokale Systeme in Form eines Heim-Computers sind in der Regel nicht in der Lage, Modelle dieser Art stabil, schnell und mit angemessener Ergebnisqualität zu betreiben. Ein kleineres lokales Modell würde voraussichtlich weniger konsequent Regeln abarbeiten, häufiger Schritte auslassen, stärker halluzinieren und insbesondere bei langen, verschachtelten Aufgaben schneller fehlerhaft werden. Für das Ziel einer belastbaren Kostenschätzung ist daher die Wahrscheinlichkeit höher, mit einem leistungsfähigen KI-Anbieter korrekte und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen.

Diese Entscheidung bringt jedoch einen wissenschaftlich relevanten Nachteil mit sich: Die Abhängigkeit von einem Anbieter bedeutet, dass Modellupdates das Verhalten und die Ergebnisqualität im Zeitverlauf verändern könnten. Dadurch ist eine Reproduzierbarkeit über lange Zeiträume nur eingeschränkt möglich. Für den Zweck dieser Arbeit wird dieser Nachteil bewusst in Kauf genommen, weil die benötigte Reasoning-Tiefe und Ergebnisqualität die Voraussetzung dafür ist, dass der gesamte Ansatz in der Praxis funktioniert.

3.2. Aufbau und Arbeitsweise des Custom GPT

Ziel ist es, die einzelnen Schritte der Planungslogik so zu formulieren, dass sie von einem Sprachmodell nicht nur verstanden, sondern über mehrere Abschnitte hinweg zuverlässig abgearbeitet werden können. Dafür wird ein KI-Modell mit vordefiniertem Verhalten in

Form eines Custom GPT aufgesetzt, das einerseits auf dem vortrainierten Wissen des zugrunde liegenden Sprachmodells aufbaut und andererseits durch spezifische Aufgabenbeschreibungen sowie eine Wissensdatenbank in eine Richtung geführt wird. In der Umgebung von ChatGPT (OpenAI) ist dies technisch über die Zusatzfunktion zur Erstellung eigener Custom GPTs möglich. Der Ansatz nutzt damit ein bestehendes Large-Language-Model als Basis und ergänzt es um Regeln, Daten und feste Output-Formate, die den Planungsprozess strukturieren. Das Custom GPT nimmt im Gesamtprozess die Rolle eines regelbasierten Fachplanungsassistenten ein. Es soll keine zufällige Planung erzeugen, sondern die typischen Arbeitsschritte einer Fachplanung in einer festen Reihenfolge ausführen. Zudem soll es kontrollierbare Zwischenergebnisse ausgeben und diese Ergebnisse in den folgenden Schritten weiterverwenden. Damit dieser Ablauf konsistent funktioniert, werden die einzelnen Tätigkeiten zunächst in beschreibbare Regeln, Bedingungen und Prüfschritte heruntergebrochen. In der Praxis entstehen dabei sehr viele Teilentscheidungen, die sich gegenseitig beeinflussen. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass ein Sprachmodell nur ein begrenztes Kontextfenster besitzt. Es kann daher nicht beliebig viele Dokumente in voller Länge gleichzeitig verarbeiten, sondern arbeitet mit priorisiertem Kontext und relevanten Ausschnitten.

Aus diesem Grund wird der Gesamtprozess in sechs Aufgaben gegliedert, die jeweils einer abgegrenzten Teilaufgabe entsprechen. Diese Unterteilung führt zu einem stabileren Ablauf, weil das Custom GPT die Aufgaben nacheinander abarbeitet und nicht versucht, den gesamten Prozess in einem einzigen Schritt zu überblicken. Zusätzlich sind die Aufgaben in sich nochmals in Unterabschnitte gegliedert, die jeweils einen konkreten Planungsschritt repräsentieren. Diese Struktur zwingt das System dazu, systematisch vorzugehen, statt Regeln global zu interpretieren oder einzelne Schritte zu überspringen.

Neben den Aufgabenbeschreibungen bildet eine Wissensdatenbank die zweite grundlegende Komponente des Systems. Sie enthält die für die Planung notwendigen Produktinformationen zu Lautsprechern, Verstärkern, Matrizen sowie Steuer- und Inputmodulen. Diese Daten sind so strukturiert, dass das Custom GPT die in den Aufgaben beschriebenen Auswahl- und Prüfregele auf konkrete Produkte und deren Spezifikationen anwenden kann. Damit die Regeln deterministisch funktionieren, ist zusätzlich eine vollständige Eingabe des Anwenders mit den entsprechenden Parametern des zu planenden Projekts notwendig. Deshalb wird ein standardisiertes Eingabeformat definiert, das die Mindestinformationen beschreibt, die für eine konkrete Planung notwendig sind. Dieses

Format ist nicht so starr wie eine Eingabemaske in einer klassischen Software, da Reihenfolge und Formulierung variieren können. Wichtig ist nur, dass die entscheidenden Parameter vorliegen. Voraussetzung ist also eine konsistente Basis an Projektinformationen, damit die Regeln nachvollziehbar und wiederholbar angewendet werden können.

Die Planungslogik basiert dabei auf einer Zonenstruktur: Ein Projekt wird in mehrere Zonen unterteilt, wobei eine Zone als jener Bereich verstanden wird, in dem die Lautstärke unabhängig gesteuert werden kann. Gemeint ist damit nicht, dass unterschiedliche Inhalte abgespielt werden können. Bei identischem Musikprogramm entstehen mehrere Zonen, sobald eine getrennte Lautstärkeregelung eingesetzt wird. Die Zonenstruktur ist für den späteren Ablauf zentral, weil sie die Anzahl der benötigten Verstärkerkanäle, die Dimensionierung einer Matrix bzw. Steuerzentrale sowie das Steuerungskonzept direkt beeinflusst.

Als Nutzerinput werden zunächst allgemeine Projektinformationen benötigt, insbesondere der Fokus auf Budget oder Qualität sowie projektübergreifende Besonderheiten oder Einschränkungen. Auf Zonenebene sind mindestens der Zonenname, die Abmessungen der Grundfläche, die Deckenhöhe, die Deckenbeschaffenheit sowie der Ziellautstärkebereich bzw. das Nutzungsszenario (z.B. Hintergrundmusik, Restaurant, Bar, Club) erforderlich. Ergänzend sind in den formulierten Aufgaben diverse Sonderfälle vorgesehen, so dass zusätzliche Parameter verarbeitet werden können. Dazu zählen beispielsweise die Nachhallzeit als Voraussetzung für eine elektroakustische Berechnung, eine definierte Ohrenhöhe, ein bevorzugter Lautsprechertyp, konkrete Restriktionen wie „keine Bässe“ oder „nur Wandmontage“ sowie gewünschte Steuer- und Einspielmöglichkeiten. Diese Zusatzinformationen erhöhen die Detailtiefe, ohne die Grundlogik des Prozesses zu verändern.

Ein wesentlicher Teil der Regeln für das Custom GPT ist bewusst praxisbezogen formuliert und arbeitet daher mit Faustwerten. Dieser Ansatz ist insbesondere am Anfang von Projekten sinnvoll, weil er mit wenigen Eingangsparametern schnelle und erfahrungsgemäß realistische Ergebnisse erzeugt. Gleichzeitig werden dort, wo es fachlich sinnvoll ist, weitere akustische Berechnungen durchgeführt. Diese dienen nicht als vollständiger Ersatz für eine akustische Simulation, sondern als Kontrollcheck, um die Erstplanung fachlich abzusichern. Auch wenn der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der allgemeinen Umsetzung des KI-Ansatzes als Custom GPT liegt, entsteht die eigentliche Leistungsfähigkeit des Systems erst durch

eine gelungene und detaillierte Übersetzung der gesamten Beschallungsfachplanung in KI-kompatible Regeln. Da das Herunterbrechen des Planungsprozesses in diese Regelarchitektur ein wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit ist, werden die sechs formulierten Aufgaben im Folgenden technisch und fachlich hergeleitet. Diese sind zudem in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

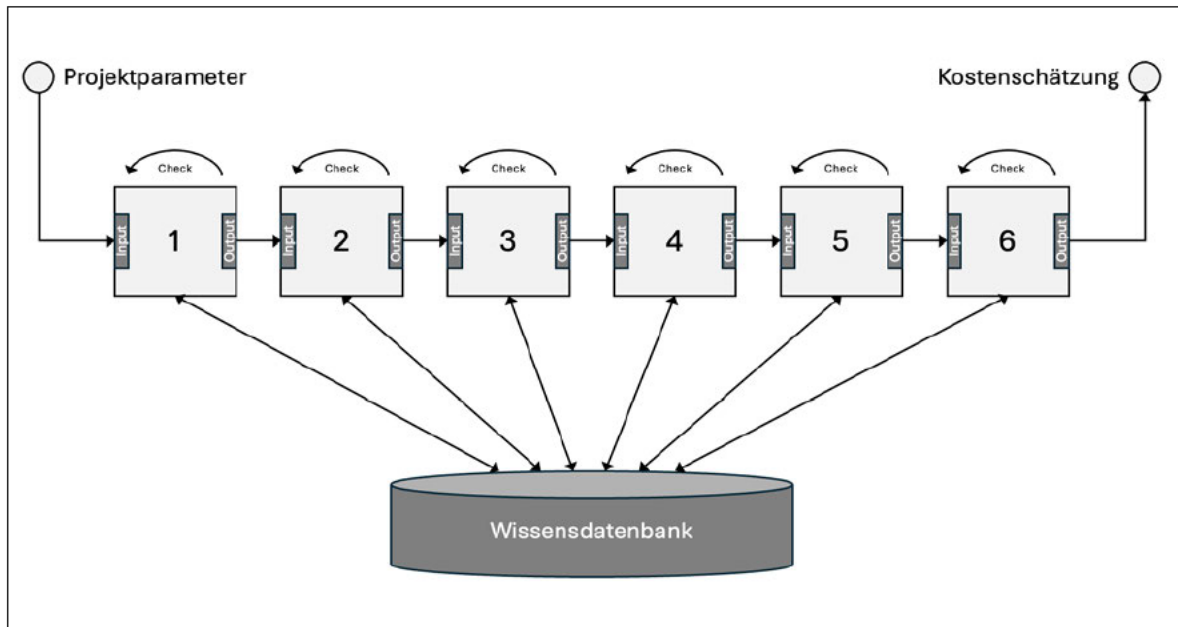


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Regelarchitektur

3.2.1. Kriterien für die Lautsprecherplanung

Die Lautsprecherplanung bildet den ersten Schritt einer Fachplanung in der Beschallungstechnik. Hinsichtlich der Projektanforderungen wird ermittelt, welche Lautsprecher in welchen Bereichen eingesetzt werden und in welcher Stückzahl dies sinnvoll ist. Die Planung erfolgt grundsätzlich zonenbasiert: Jeder Raum bzw. jeder Bereich, in dem die Lautstärke unabhängig geregelt werden soll, wird als eigene Zone betrachtet. Gleichzeitig ist für ein gutes Gesamtkonzept eine gewisse Kontinuität sinnvoll, zum Beispiel durch die Verwendung einer einheitlichen Produktfamilie oder durch konsistente Lautsprechertypen. Abweichungen davon sind meistens auf Sonderfälle durch verschiedene Nutzungsszenarien innerhalb eines Projekts zurückzuführen.

Unabhängig davon, ob eine Planung händisch, regelbasiert oder mit professioneller Simulationssoftware durchgeführt wird, folgt sie in der Praxis einem konkreten Grundprinzip: Zunächst wird eine Erstausswahl konkreter Lautsprechermodelle getroffen, anschließend wird diese Auswahl verfeinert und durch Berechnungen oder Simulationen

überprüft. Der Grund dafür ist schlicht methodisch. Ohne die Auswahl bestimmter Lautsprechermodelle liegen keine Datenblätter vor. Ohne diese Daten lassen sich weder elektroakustische Berechnungen durchführen noch kann eine technische Überprüfung erfolgen. Die Erstauswahl basiert daher zwangsläufig auf praxisbewährten Faustformeln. Dieses Vorgehen wird in Aufgabe 1 des Custom GPT in eine feste Schrittfolge übersetzt. Die Planung beginnt mit der Dimensionierung der Lautsprecher, anschließend wird ein konkreter Lautsprechertyp festgelegt und daraus leiten sich die Stückzahlen pro Zone ab. Diese hängen wiederum von der gewählten Verkabelungsart ab. Erst danach erfolgt die Auswahl konkreter Modelle aus der Lautsprecherdatenbank, auf die das GPT während der Bearbeitung zugreifen kann. Sofern die notwendigen Daten vorliegen, erfolgt abschließend eine elektroakustische Berechnung als Kontrollschritt.

Zuerst wird die Dimensionierung der Lautsprecher anhand der Treibergröße durchgeführt. Sie wird in Zoll angegeben und bestimmt vor allem die Grenze des unteren Frequenzbereichs und damit, wie voll oder körperlich der Klang wahrgenommen wird. Die maximale Lautstärke eines Lautsprechers hängt hingegen von mehreren Faktoren ab. Diese sind neben der Treibergröße zum Beispiel die Empfindlichkeit, die Leistung, der Wirkungsgrad und der Abstrahlwinkel. Für den Aufbau eines geeigneten Startwerts wird dennoch ein methodischer Zusammenhang hergestellt: Ziellautstärkebereich und Nutzungsszenario werden als Richtwert verwendet, um eine Mindest-Treibergröße festzulegen. Die Begründung liegt darin, dass hinter einem Zielpegel in der Praxis fast immer ein typischer Anwendungsfall steht. Ein Café oder ein ruhiger Restaurantbetrieb mit Hintergrundmusik hat andere Anforderungen an den Bassanteil als eine Bar mit Vordergrundmusik oder eine Tanzfläche mit hohen Pegeln und sattem Bass. Entsprechend werden mehrere Abstufungen von Hintergrund- bis Clublautstärke definiert und mit Mindestgrößen für Hochtöner und Subwoofer verknüpft. Diverse Sonderfälle wie zum Beispiel die reine Sprachübertragung in Konferenzräumen werden gesondert behandelt, da hier die Sprachverständlichkeit und eine gerichtete Abstrahlung im Vordergrund stehen. Zusätzlich wird die Dimensionierung durch den Projektfokus hinsichtlich des Budgetrahmens beeinflusst. Je nach Fokus auf Budget oder Qualität werden entweder die kleinstmöglichen Lautsprecher oder die leistungsfähigsten Lautsprecher der jeweiligen Größenordnung gewählt.

Anschließend wird der Lautsprechertyp anhand räumlicher Kriterien und des Nutzungsszenarios festgelegt. Aufbau- und Einbaulautsprecher werden zum Beispiel dann gewählt, wenn Einbaulautsprecher auf Grund massiver Decken nicht möglich sind oder wenn Vordergrund-

und Clublautstärken gewünscht sind, bei denen höhere Pegel erforderlich sind. Gleichzeitig werden Sondereigenschaften berücksichtigt, wie zum Beispiel eine zwingende Outdoor-Fähigkeit in Außenbereichen. Bässe werden dabei als Ergänzung geplant, wenn sie für das jeweilige Nutzungsszenario sinnvoll sind.

Sobald Größe und Typ feststehen, stellt sich die Frage nach der Stückzahl. In einer vollständigen Fachplanung würden Lautsprecherpositionen und Stückzahlen in der Regel über eine elektroakustische Simulation (z. B. mit EASE oder vergleichbaren Tools) ermittelt, die die geometrische Verteilung und frequenzabhängige Pegelverläufe berücksichtigt. Ein Custom GPT kann solche Programme jedoch nicht ohne weiteres ansteuern und kann auch keine vollständige raumakustische Simulation durchführen. In diesem Fall werden die Stückzahlen deshalb bewusst über weitere Faustformeln abgeleitet, welche in der Recherchephase dieser Arbeit im Zuge der täglichen Planungspraxis, diversen Gesprächen mit Experten aus der Branche und durch eigene Simulationen aufgestellt wurden. Je nach Lautsprechertyp werden unterschiedliche Formeln angewendet. Für Aufbaulautsprecher wird die Stückzahl über Fläche und Deckenhöhe geschätzt, um eine gleichmäßige Verteilung im Diffusschallfeld zu erreichen. Je höher die Decke, desto weniger Schallquellen werden in der Regel benötigt, um eine homogene Grundbeschallung zu erreichen. Für Deckeneinbaulautsprecher wird eine Rasterplanung genutzt, bei der der Lautsprecherabstand aus Deckenhöhe und angenommener Ohrenhöhe abgeleitet wird. Diese Regeln gelten für typische Abstrahlwinkel im Bereich von ca. 90° bis 160° und treffen damit auf nahezu alle gängigen Lautsprecher aus dem Pro-Audio Bereich zu, wobei spezielle Bauformen wie zum Beispiel Zeilenlautsprecher gesondert betrachtet werden. Die genauen Abstrahlwinkel konkreter Lautsprecher werden erst im letzten Kontrollschritt im Zuge der elektroakustischen Berechnung mit einbezogen. Die Stückzahlen der Bässe werden über eine einfache, flächenbezogene Faustformel ermittelt.

Um die Lautsprecher anzusteuern, stehen verschiedene Arten der Verkabelung zur Verfügung, die im Folgenden festgelegt wird. Grundsätzlich kommen in typischen Beschallungssystemen zwei Varianten in Frage: niederohmige Verkabelung und 100 V-Technik. Niederohmig wird vor allem dort eingesetzt, wo höhere Qualitätsansprüche, hohe Pegel und ein satter Klang erforderlich sind. 100 V wird stattdessen bei größeren Stückzahlen und langen Leitungswegen eingesetzt, da sich viele Lautsprecher effizient mit einem Strang versorgen lassen und die Leitungsverluste hier deutlich geringer sind. Beide Konzepte werden als getrennte Varianten geplant: Projekte mit Fokus auf Qualität, Zonen

mit einer gewissen Ziellautstärke und Nutzungsszenarien wie Club- oder Vordergrundbeschallung werden immer niederohmig geplant. Bei budgetorientierten Projekten oder wenn hohe Stückzahlen, kleine Lautsprecher oder Nebenbereiche vorliegen wird typischerweise die 100 V Technik verwendet.

Nachdem Größe, Typ, Stückzahl und Verkabelungsart feststehen, liegen alle Suchkriterien so vor, dass eine konkrete Auswahl aus der Lautsprecherdatenbank möglich ist. Das GPT prüft die Modelle anhand der definierten Anforderungen und berücksichtigt dabei neben der Treibergröße und der Verkabelungsart auch technische Parameter wie Leistung, Impedanz, Abstrahlwinkel und Montagemöglichkeiten. Da in der Realität nicht jedes Modell in jeder geforderten Kombination existiert, werden diverse Abweichungsregeln definiert. Von der Dimensionierung darf zum Beispiel nur nach oben abgewichen werden, vom Lautsprechertyp darf auf Grund der baulichen Gegebenheiten gar nicht abgewichen werden. Abschließend wird eine elektroakustische Berechnung als Kontrolle durchgeführt. Ziel ist die Überprüfung, ob das ausgewählte Lautsprechermodell die elektrische Leistung verarbeiten kann, die notwendig ist, um den gewünschten Zielpegel bei einer bestimmten Raumgröße und Nachhallzeit zu erreichen. Die Berechnung bezieht sich auf das Diffusschallfeld, da es sich meistens um Innenräume handelt. Die Voraussetzung ist jedoch, dass eine Nachhallzeit für die Zone vorliegt, was im Anfangsstadium von Projekten teilweise nicht gegeben ist. In diesem Fall bleibt die Planung bei den zuvor genannten Schätzregeln. Mit diesem Schritt entsteht ein sinnvoller Zusammenhang: Die Planung startet praxisnah über Faustregeln, wird durch diverse Regeln und Zusammenhänge konkretisiert und wenn möglich durch eine physikalische Kontrolle abgesichert.

Auch wenn die Schritte in Aufgabe 1 in einer festen Reihenfolge aufgebaut sind, läuft die Planung in der Praxis in der Regel nicht komplett linear. Viele Entscheidungen hängen voneinander ab und werden gedanklich zeitgleich getroffen. Während die Dimensionierung festgelegt wird, ist auf Grund der Projektbedingungen oft schon ersichtlich, welche Verkabelungsart oder welcher Lautsprechertyp sinnvoll ist, und damit auch, welche Modelle aus der Datenbank tatsächlich in Frage kommen. Hier zeigt sich die Sinnhaftigkeit des KI-Ansatzes, weil er iterativ zwischen den Unterschritten hin und her springen kann. Die Regeln werden zwar formal nacheinander abgearbeitet, ihre Auswirkungen können aber nahezu simultan berücksichtigt werden. Währenddessen wird parallel die Datenbank nach passenden Produkten durchsucht. So lassen sich vor Abschluss eines Planungsschrittes bereits bestimmte Lautsprechermodelle ausschließen.

3.2.2. Kriterien für die Verstärkerplanung

Nachdem feststeht, welche Lautsprecher pro Zone eingesetzt werden, müssen diese vollständig und möglichst effizient auf Verstärkerkanäle aufgeteilt werden. Effizient bedeutet hier vor allem zwei Dinge: Die verfügbare Verstärkerleistung soll sinnvoll ausgenutzt werden, sodass möglichst wenig Leistung ungenutzt bleibt, und die Lösung soll mit möglichst wenigen Geräten auskommen. Welche Lösung als optimal gilt, hängt dabei vom Projektfokus ab. Bei Fokus auf Budget steht die Minimierung der Gerätekosten im Vordergrund. Es sollen daher die günstigsten Verstärker gefunden werden, die die jeweiligen Anforderungen erfüllen, während unnötig leistungsstarke Geräte ausgeschlossen werden, sofern sie keinen wirtschaftlichen Vorteil bringen. Es wird zum Beispiel geprüft, ob mehrere kleine Verstärker in Summe günstiger sind als ein teures Mehrkanalgerät oder umgekehrt. Ob ein Verstärker Digital Signal Processing (DSP) betreiben kann, ist in dieser Variante irrelevant. Bei Fokus auf Qualität werden hochwertige DSP-Verstärker immer bevorzugt. Außerdem wird in diesem Fall geprüft, inwiefern die Geräteanzahl reduziert werden kann, in dem zum Beispiel größere Mehrkanalverstärker eingesetzt werden.

Grundsätzlich stellt die Verstärkerzuordnung ein iteratives Optimierungsproblem dar, weil zwei Faktoren jeweils direkt voneinander abhängen: Um einen Verstärker auswählen zu können, muss zunächst geklärt sein, wie viele Lautsprecher auf einem Kanal zusammengefasst werden und welche Leistung bei welcher Impedanz daraus resultiert. Umgekehrt lässt sich eine sinnvolle Kanalaufteilung erst dann final bewerten, wenn die konkreten Verstärkerdaten wie Mindestimpedanz, verfügbare Leistung und Kanalanzahl bekannt sind. Dadurch entsteht ein typisches Henne-Ei-Problem. Die Lösung besteht in der Erstellung einer sinnvollen Erstaufteilung bzw. einem Startlayout. Darauf basierend werden passende Verstärker ausgewählt, deren Kanalaufteilung anschließend so lange angepasst wird, bis eine stimmige Gesamtlösung erreicht ist. Im Zuge der Erstaufteilung werden Lautsprechergruppen gebildet, wobei pro Kanal nur gleiche Modelle derselben Zone zusammengefasst werden. Für den niederohmigen Betrieb gilt als Startwert zum Beispiel eine Mindestimpedanz von 4 Ohm pro Kanal.

Nach der Berechnung geeigneter Leistungsreserven für jede Lautsprechergruppe erfolgt die eigentliche Verstärkerwahl und die iterative Optimierung. Passende Verstärker werden anhand der ermittelten Gesamtimpedanz pro Kanal und der benötigten Kanalleistung aus der Verstärkerliste ausgewählt. Innerhalb eines Verstärkers dürfen Kanäle aus unterschiedlichen Zonen und mit unterschiedlichen Lautsprechermodellen kombiniert werden, um

Mehrkanalgeräte effizient auszunutzen. Sobald konkrete Verstärker ausgewählt sind, werden die zuvor ermittelten Randbedingungen mit die realen Gerätedaten abgeglichen. Wenn hier Abweichungen auftreten, werden die Kanalaufteilung oder die Verstärkerwahl entsprechend optimiert. Unter anderem werden auch Sonderfälle berücksichtigt, wie zum Beispiel der Bridge-Modus einiger Verstärker, bei dem zwei Kanäle zusammengeschaltet werden können, um höhere Leistungen zu erreichen. Da dieser Prozess viele Varianten zulässt und lange Reasoning-Zeiten des Custom GPT voraussetzt, kann Optimierungspotenzial hierbei leicht übersehen werden. Aus diesem Grund erfolgt zum Abschluss eine Validierung hinsichtlich der erreichten Effizienz der Kanalbelegung.

3.2.3. Kriterien für die Matrix/Steuerzentrale

In Aufgabe 3 wird die zentrale Steuerkomponente des Systems festgelegt. In den meisten Fällen ist dies eine Matrix bzw. Steuerzentrale, über die alle Zonen verwaltet und alle Signale verteilt werden. Auch die Steuerungsmöglichkeiten für den Anwender hängen stark von der Wahl der Matrix ab. Bevor ein konkretes Gerät ausgewählt werden kann, müssen zwei grundlegende Architekturentscheidungen getroffen werden: Wird eine Matrix benötigt, und basiert die Signalführung auf einem analogen Aufbau oder auf einem digitalen, netzwerkbasierten System zum Beispiel mit Dante. Dante ist ein Audio-over-IP-Protokoll, mit dem mehrere Audiosignale digital über ein Standard-Netzwerk übertragen und flexibel geroutet werden können, und bietet in großen Projekten viele Vorteile hinsichtlich Steuerung, Komplexität und Wirtschaftlichkeit.

Wenn das System nur einen Verstärker beinhaltet und Projekte budgetorientiert geplant werden soll, handelt es sich in der Regel um kleine Projekte, beispielsweise eine kleine Bar oder ein einzelner Gastraum. In solchen Fällen kann die Anlage häufig ohne eine Matrix betrieben werden, weil die Signalverteilung und Bedienung direkt am Verstärker erfolgt. Sobald jedoch mehrere Verstärker eingesetzt werden, zusätzliche Inputquellen gewünscht sind oder der Projektfokus auf Qualität liegt, wird ein System mit Matrix geplant. Darauf aufbauend wird die Netzwerkarchitektur festgelegt. Liegt der Fokus auf dem Budget, wird grundsätzlich analog geplant, weil dies in vielen Fällen die einfachste und günstigste Lösung darstellt. Dante wird in dieser Variante nur dann berücksichtigt, wenn sich im Gesamtvergleich ein wirtschaftlicher Vorteil ergibt. Liegt der Planungsfokus auf der Qualität, wird grundsätzlich netzwerkbasiert mit Dante geplant, weil die Vorteile der digitalen Signalverteilung hinsichtlich Flexibilität und Skalierbarkeit Teil des Qualitätsanspruchs sind. Nach diesen Grundsatzentscheidungen erfolgt die konkrete

Auswahl der Matrix aus der Datenbank. Dabei wird jeweils die kleinstmögliche Lösung gewählt, die alle Projektzonen abdeckt. Je nach Systemarchitektur kann die Steuerzentrale dabei auch in Form eines netzwerkfähigen Verstärkers abgebildet werden, der die Rolle eines Controllers übernimmt.

3.2.4. Kriterien für Steuer- und Inputmodule

Sobald die Matrix bzw. der Controller-Verstärker und die Netzwerkarchitektur feststehen, ist Auswahlmenge der Steuer- und Inputmodule deutlich eingeschränkt. In der Praxis ist das ein Vorteil, weil die Auswahl dadurch überschaubar und in vielen Fällen relativ eindeutig wird. Eine starke Abhängigkeit besteht in der Kompatibilität der geplanten Komponenten untereinander. Die Steuer- und Inputmodule müssen zur gewählten Systemarchitektur passen und die Signalübertragung muss entsprechend der festgelegten Netzwerkbeschaffenheit erfolgen. Diese Abhängigkeit ist vor allem für die Steuermodule von entscheidender Bedeutung, da diese in der Regel herstellerspezifisch und an ein bestimmtes Übertragungsprotokoll gebunden sind. Bei Inputmodulen ist dieser Zusammenhang oft weniger kritisch, da sie signaltechnisch deutlich universeller ausgelegt sind. Ein klassisches Audiosignal über Line- oder XLR-Schnittstellen kann nahezu von jeder Matrix verarbeitet werden.

In Aufgabe 4 werden daher bewusst nur solche Module eingeplant, die typischerweise fest in einer Zone als Wandbedienfeld verbaut werden und dort eine direkte Steuerfunktion übernehmen. Gemeint sind also Wandpanels, lokale Lautstärkeregler oder lokale Einspielpunkte. Zonenübergreifende Steuerungen wie zum Beispiel über Apps, Tablets oder Softwareoberflächen werden vorerst nicht eingeplant. Der Grund ist, dass diese Lösungen häufig sehr individuell und stark projektabhängig sind und sich daher nicht verlässlich als klassisches Wandmodul einplanen lassen. Die Auswahl der Steuer- und Inputmodule folgt dabei einem Grundprinzip: Pro Hauptzone wird standardmäßig eine eigene Steuerung und ein eigener Input vorgesehen. Die in den Regeln definierten Nebenzonen werden ausgenommen, weil dort in der Praxis häufig keine lokale Bedienung der Anlage erforderlich ist. Dazu zählen zum Beispiel Bereiche wie WCs, Flure, Outdoor- bzw. Terrassenzonen, Eingänge oder Windfänge, Aufzüge oder Tiefgaragen. Als inhaltliche Mindestanforderung für die Steuerung gilt eine Lautstärkeregelung pro Zone und eine Möglichkeit, den Input bzw. die gewünschte Quelle auszuwählen. In der Ausführung muss hier mindestens ein Line-In oder ein XLR-Eingang verfügbar sein, sofern keine weitergehenden Anforderungen angegeben sind.

3.2.5. Kriterien zur Aufwandsschätzung

Nachdem in den vorherigen Aufgaben sämtliche technische Komponenten festgelegt sind, fehlt für eine belastbare Kostenschätzung vor allem noch die Schätzung des Installationsaufwands vor Ort. Die Aussagekraft der gesamten Schätzung wird nicht nur über die Hardware definiert, sondern auch über die Montage, Inbetriebnahme und eine möglichst genaue Abbildung von den Bedingungen auf der Baustelle. Aus diesem Grund wird die Aufwandsschätzung in dieser Arbeit als eigener Schritt dargestellt. Zudem wird sie von der späteren Kostenberechnung getrennt. Aufgabe 5 liefert demnach ausschließlich zeitbasierte Ergebnisse, also Stunden, Tage, Personenanzahl und eine diverse Reisepakete, jedoch noch keine Geldbeträge. Der Vorteil dieser Trennung ist eine nachvollziehbare Berechnung mit späteren Anpassungsmöglichkeiten. Zeitfaktoren bleiben als Richtwerte bestehen, während Preisänderungen oder Stundensätze später unabhängig davon geändert werden können.

Die Aufwandsschätzung basiert auf Richtwerten aus der Praxis. In der Branche werden Kostenvoranschläge für Montage- und Programmieraufwände häufig über feste Zeitwerte für jede Hardwarekomponente geschätzt. Zusätzlich werden einige Korrektur- und Sicherheitsfaktoren berücksichtigt, weil Baustellenbedingungen in der Realität oft nicht ideal sind. Die Richtwerte in dieser Arbeit stammen aus Erfahrungswerten und aus Vergleichen mit realen Projekten, bei denen die ursprünglich geschätzten Zeiten mit den tatsächlich angefallenen Aufwänden aus abgeschlossenen Installationen verglichen werden. Somit können zwar keine Einzelfälle exakt vorausgesagt werden, jedoch werden durchaus sinnvolle Mittelwerte für typische Abweichungen einbezogen.

Grundlage für die Berechnung des zeitlichen Aufwands ist neben den Stückzahlen aller zuvor festgelegten Komponenten eine Aufwandsliste in der Wissensdatenbank, in der fest definierte Tätigkeiten beschrieben sind. Für jede Tätigkeit wird der passende Aufwandseintrag mit der jeweiligen Stückzahl der Komponente multipliziert. Dabei sind zum einen verschiedene Tätigkeiten pro Gerät berücksichtigt, wie zum Beispiel die Montage unterschiedlicher Lautsprechertypen oder die Programmierung von Verstärkern und Matrizen. Zum anderen sind auch einmalige Zeiten pro Projekt abgebildet, wie zum Beispiel die Baustelleneinrichtung abhängig von der Projektgröße und der Zonenanzahl, der Aufbau eines Rollgerüsts oder die Montage eines Serverschranks.

Damit die Schätzung nicht zu abstrakt bleibt, werden zusätzlich Korrekturfaktoren angewendet, die sich auf die Menge der verplanten Hardware beziehen. Typische Beispiele

sind Zeitanteile für Kabelsuche und Kabelmessung, die durchschnittlich bei einem bestimmten Prozentsatz aller Lautsprecher auftreten. Ebenso werden Faktoren für fehlende Baufreiheit berücksichtigt, da die Absprache zwischen verschiedenen Gewerken auf der Baustelle häufig sehr komplex ist und die Arbeiten dadurch nicht immer wie geplant durchgeführt werden können. Weitere Zuschläge beziehen sich auf besondere Montagebedingungen zum Beispiel mit Schwerlastankern oder auf problematische Beschaffenheiten von Wänden für diverse Bedienfelder. Alle Aufwände werden dabei verschiedenen Personalkategorien zugeordnet, weil Montagearbeiten und Programmierleistungen in der Praxis nicht durch die gleiche Person abgedeckt werden. Dadurch lassen sich Zeiten getrennt summieren und bepreisen.

Neben den reinen Stundenwerten wird auch die notwendige Personenanzahl abgeleitet. Sie ergibt sich aus der Projektgröße, wobei die Zonenanzahl und die Flächengröße der Zonen als Faktoren kombiniert werden. Ziel ist eine realistische Teamgröße, ohne dass der Nutzer des Custom GPT diese bereits bei der Eingabe manuell festlegen muss. Auf Basis der Gesamtstunden wird anschließend die Anzahl der Arbeitstage berechnet, auf die Personenanzahl verteilt und auf halbe Tage aufgerundet. So ergibt sich eine realistische Einsatzplanung vor Ort.

Abschließend wird die Anreise als Reisepaket für typischen Projektwochen definiert. Pro fünf Gesamtarbeitstage wird ein Reisepaket berechnet. Dafür werden Entfernung und Fahrtzeit zwischen Startpunkt und Projektadresse ermittelt und auf realistische Stundenangaben gerundet. Zusätzlich wird eine Regel für die Auswahl der Fahrzeuge definiert, bei der je nach Team- und Projektgröße eine Kombination aus PKW und Transporter einkalkuliert wird. Der Grund für diese Aufteilung sind unterschiedliche Kilometerpreise je nach Art des Fahrzeugs. Übernachtungskosten und Spesen werden hierbei nicht berücksichtigt, da sie in der Praxis oftmals gesondert abgerechnet werden.

3.2.6. Kriterien zur Kostenschätzung

Mit Aufgabe 6 wird der Planungsprozess in die eigentliche Kostenschätzung überführt. Dabei werden zwei zuvor getrennte Ergebnisstränge zusammengeführt. Auf der einen Seite stehen die Hardwarekosten, die sich aus den ermittelten Stückzahlen aller technischen Komponenten und den hinterlegten Preisen ergeben. Auf der anderen Seite stehen die Personalkosten, die aus den in Aufgabe 5 berechneten Zeiten und den zugehörigen Stundensätzen bzw. Pauschalen abgeleitet werden. Ziel ist dabei neben einer Gesamtsumme

auch ein differenziertes Ergebnis in Form einer Angebotsstruktur mit Positionsliste. Dadurch bleibt nachvollziehbar, wie sich die Kosten zusammensetzen, und es entsteht eine Grundlage, auf der nach der Akquisephase direkt in die Fachplanung übergegangen werden kann.

Um die Hardwarekosten zu berechnen, wird jede geplante Komponente ihrem jeweiligen Einkaufs- und Verkaufspreis zugeordnet. Dies geschieht über eine gesonderte Preisliste in der Datenbank, in der sich alle Hardwarekomponenten mit einmaligem Produktnamen wiederfinden lassen. Anschließend wird die aus der Planung resultierende Gesamtstückzahl und damit der Gesamtpreis für jede Komponente berechnet.

Außerdem benötigen viele Lautsprecher, Verstärker, Matrizen und Wandbedienfelder gesondertes Montage- oder Anschlusszubehör, welches in den jeweiligen Produktdatenbanken vermerkt ist. Das Zubehör hat zunächst wenig Einfluss auf die grobe Planung, spielt jedoch in der Preisgestaltung eine Rolle, da es für viele Produkte zwingend notwendig ist. Auch die Zubehöerteile lassen sich über ihren einmaligen Namen in der gesonderten Preisliste wiederfinden und können anschließend in den korrekten Stückzahlen als eigene Kostenposition mit aufgeführt werden.

Die Personalkosten werden auf Basis der bereits berechneten zeitlichen Aufwände ermittelt. Die Arbeitsstunden sind dort bereits nach Personalkategorien getrennt, sodass sie in der Kostenberechnung mit festen Stundensätzen für Techniker, Programmierer oder Bauleiter bewertet werden können. Zudem werden projektbezogene Pauschalen als eigenständige Positionen hinzugefügt. Dazu gehören zum Beispiel eine Kleinteilepauschale, die abhängig von der Projektgröße und der Zonenanzahl gewählt wird, und das Reisepaket, das in Aufgabe 5 bereits strukturiert wurde.

Abschließend wird aus allen Positionen ein Angebot erzeugt. Die Ausgabe erfolgt nach Kategorien, um Hardware- und Personalkosten getrennt voneinander betrachten zu können. Die Hardwarepositionen werden typischerweise in Lautsprecher, Zentraltechnik sowie Steuer- und Inputmodule gegliedert. Das Angebot wird in einer standardisierten Tabellenstruktur mit Positionsnummer, Artikelbezeichnung, Menge, sowie Stück- und Gesamtpreis dargestellt. Abschließend kann über die Netto- bzw. Bruttogesamtsumme auf einen Blick ein konkreter Wert für die gesamten geschätzten Projektkosten abgelesen werden, um das Projekt in kurzer Zeit wirtschaftlich einzuordnen.

3.2.7. Aufbau der Wissensdatenbank

Damit alle sechs Aufgaben des Custom GPT reibungslos funktionieren und gleichzeitig die Übersicht und die Wartbarkeit gewährleistet sind, muss die Wissensdatenbank sinnvoll strukturiert sein. Methodisch besteht sie aus zwei Bausteinen, die strikt voneinander getrennt werden: einem Regelwerk bestehend aus Aufgabe 1 bis 6 und einer Datenbasis in Form von Listen. Letztere enthalten die entsprechenden Produktdaten und Aufwandsfaktoren in strukturierter Tabellenform. Durch diese Trennung lassen sich Änderungen am Regelwerk unabhängig von Produktdaten vornehmen.

Die Produktdaten werden nicht in einer großen Gesamtliste gebündelt, sondern nach Kategorien getrennt angelegt. Lautsprecher, Verstärker, Matrizen sowie Steuer- und Inputmodule haben jeweils eigene Listen mit eigenen Spalten. Zudem gibt es eine separate Aufwandsliste für die zeitlichen Richtwerte. Diese Aufteilung ist fachlich sinnvoll, weil die Datenstrukturen für jede Produktkategorie grundsätzlich unterschiedlich sind. Ein Lautsprecher benötigt beispielsweise andere Parameter als ein Verstärker. So würde eine gemeinsame Liste entweder schnell unübersichtlich werden oder zu vielen leeren Feldern führen. Gleichzeitig lassen sich die Aufgaben schrittweise implementieren, so dass für jede neue Aufgabe die dazugehörigen Listen ergänzt und verbessert werden können, ohne dass die gesamte Wissensbasis jedes Mal neu hochgeladen werden muss. Ein weiterer Vorteil liegt in der Verarbeitung durch das Sprachmodell. Da das Kontextfenster begrenzt ist, wird die Ergebnisqualität um ein Vielfaches besser, wenn das Custom GPT pro Aufgabe nur die jeweils relevante Liste durchsuchen muss. Dadurch sinkt der Rechenaufwand und es wird wahrscheinlicher, dass die Ergebnisse konsistent bleiben. Gleichzeitig verbessert sich die Wartbarkeit und Skalierbarkeit: Wenn neue Lautsprecher oder Steuerungsmodule ergänzt werden, muss nur die entsprechende Datei angepasst werden, während der restliche Aufbau bestehen bleibt.

Eine übergeordnete Entscheidung betrifft das Design der Preislistenlogik. Preise werden nicht in den jeweiligen Produktlisten angegeben, sondern in separaten Preislisten geführt. Es existiert eine Preisliste für Hardware und eine Personalkostenliste für Stundensätze und Pauschalen. Der Schlüssel ist dabei ein einmaliger Produktname, der in den Produktlisten referenziert wird und in der Preisliste eindeutig wiedergefunden werden kann. Diese Trennung ist in der Praxis besonders hilfreich, weil die Preislisten der Hersteller sich regelmäßig ändern. So ist eine Aktualisierung möglich, ohne dass neue Herstellerpreislisten in die verschiedenen Produktkategorien aufgeteilt werden müssen und ohne, dass jede

einzelne Komponentenliste angepasst werden muss. Gleichzeitig wird das Ergänzen von Zubehör deutlich einfacher. Zubehörteile müssen nicht als eigene Produktkategorie mit vollständiger technischer Spezifikation aufgelistet werden, sondern können in den Produktlisten referenziert und über die Hardwarepreisliste als Kostenpunkt mitgeführt werden.

Für die prototypische Umsetzung wird die Wissensdatenbank bewusst auf einen Hersteller beschränkt. In der Entwicklungsphase des Custom GPT ist es nicht zwingend erforderlich, einen vollständigen Produktkatalog mit vielen Marken abzubilden. Ein überschaubarer Umfang erleichtert die Implementierung und vereinfacht das Debugging erheblich. In dieser Arbeit wird dafür AUDAC als Beispielhersteller gewählt. Ausschlaggebend ist zum einen eine gute Strukturierung der Datenblätter, sodass die einzelnen technischen Parameter effizient in Listen übertragen werden können. Zum anderen existieren Referenzprojekte aus der Praxis, die ebenfalls mit AUDAC-Hardware geplant wurden, was den Vergleich zwischen Kostenschätzungen des Custom GPT und realen Fachplanungen erleichtert. Zudem bewegt sich AUDAC preislich in einer gehobenen Mittelklasse und deckt damit viele Anwendungen im Hospitality-Bereich ab. Die Struktur der Datenbank ist jedoch so angelegt, dass Produkte weiterer Hersteller später hinzugefügt werden können, ohne die grundlegende Architektur der Wissensbasis zu verändern.

3.3. Bewertungsmethoden

Um das Custom GPT und dessen praktische Anwendbarkeit in dieser Arbeit sinnvoll bewerten zu können, müssen in der Bewertungsmethodik sowohl die reine Kostenseite als auch die inhaltliche Planung berücksichtigt werden. Die Qualität der Ergebnisse lässt sich dabei grundsätzlich auf zwei Wegen beurteilen. Zum einen kann quantitativ geprüft werden, wie stark die vom Custom GPT berechneten Kosten von den realen Kosten aus diversen Referenzprojekten abweichen. Zum anderen kann qualitativ bewertet werden, ob die vom Custom GPT geplanten Komponenten und Planungsentscheidungen technisch sinnvoll sind und mit den Ergebnissen einer realen Fachplanung übereinstimmen. Für beide Bewertungsarten ist eine solide Basis in Form von Referenzprojekten erforderlich, die jeweils unterschiedliche Projektgrößen abdecken. Diese Projekte dienen als Vergleichsgrundlage, um sowohl die durch das Custom GPT ermittelten Gesamtkosten als auch die zugrunde liegende technische Planung mit einer realen Planung vergleichen zu können.

Für die Bewertung muss zunächst definiert werden, was in dieser Arbeit konkret als Zielwert gilt. Der Output des Custom GPT ist bewusst als Angebotsstruktur angelegt. Es sollen wie anfangs beschrieben nicht die tatsächlichen Endkosten eines fertiggestellten Projekts vorausgesagt werden, sondern eine Kostenschätzung erzeugt werden, die in Form und Inhalt einem Angebot entspricht, wie es dem Kunden nach einer professionellen Fachplanung vorgelegt werden würde. Der Maßstab für den Vergleich ist daher das jeweilige Angebot eines realen Referenzprojekts. In der Realität können die tatsächlichen Projektkosten nach Umsetzung selbst bei einer vollständigen Fachplanung vom Angebot abweichen. Solche Abweichungen hängen stark von individuellen Projektfaktoren ab, wie zum Beispiel von den Baustellengegebenheiten, von Schnittstellen mit anderen Gewerken oder von nachträglichen Änderungen. Da das entwickelte System konkret den Angebotsprozess beschleunigen soll, ist ein Vergleich mit den finalen Ist-Kosten zwar grundsätzlich interessant, würde aber den Kern der Arbeit verfehlen. Entscheidend ist, wie nah das Custom GPT an die Kosten herankommt, die ein Fachplaner nach einer manuellen Planung in Form eines Angebots ansetzen würde.

3.3.1. Auswahl und Nutzung von Testprojekten

Für die Auswahl der Testprojekte ist es sinnvoll, unterschiedliche Größenordnungen abzudecken. Gleichzeitig muss der Umfang der Bewertung handhabbar bleiben. Ein einzelnes Projekt ist in sich bereits komplex, vor allem wenn die Ergebnisse nicht nur über die Gesamtsumme, sondern auch qualitativ über die technischen Planungsentscheidungen bewertet werden sollen. Ein breiter Vergleich mit vielen Projekten wäre zwar möglich, würde dann aber zwangsläufig oberflächlich bleiben. Da es in dieser Arbeit besonders um die Qualität der Planung und deren Eignung für eine belastbare Kostenschätzung geht, ist ein detaillierter Blick auf wenige Referenzprojekte besser geeignet. Aus diesem Grund wird die Bewertung auf drei reale Projekte begrenzt. So können die Ergebnisse im angemessenen Rahmen dieser Arbeit geprüft werden und zugleich diverse Anwendungsfälle abgebildet werden.

Die in dieser Arbeit verwendeten Testprojekte und die damit verbundenen realen Kostenblöcke wurden von einem aus Datenschutzgründen namentlich nicht genannten Fachplanungsunternehmen aus Schleswig-Holstein zur Verfügung gestellt (Fachplanungsunternehmen, Name nicht genannt, 2025). Diese Daten bilden die Grundlage für die Bewertung der Ergebnisse dieser Arbeit. Die Projekte wurden nahezu vollständig mit Hardware des Herstellers AUDAC geplant. Damit bleibt der Vergleich konsistent, weil das

Custom GPT in der Prototypversion auf genau dieses Herstellerportfolio zurückgreift. Die Projekte unterscheiden sich in ihrer Größe, in ihrer Komplexität und in den jeweils zu Grunde liegenden Nutzungsszenarien.

Das erste Testprojekt ist das „Me and All Hotel Berlin“. Es handelt sich um ein mittelgroßes Projekt mit insgesamt acht Zonen und vergleichsweise großen Flächen. Der Fokus liegt auf einer qualitativ hochwertigen Planung in Bezug auf die Auswahl der Produkte sowie der Systemarchitektur. In Bereichen wie Lobby und Bar treten neben klassischer Hintergrundbeschallung auch Szenarien mit Vordergrundlautstärke auf, zum Beispiel wenn Veranstaltungen stattfinden oder DJs spielen. Damit ist das Projekt besonders geeignet, um zu prüfen, ob die Regeln zur Zonierung, zur Lautsprecherdimensionierung und zur Steuerungsarchitektur auch bei einer höheren Anzahl an Zonen funktionieren. Zusätzlich liegt für dieses Projekt eine konkrete Angabe zur Nachhallzeit vor, sodass der Kontrollschritt der elektroakustischen Berechnung für mehrere Zonen durchgeführt und in der Bewertung berücksichtigt werden kann.

Das zweite Testprojekt ist „Der Player“ in Hamburg und stellt das größte der drei Projekte dar. Es umfasst insgesamt zehn Zonen und ist ebenfalls auf Qualität ausgelegt. Eine Besonderheit ist hier, dass sehr viele Zonen über eine zentrale Steuerung abgesprochen werden sollen. Auf Grund der hohen Komplexität eignet sich das Projekt als Belastungstest für das Custom GPT. Es wird überprüft, wie stabil das System in diesem Fall bleibt und ob es alle Zonen konsistent verarbeitet. Zusätzlich wird damit getestet, ob die Regeln zur Lautsprecherstückzahl auch bei großen Flächen sinnvolle Werte liefern. Gleichzeitig deckt nur dieses Projekt sehr hohe Ziellautstärken im Bereich von Clublautstärke ab. Für dieses Projekt lagen zum Zeitpunkt der echten Angebotserstellung keine Nachhallzeiten vor, sodass der elektroakustische Kontrollschritt hier entfällt und der Bewertungsfokus stärker auf die Plausibilität der Planung fällt.

Das dritte Testprojekt ist „Das Lokal“ in Hamburg. Es ist mit vier Zonen deutlich kleiner und budgetorientiert geplant. Insgesamt gibt es zwei Gasträume, einen Stammtischraum und einen Außenbereich. Dieses Projekt wurde gewählt, um die untere Grenze des Ansatzes zu betrachten. Zum einen lässt sich prüfen, ob die Regeln zur Dimensionierung und zur Stückzahlermittlung auch in kleinen Räumen sinnvolle Ergebnisse liefern. Zum anderen ist es besonders relevant für die Aufwandsschätzung. Gerade bei kleinen Projekten dürfen die Korrekturfaktoren und Projektpauschalen für die Personalkosten nicht zu stark in die

Richtung eines Großprojekts kippen. Mit diesem Projekt lässt sich also beurteilen, ob die Schätzung der zeitlichen Aufwände sinnvoll herunterskaliert werden kann und ob die Personalkosten im Verhältnis zur Projektgröße realistisch sind.

3.3.2. Quantitative Bewertungsmethode

Die quantitative Bewertung bezieht sich auf die konkret geschätzten Kosten und vergleicht die Ergebnisse des Custom GPT mit den Kosten aus realen Angeboten, die im Zuge einer manuellen Fachplanung erstellt wurden. Für jedes Testprojekt werden drei Kennzahlen betrachtet: die Hardwarekosten, die Personalkosten und die daraus resultierenden Gesamtkosten. Die Abweichung wird jeweils als prozentuale Differenz zwischen der GPT-Schätzung und dem Referenzangebot berechnet. Als Zielkriterium gilt die in Hypothese H2 formulierte Toleranz: Die Abweichung soll pro Projekt innerhalb von $\pm 20\%$ liegen. Um die Vergleichbarkeit realer Angebote mit der Kostenschätzung des Custom GPT weiter zu erhöhen, wird für weit in der Vergangenheit liegende Projekte eine Korrektur der ursprünglichen Hardwarepreise zum aktuellen Kurs berücksichtigt. Dadurch lässt sich die Güte der Kostenschätzung ohne zusätzlichen Interpretationsspielraum bewerten.

Da diese Form der Bewertung nach einem Durchgang noch nicht valide ist, wird sie um eine iterative Konsistenzprüfung ergänzt. Das Custom GPT wird pro Projekt mehrfach mit identischen Eingangsparametern ausgeführt und die resultierenden Kosten werden jeweils erneut mit dem Referenzangebot verglichen. So lässt sich prüfen, ob die Schätzung stabil bleibt oder ob sich die Summen nennenswert verändern, obwohl die Ausgangsdaten gleich sind. Diese Wiederholungen dienen als Test für die Reproduzierbarkeit des Systems und reduzieren das Risiko, dass ein einzelnes Ergebnis lediglich zufällig innerhalb der Zielabweichung liegt. Die inhaltliche Einordnung, warum eine Schätzung in bestimmten Punkten abweicht, erfolgt anschließend in der qualitativen Bewertung.

3.3.3. Qualitative Bewertungsmethode

Die qualitative Bewertung ergänzt den reinen Kostenvergleich um die fachliche Einordnung der Planungslogik. Sie betrachtet, ob die Entscheidungen des Custom GPT im Grundsatz sinnvoll sind und ob sie zu den Anforderungen des Projekts passen. Im Mittelpunkt steht die Frage, ob die Auswahl der Komponenten nachvollziehbar und technisch stimmig ist und ob sie den Regeln entspricht. Gerade weil die Planung in dieser Arbeit vermehrt auf Faustregeln und vereinfachten Eingangsparametern basiert, ist eine exakte Übereinstimmung einzelner Stückzahlen oder Hardwaremodelle nicht das Ziel der Bewertung.

Bei der Lautsprecherplanung wird deshalb vor allem geprüft, ob die grundlegende Herangehensweise zum Nutzungsszenario und zu den Rahmenbedingungen passt. Es wird zum Beispiel bewertet, ob der gewählte Lautsprechertyp zur Deckenbeschaffenheit und zur Zone passt, ob die Dimensionierung plausibel ist und ob die Auswahl von Bässen oder Sondertypen korrekt aus den Eingangsparametern abgeleitet wird. Wenn Nachhallzeiten vorliegen, kann zusätzlich eingeordnet werden, ob der Kontrollschritt der elektroakustischen Berechnung in der richtigen Form durchgeführt wurde und ob daraus sinnvolle Konsequenzen gezogen werden. Die Verstärkerplanung lässt sich in der qualitativen Bewertung eindeutiger prüfen, weil sie sich weitgehend aus den geplanten Lautsprechern ergibt. Es wird vor allem bewertet, ob die Zuordnung zu den Verstärkerkanälen rechnerisch korrekt ist, ob Impedanzen und Leistungsreserven stimmen und ob die Auswahlstrategie zum Projektfokus passt (Budget-Optimierung gegenüber Qualitätsfokus). Hinsichtlich der Auswahl der Matrix und der Steuer- und Inputmodule wird bewertet, ob die System- und Netzwerkarchitektur zum Projekt und zu den Anforderungen an die Steuerung passt und inwiefern die ausgewählten Module kompatibel zur Zentraltechnik sind. Bei der Aufwandsschätzung liegt der Schwerpunkt darauf, ob die Größenordnung der Stunden mit den einbezogenen Korrekturfaktoren und Pauschalen im Verhältnis zur Projektgröße passen. Insgesamt liefert die qualitative Bewertung damit die inhaltliche Erklärung zu den Zahlen aus der quantitativen Analyse. Sie zeigt, inwiefern das Custom GPT fachlich korrekt arbeitet, welche Gründe es für eventuelle Abweichungen in der Planung gibt und wo noch Verbesserungspotential besteht.

4. Durchführung und Implementierung des Custom GPT

In diesem Kapitel wird die zuvor entwickelte Methodik in ihrer praktischen Umsetzung beschrieben. Während in Kapitel 3 die fachliche Herleitung der sechs Aufgaben mit den dahinterliegenden Regeln im Vordergrund standen, liegt der Schwerpunkt nun auf der tatsächlichen Implementierung des Custom GPT. Dazu gehört die konkrete Umsetzung aller Aufgaben sowie der Aufbau der Wissensdatenbank. Außerdem wird dargestellt, welche Aufgabenteile in der Praxis direkt funktionieren und an welchen Stellen Hindernisse oder Fehlerbilder auftreten. Zudem werden die Lösungsansätze beschrieben, mit denen die Planungsschritte so angepasst werden, dass sie stabil ausgeführt werden können. Sobald das Custom GPT einen finalen Stand erreicht, werden im zweiten Teil dieses Kapitels die vorgesehenen Testdurchläufe anhand der drei Testprojekte durchgeführt. Die Ergebnisse werden anschließend anhand der in Kapitel 3 definierten Bewertungsmethoden eingeordnet.

4.1. Umsetzung des Custom GPT

Für die Umsetzung des Custom GPT wird das in Kapitel 3 beschriebene Konzept Schritt für Schritt in die tatsächliche GPT-Konfiguration übertragen. Dabei zeigt sich schnell, dass die technische Logik allein nicht ausreicht, solange sie nicht in eine Form gebracht wird, die das Modell zuverlässig und reproduzierbar abarbeiten kann. Ein wesentlicher Teil der Implementierung besteht daher aus iterativem Testen und Nachjustieren. Nach jedem Durchlauf wird geprüft, welche Regeln korrekt funktionieren, wo das Modell Abkürzungen nimmt oder Schritte auslässt, und an welchen Stellen die sprachlichen Formulierungen der Aufgaben noch angepasst werden müssen.

Der erste Schritt der Umsetzung bezieht sich auf das Hinweissfeld im Custom GPT-Editor. Dieses Feld definiert das Grundverhalten des GPT. Dazu gehören Zielsetzung, Antwortverhalten, Tonalität, Eingabeformate und die übergeordneten Leitplanken, nach denen geplant werden soll. Abbildung 2 zeigt die Benutzeroberfläche der Arbeitsumgebung inklusive des Hinweissfeldes und der Möglichkeit zum Hochladen von Wissensdateien. In der Praxis ist das Hinweissfeld jedoch auf eine gewisse Zeichenanzahl begrenzt. Es eignet sich gut für die Beschreibung des übergeordneten Verhaltens des GPT, aber nicht dafür, sechs umfangreiche Aufgaben mit vielen Unterregeln vollständig dort unterzubringen. Genau daraus entsteht eine grundlegende Entscheidung hinsichtlich der Implementierung. Die Aufgaben 1 bis 6 sind inhaltlich zwar nichts anderes als Hinweise und Regeln und gehören methodisch betrachtet deshalb genau in dieses Feld. Da das in der verfügbaren

Länge jedoch nicht abbildbar ist, wird ein Workaround gewählt. Der Workaround besteht darin, die Aufgabenbeschreibungen als einzelne Textdateien in die Wissensdatenbank zu verlagern und im Hinweisfeld explizit darauf hinzuweisen, diese Dateien vor jeder Bearbeitung vollständig einzulesen. Zudem sollen sie so behandelt werden, als wären sie Teil der Systemhinweise. Damit wird die Wissensdatenbank in dieser Arbeit nicht nur als Datenquelle verwendet, sondern zusätzlich als Ablageort für das Regelwerk des Custom GPT. Der vollständige Hinweistext für das Custom GPT ist in Anhang A dargestellt.

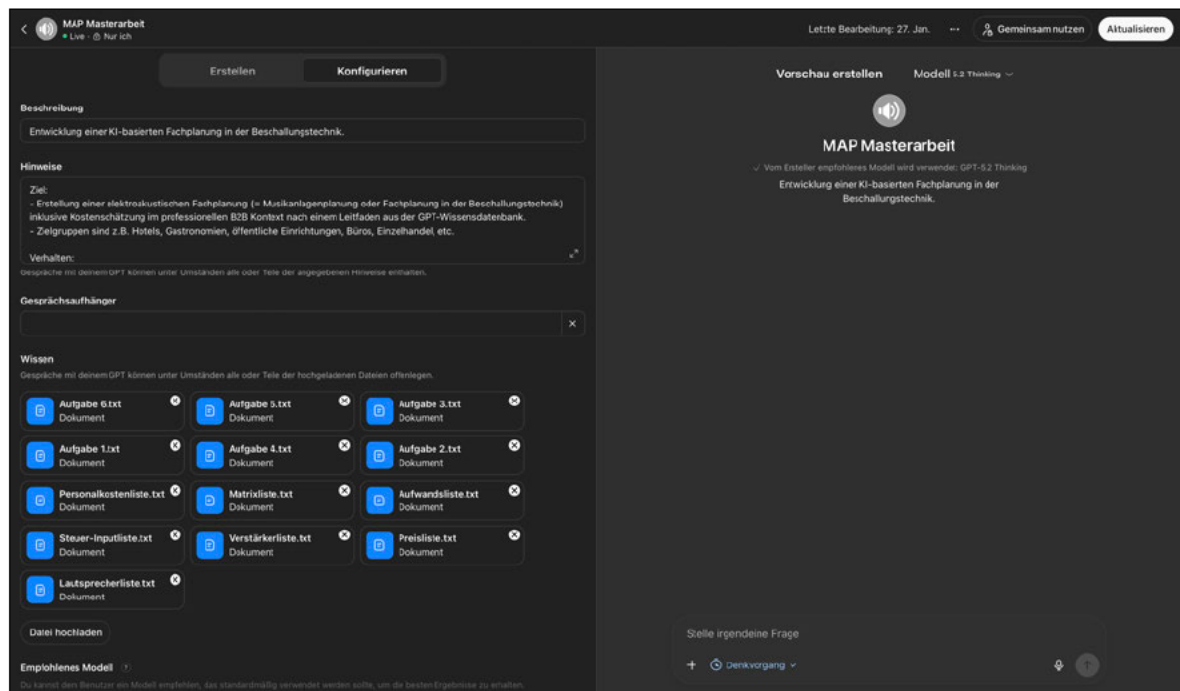


Abbildung 2: Benutzeroberfläche der Arbeitsumgebung für die Erstellung eines Custom GPT

Wichtig für die Realisierung ist dabei auch der technische Rahmen der Plattform. Zum Zeitpunkt dieser Arbeit wird das Custom GPT in der ChatGPT-Umgebung in der Plus-Version umgesetzt. In dieser Konfiguration ist die Wissensdatenbank auf maximal 20 Dateien begrenzt, bei einer aktuellen Upload-Grenze von 512 MB pro Datei. Diese Grenzen wirken sich direkt auf die Struktur der Implementierung aus, da die Aufgaben so aufgebaut sein müssen, dass sie mit wenigen Dateien auskommen, ordentlich strukturiert sind und trotzdem alle notwendigen Regeln enthalten, die das GPT für eine vollständige Planung benötigt. Damit diese Auslagerung stabil funktioniert, liegt jede der sechs Aufgaben als eigene Textdatei vor, die jeweils in die einzelnen Planungsschritte gegliedert sind. Das Hinweisfeld übernimmt dabei die Rolle einer „Regieanweisung“ und legt zum Beispiel fest, dass die Inhalte aus den Aufgaben immer Vorrang gegenüber internem Modellwissen haben, dass vor jedem Durchgang die relevanten Dateien einzulesen sind, dass Korrektheit oberste

Priorität hat und dass die Ergebnisse erst nach einer Selbstprüfung final ausgegeben werden dürfen. Parallel dazu wird im Hinweissfeld der Rahmen für die Benutzung festgelegt. Dazu gehört vor allem die nachfolgende standardisierte Eingabestruktur.

1. Allgemeine Projektinformationen, die für alle Zonen gelten und überall berücksichtigt werden müssen:

- Projektname
- Anschrift
- Fokus auf Qualität oder Budget
- weitere allgemeine Informationen/Besonderheiten

2. Zonenspezifische Informationen für jede einzelne zu beschallende Zone:

- Zonenname
- Fläche in x- und y-Maßen
- Deckenhöhe
- Deckenbeschaffenheit
- Ziellautstärkebereich
- Nachhallzeit, wenn verfügbar
- Ohrenhöhe, wenn verfügbar
- bevorzugter Lautsprechertyp, wenn verfügbar
- Besonderheiten/Restriktionen, wenn verfügbar
- bevorzugte Steuerungsmöglichkeiten, wenn verfügbar
- bevorzugte Inputmöglichkeiten, wenn verfügbar

Diese Struktur ist nicht so starr wie ein klassisches Eingabeformular, da sie freie Formulierungen zulässt und auch bei unvollständigen Eingaben funktioniert. Sie definiert jedoch die Mindestparameter, die benötigt werden, damit die Regeln konsequent angewendet werden können. Auf dieser Grundlage beginnt die Implementierung wie in Kapitel 3 beschrieben mit der Lautsprecherplanung und wird dann entlang der anderen Aufgaben und der Erstellung der Wissensdatenbank fortgeführt. Die einzelnen Iterationen, Korrekturen und sprachlichen Anpassungen sind dabei ein wesentlicher Teil der Umsetzung. Viele dieser Anpassungen beziehen sich nicht nur auf die fachlichen Inhalte einzelner Aufgaben, sondern auf allgemeine Themen, die in der gesamten Implementierung wiederholt auftreten. Dabei geht es vor allem um die generellen Bedingungen, unter denen das Custom GPT die Regeln zuverlässig lesen und während mehreren aufeinanderfolgenden Schritten konsequent ausführen kann.

Ein wichtiges Thema ist die Verbindlichkeit von Regeln. In frühen Testdurchläufen werden die Regeln von dem Sprachmodell teilweise wie Empfehlungen behandelt, insbesondere dann, wenn Formulierungen durch Worte wie „sollte“ oder „kann“ zu weich sind oder wenn mehrere Kriterien gleichzeitig erfüllt werden sollen. Dadurch werden notwendige Mindestanforderungen zwar verstanden, teilweise jedoch nicht konsequent umgesetzt. In der Implementierung wird dieses Problem durch eine sprachliche Verschärfung gelöst. Regeln werden als „Muss“-Regeln formuliert, Prioritäten werden neu gesetzt und Verneinungsregeln werden so beschrieben, dass bestimmte Handlungen eindeutig ausgeschlossen sind. So können die Planungsanweisungen in der Praxis reproduzierbar ausgeführt werden.

Damit verbunden ist unter anderem die Begrenzung des internen Kontextfensters des Sprachmodells. Im Reasoning-Prozess wirkt es teilweise so, als würden Aufgaben mitten im Text abbrechen oder einzelne Abschnitte nicht berücksichtigt werden. Die Dateien sind dabei nicht fehlerhaft, sondern das Modell liest die Texte schrittweise in Teilfenstern und bewertet die Informationen unterschiedlich. Für die Umsetzung bedeutet das, dass Regeln so strukturiert sein müssen, dass sie unter der Begrenzung des Kontexts zuverlässig gefunden werden können. Dazu gehören eine sinnvolle Aufteilung mit Zwischenüberschriften und das wiederholte Hervorheben besonders wichtiger Regeln in einer sinnvollen Reihenfolge.

Ein weiteres übergreifendes Thema ist die Lesbarkeit der Wissensdatenbank. Die Planungsschritte beziehen sich auf strukturierte Listen, deren Werte für die Planung zuverlässig ausgelesen werden müssen. In der Praxis fällt auf, dass Unklarheiten in Spaltenbezeichnungen, uneinheitliche Schreibweisen oder nicht eindeutige Schlüsselwörter schnell zu einer falschen Zuordnung führen. Aus diesem Grund müssen Datenformate, Benennungen und die eindeutigen Produktnamen konsequent standardisiert werden.

Da in der frühen Akquisephase häufig nicht alle Projektparameter vorliegen, muss auch der Umgang mit fehlenden Eingangsdaten berücksichtigt werden. Wenn Werte wie Nachhallzeiten oder genaue Nutzungsvorgaben fehlen, darf das Custom GPT nicht scheinengenau arbeiten oder halluzinieren, sondern muss auf konkrete Ersatzannahmen oder auf vereinfachte Schätzregeln zurückgreifen. Im Ergebnis müssen daher berechnete und geschätzte Werte voneinander getrennt bleiben, um die Planung weiterhin nachvollziehen zu können.

Schließlich ist die Selbstprüfung ein essenzieller Teil in der Umsetzung des Custom GPT. Gerade bei mehrstufigen Aufgabenketten kommt es teilweise vor, dass einzelne Regeln korrekt angewendet werden, das Gesamtergebnis jedoch teilweise inkonsistent ist. Zum Beispiel können in solchen Fällen unvollständige Zuordnungen, übersehene Sonderfälle oder unklare Lautsprecherdimensionierungen auftreten. Aus diesem Grund wird das Modell in den Aufgaben konsequent auf einen zweiten Prüf- und Korrekturdurchlauf hingewiesen, bevor die Ergebnisse final ausgegeben werden dürfen. Dadurch steigt die Qualität der Ergebnisse deutlich, während an der Logik selbst nichts verändert werden muss. In den folgenden Unterkapiteln wird dargestellt, wie die jeweiligen Regeln im Custom GPT konkret implementiert, getestet und über mehrere Iterationen stabilisiert werden. Die einzelnen für das Custom GPT formulierten Aufgabentexte sind in Anhang B ersichtlich.

4.1.1. Integration der Lautsprecherlogik

Die Lautsprecherlogik wird in der Umsetzung so integriert, wie sie in Kapitel 3 methodisch dargestellt wurde, beginnend bei der Dimensionierung und endend bei der elektroakustischen Kontrolle. Dabei wird sowohl hier als auch bei den nachfolgenden Aufgaben ein bestimmtes Vorgehen verwendet. Zunächst wird das umzusetzende Ziel der aktuellen Aufgabe definiert, anschließend werden Testdurchläufe durchgeführt, danach werden Fehlerbilder betrachtet und entsprechende Anpassungen vorgenommen und schließlich wird festgelegt, ab welchem Kriterium dem die Aufgabe als ausgereift gilt.

Ziel der Implementierung ist es, dass das Custom GPT aus wenigen Projektparametern eine Lautsprecherplanung erzeugt, die innerhalb des definierten Rahmens liegt und sich mit den gleichen Eingabeparametern wiederholen lässt. Die Regeln zur Dimensionierung müssen zuverlässig eingehalten werden, die Lautsprechertypen müssen zu den baulichen Bedingungen passen, die Stückzahlen müssen nach den festgelegten Faustformeln berechnet werden und die Modelle müssen ausschließlich aus der Lautsprecherliste ausgewählt werden. Für die Teststrategie werden zunächst kleine Testprojekte mit wenigen Zonen verwendet, um Abweichungen schnell erkennen zu können und die Missachtung von Regeln eindeutig zuordnen zu können. Anschließend werden gemischte Bedingungen getestet wie zum Beispiel eine Zone mit abgehängter Decke und Hintergrundmusik im Budgetfokus sowie eine Zone mit massiver Decke und Vordergrundmusik im Qualitätsfokus. Dadurch wird geprüft, ob das System korrekt nach den Abhängigkeiten entscheidet und die Eingabedaten vollständig verarbeitet. Ergänzend werden die Stückzahlregeln durch eigene Simulationen in fachlicher Hinsicht abgesichert. Dazu werden für die Faustformeln der

Aufbaulautsprecher Beispielsimulationen im Programm EASE mit einem Lautsprechermodell mit typischer Abstrahlcharakteristik durchgeführt, jeweils auf einer Fläche von 100 m² mit einer Deckenhöhe von 2,50 m, 3,00 m und 4,00 m. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt und zeigen, dass die gewählten Lautsprecherstückzahlen bei den entsprechenden Abstufungen der Deckenhöhe jeweils eine ausgewogene Schallabdeckung erzeugen.

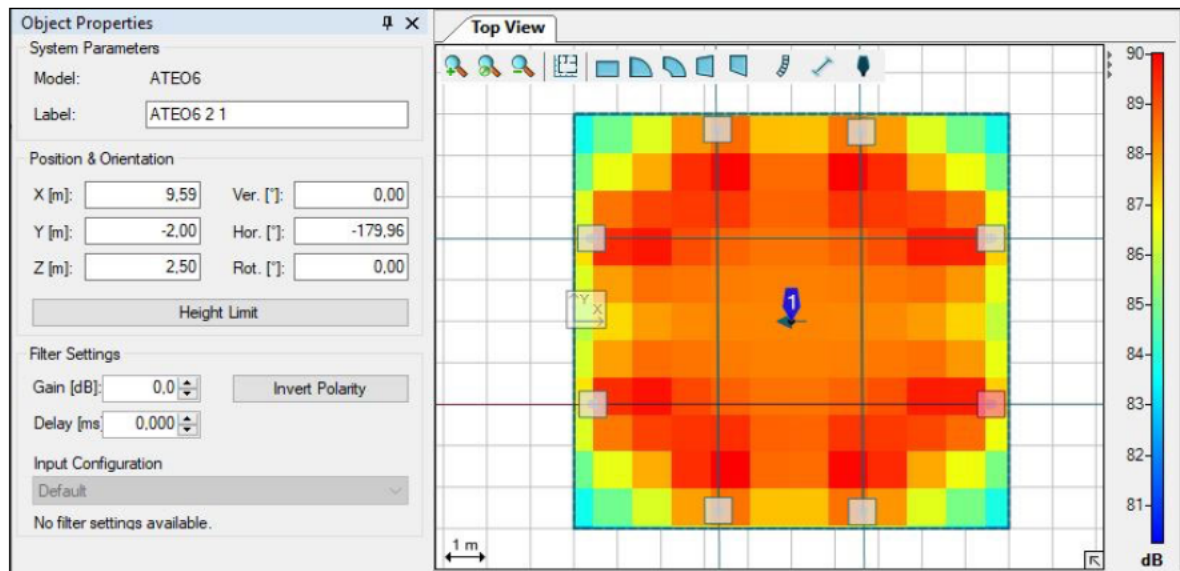


Abbildung 3: EASE-Simulation zur Schallabdeckung: Deckenhöhe $Z = 2,5$ m und 8 Lautsprecher

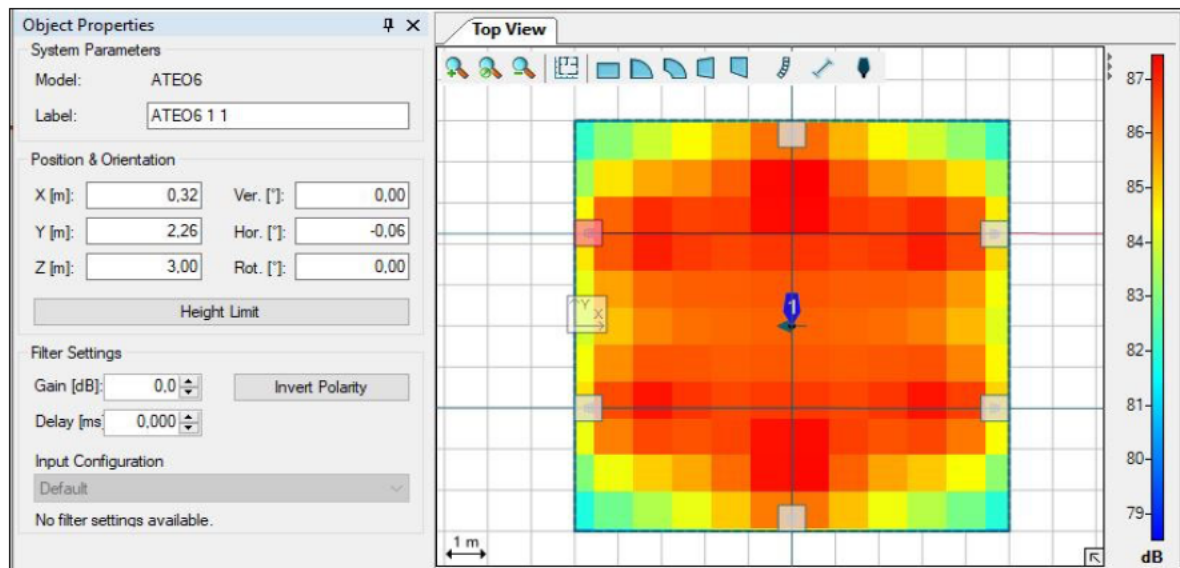


Abbildung 4: EASE-Simulation zur Schallabdeckung: Deckenhöhe $Z = 3,0$ m und 6 Lautsprecher

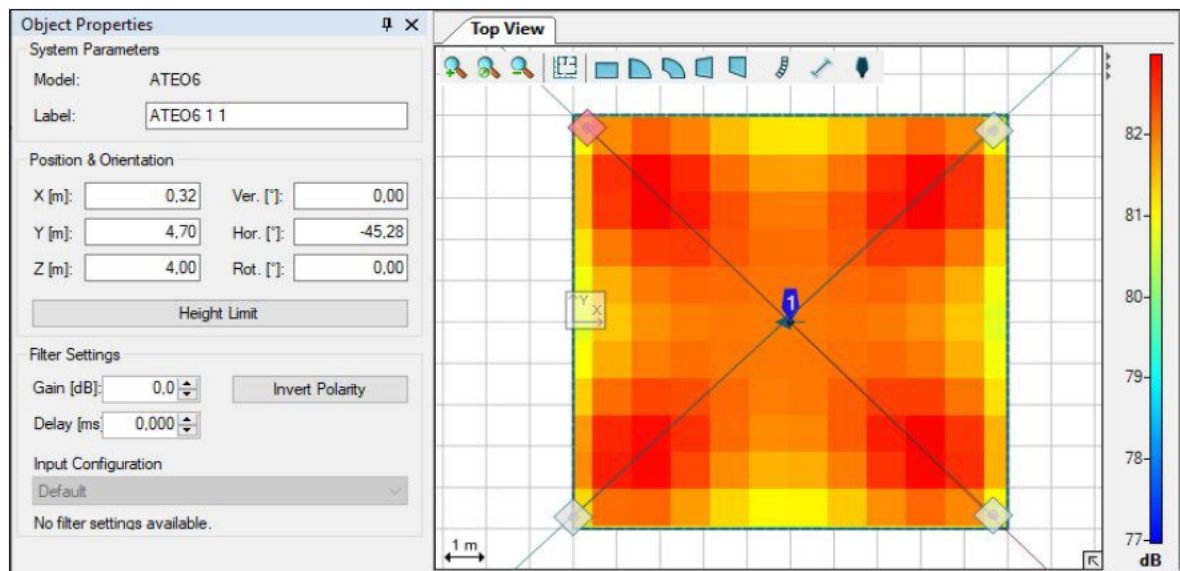


Abbildung 5: EASE-Simulation zur Schallabdeckung: Deckenhöhe $Z = 4,0$ m und 4 Lautsprecher

Aus den durchgeführten Tests zur Umsetzung der Lautsprecherlogik ergibt sich die Notwendigkeit mehrerer Anpassungen. Ein Fehlerbild entsteht zum Beispiel durch die Grenzbereiche der Dimensionierungslogik in Bezug bestimmte Sonderzonen. Beispielsweise werden aus der grundlegenden Dimensionierungszuordnung bestimmte Lautsprechermodelle ausgewählt, die für entsprechende spezielle Zonen nicht in Frage kämen. Beispielsweise Bässe in langen Fluren oder ungeeignete Abstrahlcharakteristika für die Sprachübertragung in Konferenzräumen. Hier zeigt sich, dass einfache Zuordnungen zwar als Startlogik funktionieren, aber erst durch definierte Ausnahmen vervollständigt werden. Zur Anpassung werden Ausschlussregeln und Prioritäten ergänzt, die bestimmte Kombinationen verbieten. Parallel dazu wird die Struktur der Aufgaben so gestaltet, dass sie auch bei einem unvollständigen Einlesen des Textes auf Grund eines begrenzten Kontextfensters des Sprachmodells zuverlässig funktioniert. Die entscheidenden Regeln sind dort platziert, wo sie im Ablauf konkret gebraucht werden, und die wichtigsten Punkte werden an den Stellen wiederholt, an denen sie typischerweise übersehen werden.

Ein wesentlicher Schritt in der Umsetzung ist außerdem die Integration der elektroakustischen Berechnung. Die Herausforderung darin, Formeln so in Textform zu beschreiben, dass ein Sprachmodell daraus tatsächlich eine Berechnung ableitet. In der Implementierung wird deshalb nicht nur eine komplexe Formel beschrieben, sondern die Berechnung wird in einzelne Teilschritte zerlegt. Das Modell sammelt zuerst die notwendigen Werte, berechnet die einzelnen Zwischenergebnisse und löst die Formel nach der elektrischen Leistung auf. In den Tests zeigt sich, dass das Custom GPT diese Schritte

zuverlässig ausführen kann. Voraussetzung dafür ist, dass die Berechnung als expliziter Rechenschritt erfolgt und zur Durchführung der interne Code-Interpreter verwendet wird, der es dem Custom GPT ermöglicht, Berechnungen akkurat mit Python durchzuführen. In Fällen, bei denen die Nachhallzeit fehlt, wird die Berechnung nicht künstlich erzwungen, sondern als nicht durchführbar markiert, sodass die Planung bei den Schätzregeln bleibt.

Die erste Aufgabe gilt als einsatzbereit, sobald Nebenbereiche wie WCs oder Flure zuverlässig als Sonderfall erkannt werden, die Wahl des Lautsprechertyps konsistent zu den baulichen Rahmenbedingungen passt, die Modellwahl nachvollziehbar aus der Lautsprecherliste erfolgt und die elektroakustische Berechnung erfolgreich durchgeführt wurde. Diese Punkte werden in mehreren Projektdurchläufen validiert, so dass die Ergebnisse als Grundlage für die nachfolgende Verstärkerplanung verwendet werden können.

4.1.2. Integration der Verstärkerlogik

Die Verstärkerlogik wird in Aufgabe 2 so umgesetzt, dass die aus Aufgabe 1 geplanten Lautsprecher vollständig auf Verstärkerkanäle verteilt werden und am Ende eine technisch nachvollziehbare Kanalbelegung entsteht. Dabei stehen drei Anforderungen im Vordergrund: Jeder Lautsprecher muss eindeutig einem Kanal zugeordnet sein, die Kanalwerte müssen innerhalb der zulässigen Grenzen bleiben und die endgültige Lösung muss im Projektkontext dem jeweiligen Fokus in Bezug auf Budget oder Qualität entsprechen. Aufgabe 2 besteht also nicht nur aus konkreten Rechenschritten, sondern stellt eine iterative Optimierungsaufgabe dar, bei der mehrere Ziele gleichzeitig berücksichtigt werden müssen.

In verschiedenen Testdurchläufen zeigt sich schnell, dass das Ziel der Effizienz in der Aufgabenbeschreibung besonders hervorgehoben und erklärt werden muss. In der Verstärkerplanung bedeutet es weit mehr als nur die Anzahl der verwendeten Geräte gering zu halten. Effizienz bedeutet auch, dass einzelne Kanäle nicht frei bleiben, dass Verstärkerleistung nicht in großen Blöcken ungenutzt bleibt und dass die Geräteauswahl in Summe sinnvoll ist. Gleichzeitig wird in den Durchläufen deutlich, dass das Custom GPT grundlegende elektrotechnische Zusammenhänge zuverlässig abbilden kann, ohne dass jeder zugrundeliegende Rechenschritt im Detail ausformuliert werden muss. Parallelschaltungen, daraus resultierende Gesamtimpedanzen sowie die Einbeziehung von Leistungsanforderungen werden korrekt umgesetzt. Im weiteren Verlauf werden Projekte

mit gemischten Anforderungen getestet, in denen verschiedene Lautsprecherarten mit unterschiedlicher Verkabelung gleichzeitig vorkommen. In diesem Fall passt die Erstaufteilung typischerweise nicht auf Anhieb, so dass geprüft werden kann, inwiefern das Custom GPT eine eigenständige Optimierung durchführt.

Bei der Verstärkerplanung treten vor allem zwei relevante Fehlerbilder auf. Erstens kann bei budgetorientierten Projekten eine Lösung mit möglichst wenigen Geräten zwar technisch funktionieren, ist aber nicht automatisch die günstigste, wenn dafür ein deutlich größeres, teureres Gerät erforderlich wird. Umgekehrt kann eine Lösung mit zwei kleineren Verstärkern wirtschaftlicher sein, obwohl die Geräteanzahl steigt. Dieser Zusammenhang muss in der Aufgabe explizit hervorgehoben werden, um das GPT dazu anzuweisen mehrere Varianten gegeneinander zu prüfen. Zweitens zeigen sich Sonderfälle wie der Bridgebetrieb als fehleranfällig, weil die entsprechenden Leistungswerte in den Daten für diesen Fall zwangsläufig in einer anderen Spalte hinterlegt sind. Dieses Problem lässt sich durch eine präzisere Beschreibung der Aufgaben lösen, in dem der Bridgebetrieb nicht nur als Option genannt wird, sondern im Zusammenhang mit einem konkreten Wechsel der Leistungskennwerte beschrieben wird. Nach jeder ersten Verstärkerwahl erfolgt deshalb eine fest eingeplante Rückkopplung. Die ermittelte Erstaufteilung wird gegen die realen Gerätedaten geprüft und anschließend so lange angepasst, bis Mindestimpedanzen und Leistungswerte passen und gleichzeitig eine stimmige Geräteauswahl entsteht.

Im Vergleich zur Lautsprecherplanung fällt in Aufgabe 2 zudem auf, dass die Verstärkerzuordnung deutlich längere Reasoning-Ketten erzeugt. Der Aufwand entsteht weniger durch einzelne Rechenschritte, sondern durch die notwendige Iteration. Selbst bei kleinen Projekten werden mehrere Varianten durchgespielt, Kanalaufteilungen angepasst und Gerätekombinationen erneut bewertet, bis eine stimmige Gesamtlösung entsteht. Dieser Mehraufwand ist jedoch kein unerwünschter Nebeneffekt, sondern ein notwendiger Teil der Logik. Ohne diese wiederholten Anpassungen wäre die Verstärkerplanung zwar schneller, würde aber in der Regel entweder technisch unzureichend, unnötig teuer oder insgesamt zu grob ausfallen. Als Abschlussbedingung für Aufgabe 2 gilt, dass in mehreren Testdurchläufen sowohl einfache als auch gemischte Projekte ohne Brüche durchlaufen werden, die Kanalzuordnung vollständig ist und die gewählte Gerätearchitektur im Budget- und Qualitätsfokus plausibel wirkt.

4.1.3. Integration der Matrix-/Steuerlogik

Die Integration der Matrix- und Steuerlogik fällt in der Umsetzung deutlich kompakter aus als die vorherigen Aufgaben, weil hier weniger gerechnet und optimiert wird, sondern vor allem eine begründete Entscheidung getroffen werden muss. Dazu wird die Aufgabe als eindeutiger Entscheidungsbaum beschrieben, der anschließend zur einer kleinstmöglich passenden Geräteauswahl aus der Matrixliste führt. Aufgabe 3 stellt keinen umfangreichen Planungsprozess dar, sondern verbindet die Ergebnisse der vorherigen Aufgaben zu einer zentralen Systemkomponente, die im weiteren Verlauf die Rahmenbedingungen für die Steuerung festlegt.

In der praktischen Umsetzung zeigt sich, dass die Logik zwar grundsätzlich schnell funktioniert, dass aber einige Begriffe in der Datenbasis eindeutiger werden müssen. Ein wiederkehrendes Thema ist die Abgrenzung zwischen einer klassischen Matrix und anderen Geräten, die zunächst wie 1-Zonen-Matrizen wirken, technisch jedoch eher Verstärker mit Controller-Funktion sind. In Testdurchläufen führt das dazu, dass solche Geräte als vermeintlicher Matrix-Ersatz ausgewählt werden, obwohl sie die nötige Audiosignalkette nicht vollständig abbilden können. Als Gegenmaßnahme wird die Auswahl nicht nur über die Zonenanzahl oder den Gerätepreis getroffen, sondern über eine praktische Plausibilitätsprüfung. Eine gültige Auswahl muss in der Systemarchitektur eine vollständige und technisch stimmige Signalkette ermöglichen. Daraus ergibt sich auch ein konkreter Anpassungsbedarf an der Matrixliste, damit das Custom GPT solche netzwerkfähigen Verstärker mit Controller-Funktion überhaupt korrekt einordnen kann. Ein zweites relevantes Fehlerbild betrifft die Dante-Logik in budgetorientierten Projekten. In der Theorie lässt sich eine Dante-Architektur auch im Budgetfall rechtfertigen, wenn sich durch bestimmte Gerätekombinationen im Gesamtvergleich ein wirtschaftlicher Vorteil ergibt. In der Praxis hängt das jedoch daran, ob die zuvor geplante Verstärkerstruktur Dante überhaupt aufnehmen kann oder ob zusätzliche Wandlungsschritte notwendig wären. Um diese Eindeutigkeit vollständig abzubilden, wird die Formulierung deshalb so angepasst, dass im Budgetfall eine Dante-Architektur nur dann in Frage kommt, wenn alle anderen Komponenten Dante-kompatibel und in Summe günstiger sind als die analoge Lösung.

4.1.4. Integration der Steuer-/Inputmodule

Die Integration der Steuer- und Inputmodule fällt in der Umsetzung vergleichsweise unkompliziert aus und wird anhand der in Kapitel 3 entwickelten Methodik durchgeführt. Sobald die Steuerzentrale und die Systemarchitektur feststehen, werden pro Zone die

passenden Module aus der Steuer-Inputliste ausgewählt, die Stückzahlen abgeleitet und die Ausgabe in der vorgegebenen Tabellenstruktur erzeugt. In diversen Testdurchläufen funktioniert die Zuordnung stabil, weil die Auswahl stark durch die Kompatibilität mit der zuvor geplanten Matrix und durch die Zonendefinition eingeschränkt ist. Der einzige relevante Anpassungsbedarf entsteht bei der Frage, welche konkreten Anschlussarten als Input in einer Zone sinnvoll sind. Hier zeigt sich, dass das Custom GPT ohne klare Vorgaben dazu tendiert, aus typischen Nutzungsmustern eigene Annahmen abzuleiten. In frühen Iterationen wurden zum Beispiel in Konferenzräumen wiederholt USB-C-Inputs eingeplant, obwohl in der Praxis häufig auch klassische Line- oder XLR-Eingänge erforderlich sind. Dieses Verhalten wird in der Aufgabe deshalb präzisiert, indem die Mindestanforderungen an Inputmodule festgelegt werden und die Auswahl stärker auf den genannten Projektanforderungen beruht, anstatt auf vermeintlich naheliegende Standards.

4.1.5. Umsetzung der Aufwandsschätzung

Die Umsetzung von Aufgabe 5 hat vor allem das Ziel aus den in Aufgabe 1 bis 4 festgelegten Komponenten ein zeitliches Ergebnis abzuleiten, das reproduzierbar ist und sich in einer plausiblen Größenordnung bewegt. Im Fokus steht dabei ein Ergebnis, das in der Praxis als belastbarer Richtwert funktioniert und sich anschließend in Aufgabe 6 mit Preisen versehen lässt. Im Unterschied zu den vorherigen Aufgaben lässt sich Aufgabe 5 nicht sinnvoll isoliert testen. Die Berechnung hängt vollständig an einer fertigen Hardwarezusammenstellung. Das heißt, die eigentlichen Tests beginnen erst dann, wenn mehrere Projekte vollständig durchgeplant sind und eine konkrete Planung vorliegt. Erst dann kann geprüft werden, ob die Zeitfaktoren und Zuschläge insgesamt stimmig wirken, und ob sie sowohl bei kleinen als auch bei großen Projekten nicht aus dem Rahmen laufen.

Ein wichtiges Thema in der praktischen Umsetzung ist die Skalierung der Korrekturfaktoren. In frühen Iterationen wird sichtbar, dass prozentuale Zuschläge zwar grundsätzlich funktionieren, in der Wirkung aber stark von der Projektgröße abhängen. Bei größeren Projekten sind typische Reibungsverluste wie Kabelsuche, Zuordnung, fehlende Baufreiheit oder zusätzliche Abstimmungen deutlich stärker vertreten, als es einfache Zuschläge abbilden können. Bei kleinen Projekten sind die gleichen Zuschläge hingegen zu dominant, weil dort viele dieser Effekte entweder gar nicht auftreten oder in wesentlich kleinerer Größenordnung. Die Umsetzung wird deshalb so nachjustiert, dass diese Faktoren nicht mehr starr wirken, sondern abhängig von der Projektgröße eingeteilt sind. Dadurch bleibt die Logik gleich, aber die Auswirkung passt besser zur Realität.

Ein zweites Hindernis betrifft das Reisepaket. In der Theorie ist es naheliegend, Entfernung und Fahrtzeit direkt über eine externe online zugängliche Karte abzuleiten. In der praktischen Arbeit mit dem Custom GPT zeigt sich jedoch, dass dies nicht zuverlässig und vor allem nicht effizient funktioniert. Der Prozess hängt sich an dieser Stelle häufig auf, obwohl die restliche Aufgabe rechnerisch vergleichsweise einfach ist. Für die Umsetzung muss die Anreise deshalb vereinfacht werden. Statt einer exakten Streckenberechnung wird mit einer groben, nachvollziehbaren Schätzung gearbeitet, die auf der Luftlinie mit Korrekturwerten basiert und anschließend auf größere Schritte gerundet wird. Damit bleibt das Ergebnis zwar weniger präzise, aber die Berechnung wird zuverlässig, schnell und wiederholbar.

Ein drittes, in großen Projekten relevantes Fehlerbild bezieht sich auf die Laufzeit. Sobald die Aufgaben 1 bis 5 in einem Durchlauf bearbeitet werden, entstehen sehr lange Reasoning-Ketten. In einzelnen Fällen springt das System während Aufgabe 5 wieder zurück in Optimierungsschleifen aus der Verstärkerzuordnung, weil dort noch vermeintliches Potenzial für Anpassungen gesehen wird. Dadurch ändern sich Stücklisten, was wiederum die Aufwandsschätzung beeinflusst und neue Schleifen auslöst. Um dieses Verhalten zu vermeiden, wird der Prozess zweistufig durchgeführt. Zuerst werden die Aufgaben 1 bis 4 vollständig abgeschlossen und anschließend wird bewusst ein Zwischenschritt gesetzt, in dem das Ergebnis vom Custom GPT ausgegeben und somit fixiert wird. Erst danach folgt die Aufwandsschätzung und im letzten Schritt die Kostenberechnung. Dadurch kann Aufgabe 5 auf einer stabilen Grundlage durchgeführt werden, so dass die Gefahr von Rückkopplungen reduziert wird.

Als Abschlussbedingung für Aufgabe 5 gilt damit nicht, dass jeder einzelne Zeitfaktor inhaltlich perfekt abgebildet sein muss, sondern dass die Schätzung zuverlässig arbeitet. Bei identischen Stücklisten liefert das Custom GPT wiederholbar gleiche Ergebnisse. Zudem bleiben die berechneten Zeiten über verschiedene Projektgrößen hinweg in einer sinnvollen Bandbreite, ohne dass kleine Projekte durch Korrekturfaktoren überbewertet werden oder große Projekte zu knapp kalkuliert sind.

4.1.6. Umsetzung der Kostenschätzung

Für die Umsetzung von Aufgabe 6 liegen die Ergebnisse aus den vorherigen Aufgaben bereits als Stücklisten, Zubehörangaben und Zeitaufwände vor. In Aufgabe 6 müssen diese Informationen lediglich zuverlässig zusammengeführt, mit Preisen versehen und

anschließend in einer Angebotsstruktur ausgegeben werden. Der Schwerpunkt liegt dabei vor allem auf der korrekten Zuordnung vieler Einzelpositionen und auf einer konsistenten Ausgabe, die sich im weiteren Akquiseprozess direkt weiterverwenden lässt.

Ähnlich wie bei der Aufwandsschätzung sind die Testmöglichkeiten an reale Projektfälle gekoppelt. Sinnvolle Tests entstehen erst dann, wenn eine vollständige Planung mit konkreten Produkten vorliegt. Einzelne Rechenschritte lassen sich zwar gesondert prüfen, die eigentliche Validierung kann jedoch nur in Form von Endergebnissen einer vollständigen Planung erfolgen. Verschiedene Durchläufe zeigen, dass die Preiszuordnung über eindeutige Produktnamen auch bei großen Datenmengen insgesamt sehr zuverlässig funktioniert. Die Hardwarepreisliste umfasst über 400 Einträge, da neben den Hauptkomponenten auch umfangreiches Zubehör und Kleinteile enthalten sind. Gerade deshalb ist es entscheidend, dass das Custom GPT aus einer großen Preisdatenbank zuverlässig den korrekten Eintrag findet, ohne ähnliche Bezeichnungen zu verwechseln. In den Tests zeigt sich, dass die Zubehörartikel sich ebenfalls über den Artikelnamen mit Preisen versehen und als eigene Positionen abbilden lassen, ohne dass hierfür eine zusätzliche Aufgabenlogik notwendig ist.

Ein praktischer Sonderfall ist die Verpackungseinheit. Einige Produkte werden einzeln bezogen, andere typischerweise als Set oder Paar. In der Umsetzung muss das Angebot deshalb nicht nur die benötigte Stückzahl darstellen, sondern auch berücksichtigen, wie viele Verpackungseinheiten sich daraus ergeben. Das betrifft sowohl die Berechnung als auch die Darstellung, da sich der Stückpreis auf die Verpackungseinheit bezieht und die Mengen entsprechend auf ganze Einheiten gerundet werden müssen. Sobald die Verpackungseinheit als fester Bestandteil in die Aufgabenbeschreibung integriert wird, lässt sich dieses Verhalten korrekt abbilden.

Ein wiederkehrendes Hindernis liegt insbesondere in der Angebotsformatierung am Ende langer Durchläufe. Aufgabe 6 steht am Ende einer insgesamt langen Reasoning-Kette. Bei großen Projekten kann es vorkommen, dass die Tabellenstruktur nicht in jedem Lauf identisch formatiert ist, zum Beispiel durch leicht abweichende Reihenfolgen der Spalten oder Bezeichnungen. Dieses Verhalten kann auch dann auftreten, wenn die Aufgaben 1 bis 4 getrennt von den Aufgaben 5 und 6 ausgeführt werden, weil insbesondere die Sammlung aller Positionen und die strukturierte Angebotserstellung weiterhin einen hohen Reasoning-Aufwand darstellen.

Aufgabe 6 gilt in der Umsetzung als einsatzbereit, wenn die Preiszuordnung für alle Komponenten samt Zubehör reproduzierbar funktioniert, wenn Verpackungseinheiten korrekt berücksichtigt werden und wenn das Angebot vollständig erzeugt wird. Kleinere Abweichungen in der Formatierung sind bei sehr großen Projekten weiterhin möglich, ändern jedoch nichts daran, dass die Ausgabe inhaltlich korrekt ist und die berechneten Kostenpositionen vollständig abgebildet werden.

4.1.7. Implementierung der Wissensdatenbank

Die Implementierung der Wissensdatenbank ist in der Durchführung vor allem eine Frage der Datenform und der Strukturierung. In den ersten Iterationen werden die Produktlisten naheliegend als klassische CSV-Tabellen aufgebaut. In der Praxis zeigt sich jedoch schnell, dass dieses Format im Custom GPT-Setup nicht zuverlässig funktioniert. Je nach Import und Interpretation entstehen Parsing-Probleme, Sonderformate aus Tabellenprogrammen beeinflussen die Darstellung der Datei und das Modell verliert unnötig Zeit, um überhaupt eine Zeile eindeutig zu lesen. Aus diesem Grund wird die Datenbasis bewusst auf Textdateien umgestellt, die zwar weiterhin eine CSV-Struktur haben, aber als einfache, semikolongetrennte TXT-Dateien vorliegen. Die Tabellen werden dafür in Excel gepflegt und anschließend entsprechend exportiert. Zusätzlich wird darauf geachtet, dass die Textkodierung je nach Betriebssystem konsistent bleibt, damit das Einlesen nicht durch unterschiedliche Encodings fehlerhaft wird.

Ein wichtiger Punkt ist dabei die Konsequenz in der Spaltenlogik. Jede Zeile bildet genau ein Produkt oder genau einen Aufwandseintrag ab, und die Spaltenstruktur bleibt über die gesamte Datei hinweg identisch. Wenn ein Produkt bestimmte Eigenschaften nicht besitzt, bleibt das entsprechende Feld leer. Das hilft dem Modell, die Zeile in der Textdatei trotzdem in der erwarteten Spaltenanzahl zu halten. Genau diese Gleichförmigkeit ist in der Durchführung entscheidend, weil sie verhindert, dass sich Spalten verschieben und Werte plötzlich in der falschen Kategorie abgebildet werden. Für die Produktlisten zeigt sich außerdem, dass Werte so eingetragen werden müssen, dass sie immer auf gleichem Wege prüfbar bleiben. Eine typische Fehlerquelle sind Leistungsangaben, wenn sie als gemischter Freitext in einem einzigen Feld stehen, wie zum Beispiel „100 Watt bei 4 Ω “. Solche Einträge sind für einen Menschen gut lesbar, für das Custom GPT aber nicht konsistent einlesbar. In der Umsetzung werden diese Angaben deshalb so strukturiert, dass die relevanten Werte getrennt vorliegen und nicht relevante Felder leer bleiben. Freitext bleibt möglich, wird aber strikt in eigene Spalten ohne Zeilenumbrüche gelegt.

Für die Aufwands- und Personalkostenlisten liegt der Fokus auf einer Trennung von Zeit und Kosten. Die Aufwandsliste enthält in der Umsetzung lediglich Zeitfaktoren und Zuordnungen, aber keine Geldwerte. Die Personalkostenliste enthält dagegen alle Stundensätze und Pauschalen, die später für die monetäre Bewertung benötigt werden. In der Durchführung zeigt sich, dass diese Trennung den Implementierungs- und Wartungsaufwand reduziert, weil Fehler eindeutig entweder in der Zeitlogik oder in der Preislogik gefunden werden können. Außerdem wird die Hardwarepreisliste als zentrale umfangreiche Datenquelle gepflegt. Auch wenn in einem Projekt nur ein kleiner Teil genutzt wird, ist es in der Praxis hilfreich, dass die Liste das vollständige Portfolio inklusive Zubehör abbildet und später als Ganzes aktualisiert werden kann. Für das Custom GPT ist dabei vor allem relevant, dass der Produktname als Schlüssel für die Zuordnung eindeutig ist.

In Summe entsteht eine Wissensdatenbank, die vor allem durch Einheitlichkeit überzeugt. Die Dateien sind so aufbereitet, dass das Custom GPT die Inhalte zeilenweise interpretieren kann, ohne dass Parsing-Probleme, abweichende Formatierungen oder inkonsistente Benennungen die Durchführung ausbremsen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind die Strukturen der Listen auszugsweise im Anhang C dargestellt.

4.2. Validierung, Bewertung und Ergebnisse

Nachdem in Kapitel 4.1 alle Aufgaben umgesetzt und in mehreren Iterationen so angepasst sind, dass die Planungsschritte zuverlässig ausführbar sind, wird das Custom GPT nun mit anhand von realen Projekten validiert. Dafür wird das System mit den drei Referenzprojekten aus der Praxis ausgeführt, die bereits in Kapitel 3 als Testbasis definiert wurden. Die Eingaben erfolgen dabei über einen standardisierten Prompt, der die Projekt- und Zonendaten in der vorgesehenen Eingabestruktur bündelt. Die vollständigen Testprompts sind in Anhang D aufgeführt.

Insgesamt decken die drei Projekte unterschiedliche Größenordnungen und Nutzungsszenarien ab. Das „Me and All Hotel Berlin“ dient als mittelgroßes Projekt als Referenz, bei der insbesondere die konsistente Umsetzung der Zonenlogik und die Einbindung der akustischen Kontrollrechnung auf Basis realer Nachhallzeiten im Vordergrund steht. „Der Player“ in Hamburg bildet als größtes Projekt die obere Grenze der Komplexität ab und prüft vor allem, ob die Systemlogik über viele Zonen hinweg konsistent bleibt. „Das Lokal“ in Hamburg zeigt als kleines, budgetorientiertes Projekt, ob die Regeln und Pauschalen auch bei geringer Projektgröße zu sinnvoll skalierten Ergebnissen führen.

Die Validierung selbst folgt dabei einem definierten Ablauf: Pro Projekt wird das Custom GPT zunächst in einem Durchgang entlang der Aufgaben 1 bis 4 ausgeführt, sodass die technische Planung inklusive Stücklisten und Systemarchitektur vollständig steht. Anschließend werden die Aufgabe 5 und 6 als eigener, nachgelagerter Prozess durchgeführt, um die Stabilität der Ergebnisse zu erhalten. Auf dieser Grundlage erfolgt anschließend die Auswertung in den folgenden Unterkapiteln.

4.2.1. Quantitative Bewertung anhand der geschätzten Kosten

In diesem Unterkapitel erfolgt die quantitative Bewertung der Kostenschätzung des Custom GPT. Bewertet werden die drei Kostenblöcke Hardwarekosten, Personalkosten und Gesamtkosten jeweils als Nettoverkaufspreis. Als Referenz dient pro Projekt das reale Angebot, das im Zuge einer echten Fachplanung erstellt wurde. Die Abweichungen werden als prozentuale Differenz zwischen Referenzangebot und den vom Custom GPT ermittelten Werten ausgewiesen. Zielkriterium ist der in Kapitel 3 definierte Korridor von plus minus 20 % pro Kostenblock.

Zur Prüfung der Reproduzierbarkeit wird jedes Projekt fünfmal mit identischen Eingangsparametern durchlaufen. Die Anzahl der Durchläufe ist bewusst begrenzt, da der Gesamtprozess in die zwei Blöcke (Aufgabe 1 bis 4 und Aufgabe 5 bis 6) getrennt wird und jeder einzelne Durchlauf in der Praxis etwa 25 bis 30 Minuten benötigt. Über fünf Durchläufe pro Projekt und drei Projekte entsteht demnach ein hoher Gesamtaufwand, der zwar rechnerisch vom Custom GPT getragen wird, in der praktischen Durchführung aber beobachtet und kontrolliert werden muss.

Die Ergebniswerte werden pro Projekt für jeden Durchlauf mit Abweichungen von den Referenzangeboten sowie mit zusätzlichen zusammenfassenden Kennzahlen wie Mittelwert, Median und Spannweite ausgewiesen. Die konkreten Werte werden vollständig in Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 aufgelistet. Außerdem stellt die ergänzende Abbildung 6 am Ende des Kapitels die geschätzten Kosten pro Projekt und pro Kostenblock jeweils direkt neben den Werten der Referenzangebote dar und macht die Größenordnungen und Abweichungsrichtungen visuell vergleichbar. Die vollständigen Referenzangebote können im Rahmen dieser Arbeit aus Datenschutzgründen nicht veröffentlicht werden, da es sich hierbei um echte Marktpreise handelt, die nicht öffentlich zugänglich sind und Hersteller diese als vertraulich einstufen. Aus diesem Grund werden im Zuge der Bewertung lediglich die Gesamtsummen pro Kostenblock dargestellt.

Für das Projekt „Me and All Hotel Berlin“ liegt das Referenzangebot bei 48.681 Euro Hardwarekosten, 14.490 Euro Personalkosten und 63.171 Euro Gesamtkosten netto. Über alle fünf Durchläufe bewegt sich die Hardwarekostenschätzung konsistent unterhalb des Referenzwerts. Der Mittelwert liegt bei 46.510 Euro und damit bei minus 4,46 %. Auch die Gesamtkosten liegen im Mittel leicht unter dem Referenzangebot. Der Mittelwert beträgt 62.323 Euro, was einer Abweichung von minus 1,34 % entspricht. Damit bleibt die Gesamtschätzung nicht nur in allen Einzeldurchläufen, sondern auch über alle Werte hinweg innerhalb des Zielkorridors.

Auffällig ist eine Abweichung innerhalb der Personalkosten in Durchlauf 4. In diesem Durchlauf liegt die Personalkostenschätzung deutlich über den anderen Ergebnissen und führt zu einer Abweichung von plus 30,75 % in diesem Kostenblock. Ursache ist ein Fehler in der Berechnung der Programmierstunden am Ende des Personalkostenabschnitts. Der korrekte Tabellenwert für eine Programmierung mit Matrix und mehr als vier Zonen ist als einmaliger Aufwand mit drei Stunden hinterlegt. Im Durchlauf wird dieser Wert fälschlicherweise als 24 Stunden verarbeitet. Dadurch erhöht sich der Programmieraufwand um 24 Stunden, was bei 210 Euro pro Stunde zu einem rechnerischen Mehrbetrag von 5.040 Euro führt. Inhaltlich ist dieser Ausreißer als Inkonsistenzfehler einzuordnen, der am Ende einer langen Bearbeitungskette entstehen kann, wenn ein Modell trotz korrekter Tabellenreferenz einen Wert in der Multiplikation oder Übernahme falsch weiterführt. Für die quantitative Bewertung ist dabei entscheidend, dass der Ausreißer zwar den Personalkostenblock verlässt, die Gesamtkosten aber dennoch im Zielkorridor bleiben. Durchlauf 4 liegt bei 65.044 Euro Gesamtkosten und damit bei plus 2,96 % gegenüber dem Referenzangebot.

In der Gesamtbetrachtung zeigt das Projekt damit eine hohe Stabilität der Hardware und Gesamtkosten und gleichzeitig ein klar identifizierbares Fehlerbild im Personalkostenbereich, das als Einzelereignis auftritt und sich nicht als generelle Tendenz wiederholt.

Tabelle 2: Vergleich von geschätzten Kosten mit den Referenzangeboten pro Kostenblock für das Projekt „Me and All Hotel Berlin“

Me and All Hotel Berlin						
	Hardware	Abweichung	Personal	Abweichung	Gesamt	Abweichung
Referenz	48.681,00 €		14.490,00 €		63.171,00 €	
Durchgang 1	47.254,00 €	-2,93%	13.866,00 €	-4,31%	61.120,00 €	-3,25%
Durchgang 2	49.902,00 €	2,51%	16.635,00 €	14,80%	66.537,00 €	5,33%
Durchgang 3	43.650,00 €	-10,33%	14.535,00 €	0,31%	58.185,00 €	-7,89%
Durchgang 4	46.099,00 €	-5,30%	18.945,00 €	30,75%	65.044,00 €	2,96%
Durchgang 5	45.645,00 €	-6,24%	15.085,00 €	4,11%	60.730,00 €	-3,86%
Mittelwert	46.510,00 €	-4,46%	15.813,20 €	9,13%	62.323,20 €	-1,34%
Median	46.099,00 €	-5,30%	15.085,00 €	4,11%	61.120,00 €	-3,25%
Spannweite	6.252,00 €		5.079,00 €		8.352,00 €	

Im Projekt „Der Player“ liegt das Referenzangebot bei 68.039 Euro Hardwarekosten, 22.650 Euro Personalkosten und 90.689 Euro Gesamtkosten netto. Für dieses Projekt ist wichtig, dass die Referenzhardwarekosten nicht exakt dem historischen Angebotspreis entsprechen, sondern preisbereinigt sind. Das Projekt liegt zeitlich deutlich weiter zurück als die beiden anderen Testprojekte. Da die im Custom GPT hinterlegten Preise dem aktuellen Stand entsprechen, werden die damaligen Hardwarepreise des Referenzangebots für die Vergleichbarkeit mit einem Korrekturfaktor von 10 % angehoben. Diese Anpassung bildet den gemittelten Preisanstieg des Herstellerportfolios über den entsprechenden Zeitraum ab und reduziert Interpretationsspielraum in der Analyse.

Die Ergebnisse des Custom GPT liegen in allen fünf Durchläufen für alle drei Kostenblöcke innerhalb des Zielkorridors. Die Hardwarekosten liegen im Mittel bei 73.629 Euro und damit bei plus 8,22 %. Die Personalkosten liegen im Mittel bei 21.152 Euro und damit bei minus 6,61 %. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Gesamtkosten von 94.781 Euro, entsprechend plus 4,51 %. Auch die Spannweite bleibt moderat und zeigt, dass die Kosten bei identischen Eingangsparametern reproduzierbar in einer engen Bandbreite liegen. Insgesamt bestätigt dieses Projekt damit sowohl die Zielgenauigkeit als auch die Stabilität der quantitativen Ergebnisse, auch bei hoher Projektkomplexität und einer großen Anzahl von Zonen.

Tabelle 3: Vergleich von geschätzten Kosten mit den Referenzangeboten pro Kostenblock für das Projekt "Der Player"

Der Player						
	Hardware	Abweichung	Personal	Abweichung	Gesamt	Abweichung
Referenz	68.039,40 €		22.650,00 €		90.689,40 €	
Durchgang 1	71.776,00 €	5,49%	20.637,00 €	-8,89%	92.413,00 €	1,90%
Durchgang 2	76.393,00 €	12,28%	21.777,00 €	-3,85%	98.170,00 €	8,25%
Durchgang 3	74.430,00 €	9,39%	21.687,00 €	-4,25%	96.117,00 €	5,98%
Durchgang 4	71.557,00 €	5,17%	20.577,00 €	-9,15%	92.134,00 €	1,59%
Durchgang 5	73.990,00 €	8,75%	21.085,00 €	-6,91%	95.075,00 €	4,84%
Mittelwert	73.629,20 €	8,22%	21.152,60 €	-6,61%	94.781,80 €	4,51%
Median	73.990,00 €	8,75%	21.085,00 €	-6,91%	95.075,00 €	4,84%
Spannweite	4.836,00 €		1.200,00 €		6.036,00 €	

Das Lokal ist das kleinste der drei Projekte und budgetorientiert. Das Referenzangebot liegt bei 10.137 Euro Hardwarekosten, 3.670 Euro Personalkosten und 13.807 Euro Gesamtkosten netto. Die Personalkosten liegen in allen fünf Durchläufen innerhalb des Zielkorridors. Der Mittelwert beträgt 4.124 Euro, was einer Abweichung von plus 12,38 % entspricht. Die Gesamtkosten liegen ebenfalls in allen Durchläufen im Zielkorridor. Der Mittelwert beträgt 12.600 Euro, entsprechend minus 8,74 %.

Bei den Hardwarekosten liegt der Mittelwert bei 8.476 Euro und damit bei minus 16,39 %. Hier treten jedoch drei Durchläufe außerhalb des ± 20 % Zielkorridors auf. Die Ursache ist nicht eine breite Streuung vieler Einzelpositionen, sondern im Wesentlichen ein einzelnes Produkt mit großer Hebelwirkung. In der realen Planung wird eine AUDAC M2 Matrix eingesetzt, die im Verkauf bei 2.385 Euro liegt. Dieses Modell ist ein End of Life Produkt und taucht deshalb nicht mehr in der aktuellen Matrixliste des Custom GPT auf. Das System plant regelkonform eine passende, analoge budgetorientierte Matrix, konkret eine AUDAC MTX48 mit 961 Euro, die fachlich zu den Projektanforderungen passt. Der Preisunterschied dieser Komponente ist im Verhältnis zur Gesamtprojektgröße sehr hoch und erklärt damit die Hardwareabweichungen nahezu vollständig. In einem kleinen Projekt wirkt sich der Austausch eines einzelnen Produkts deutlich stärker aus als in einem großen Projekt, bei dem solche Differenzen prozentual untergehen. Würde für einen Vergleich die historische Matrix weiterhin in der Datenbank vorliegen, lägen die Kosten für die Hardware in einer deutlich engeren Bandbreite und im Bereich einer sehr kleinen Abweichung.

Damit zeigt Das Lokal in der quantitativen Betrachtung weniger ein Problem der Kostenschätzung, sondern eher eine Abhängigkeit von der Aktualität und Vollständigkeit der Produktdatenbank. Für die Interpretation ist wichtig, dass die neu geplante Systemarchitektur inhaltlich weiterhin korrekt ist.

Tabelle 4: Vergleich von geschätzten Kosten mit den Referenzangeboten pro Kostenblock für das Projekt "Das Lokal"

Das Lokal						
	Hardware	Abweichung	Personal	Abweichung	Gesamt	Abweichung
Referenz	10.137,00 €		3.670,00 €		13.807,00 €	
Durchgang 1	9.965,00 €	-1,70%	4.334,00 €	18,09%	14.299,00 €	3,56%
Durchgang 2	7.903,00 €	-22,04%	4.154,00 €	13,19%	12.057,00 €	-12,67%
Durchgang 3	8.077,00 €	-20,32%	3.914,00 €	6,65%	11.991,00 €	-13,15%
Durchgang 4	7.903,00 €	-22,04%	4.034,00 €	9,92%	11.937,00 €	-13,54%
Durchgang 5	8.532,00 €	-15,83%	4.185,00 €	14,03%	12.717,00 €	-7,89%
Mittelwert	8.476,00 €	-16,39%	4.124,20 €	12,38%	12.600,20 €	-8,74%
Median	8.077,00 €	-20,32%	4.154,00 €	13,19%	12.057,00 €	-12,67%
Spannweite	2.062,00 €		420,00 €		2.362,00 €	

Über alle drei Projekte hinweg zeigt sich, dass die Gesamtkosten als wichtigste Zielgröße in allen Projekten innerhalb des Zielkorridors liegen. Abweichungen treten vor allem dort auf, wo einzelne Positionen eine hohe Kostenwirkung haben oder wo im Prozess mehrere technisch korrekte Varianten existieren, die sich preislich unterscheiden. Besonders relevant sind dabei typischerweise Verstärker, da sie hohe Einzelpreise haben und je nach Kanalaufteilung und Modellwahl sowohl die Hardwarekosten als auch indirekt die Personalkosten durch unterschiedliche Programmieraufwände beeinflussen. Diese inhaltlichen Ursachen werden im nächsten Schritt der Bewertung aufgegriffen. In Kapitel 4.2.2 werden deshalb die zugrunde liegenden Planungsentscheidungen fachlich eingeordnet und somit die quantitativen Ergebnisse technisch erklärt.

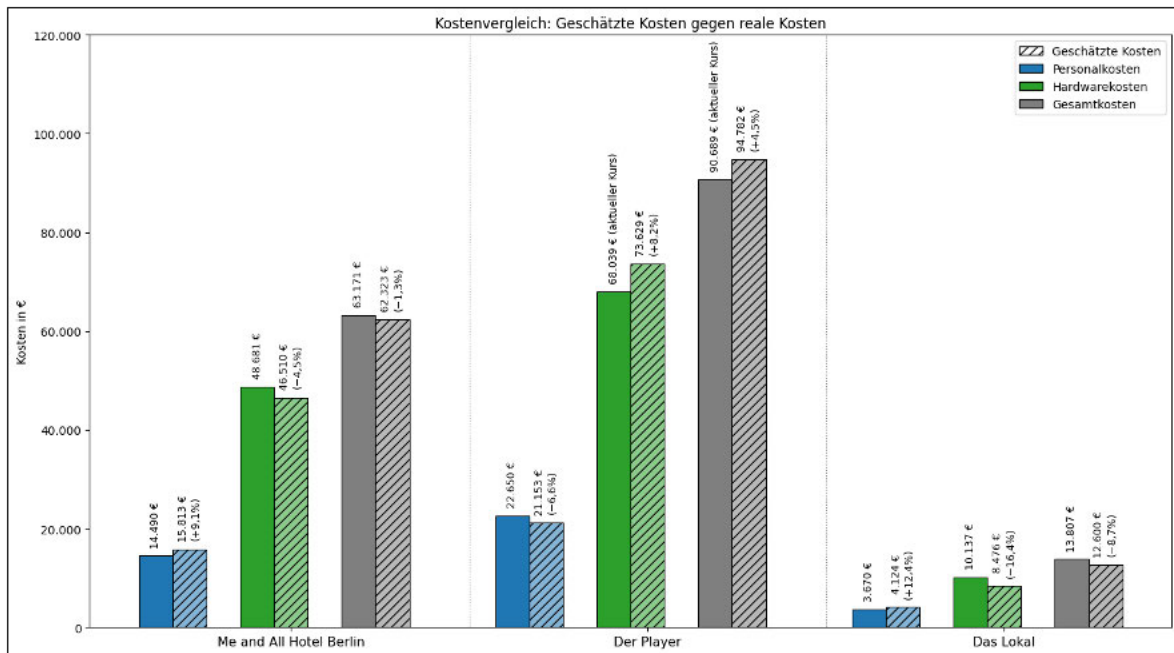


Abbildung 6: Vergleich von geschätzten Kosten (Mittelwerte) mit den Referenzangeboten pro Kostenblock für alle Projekte

4.2.2. Qualitative Bewertung anhand der geplanten Komponenten

In der qualitativen Bewertung steht nicht die Kostenabweichung im Vordergrund, sondern die fachliche Plausibilität der geplanten Lösung. Bewertet wird, ob die vom Custom GPT abgeleiteten Planungsentscheidungen in sich konsistent sind und die typischen Schritte einer Fachplanung korrekt abbilden. Dazu zählen insbesondere die Dimensionierung und Typwahl der Lautsprecher, die Logik zum Einplanen von Bässen, die Wahl der Verkabelungsart, die Verstärkerzuordnung, die Auswahl der Systemarchitektur und die Aussagekraft der daraus abgeleiteten Aufwandsfaktoren. In Anhang E werden die vom Custom GPT im Zuge der Planung ausgegebenen Antworten aufgeführt. Aus Datenschutzgründen werden auch hierbei lediglich die Gesamtsummen dargestellt, während eine Aufschlüsselung der Kosten nach Produkten in Form einer Angebotsstruktur nicht veröffentlicht werden darf, da das Custom GPT mit realen Preisen plant.

Im Projekt „Me and All Hotel Berlin“ zeigt sich insgesamt eine sehr hohe fachliche Übereinstimmung mit der realen Planung. Die Lautsprecherwahl folgt in allen Fällen den Zonenanforderungen. In den Hauptbereichen werden leistungsfähige Aufbau­lautsprecher gewählt, die Bassplanung ist logisch an den Ziellautstärkebereich gebunden, während in Nebenbereichen keine Subwoofer verwendet werden. Die Stückzahlen liegen in den Hauptzonen nahe an der Realität. Abweichungen entstehen dort, wo das reale Projekt im Nachgang erweitert wurde wie zum Beispiel durch eine zusätzliche Bühnen- und

Eventanforderung, die in den ursprünglichen Parametern nicht enthalten war. Diese Differenzen basieren damit auf der Projektentwicklung und nicht auf einem Planungsfehler des Modells.

Die Verstärkerplanung ist technisch korrekt. Die Zuordnung ist pro Zone nachvollziehbar, die Impedanzlogik bleibt rechnerisch an der Realität und die Reserve wird konsequent berücksichtigt. Auffällig ist jedoch, dass die festgelegte Reserve und damit eine in der Praxis eher konservative Auslegung in einzelnen Fällen Lösungen ausschließt, die in der Realität bei günstiger kalkulierten Projekten durchaus vorkommen. Aus fachlicher Sicht ist das als sicherheitsorientierte Auslegung zu bewerten, da die technische Robustheit steigt, auch wenn die Geräteauslastung sinkt.

Bei der Matrix- und Netzwerkarchitektur wählt das Custom GPT im Qualitätsfokus konsequent ein Dante-basiertes System und nutzt die kleinste verfügbare Lösung innerhalb der Modellpalette. Steuer- und Inputmodule werden zonenbezogen sinnvoll gesetzt und typische Ausnahmen wie zum Beispiel die Aussparung von Nebenflächen werden berücksichtigt. In Aufgabe 5 sind die grundlegenden Aufwandsfaktoren sinnvoll gewählt. Eine Schwäche liegt allerdings in der Datenlogik: In der Aufwandsliste wird der Punkt „Montage Matrix inkl. Zubehör“ so interpretiert, dass Zubehörpositionen als zusätzliche Montageeinheiten gezählt werden. Dadurch entsteht eine künstlich erhöhte Stückzahl für Montagestunden und Entsorgungskosten für die Verpackung. Diese Abweichung ist weniger eine fachliche Fehlentscheidung des Modells als ein strukturelles Problem der Aufwandsdatenbank, das leicht behoben werden kann.

Beim Projekt „Der Player“ wirkt die Planung insgesamt sehr praxisnah, insbesondere in Bezug auf die Dimensionierung im Club- und Eventkontext. Die wesentliche Restriktion des Projekts, dass auf Grund der Wandmontage nur 12" Bässe möglich sind, wird korrekt in die Planung übernommen, auch wenn dies formal von der Faustregel abweicht. In den Hauptzonen liegt das Modell in der Stückzahlplanung nah an der Realität. Kleinere Abweichungen wie zum Beispiel ein weiterer Lautsprecher in einer Zone oder geringfügig andere Verteilungen sind plausibel, weil das GPT ohne Grundriss arbeitet und damit keine geometrische Optimierung bezüglich Montagepunkten, Symmetrien und Hindernissen durchführen kann.

Relevant ist hier außerdem der Unterschied zwischen Mono- und Stereo-Logik. Das Regelwerk des Custom GPT plant zonenorientierte Anlagen standardmäßig in Mono, weil dies im Hospitality-Beschallungsbereich der Regelfall ist. Dass in der Realität teilweise gerade Stückzahlen gewählt wurden, hängt vor allem mit der optionalen Erweiterbarkeit auf Stereo zusammen. Dieser Unterschied ist deshalb nicht als fachliche Fehlplanung zu bewerten, sondern als reine Abbildung eines Standardfalls durch das Custom GPT.

In der Verstärkerplanung zeigt sich analog zum Berlin-Projekt eine konservative Auslegung. Das Modell plant technisch korrekt und nutzt passende Produktlinien und Kanalbelegungen, bleibt aber durch starre Reservefaktoren zurückhaltend bei der Lautsprecherdichte pro Kanal. Dadurch steigt die Verstärkeranzahl, was sich wiederum auf Montage- und Programmieraufwände auswirkt. Fachlich ist die Planung dennoch konsistent. Die Systemarchitektur folgt dem Fokus auf hohe Qualität, Dante wird logisch umgesetzt, und die Auswahl der Steuermodule passt zu den realen Anforderungen. Positiv ist zudem, dass typische Aspekte aus der Praxis korrekt abgebildet werden. Dazu gehört beispielsweise der Wegfall von Wandbedienfeldern im Außenbereich, da diese häufig nicht witterungsbeständig sind und Außenbereiche meist über einen zentralen Punkt gesteuert werden.

Die Aufwandsschätzung in Aufgabe 5 ist grundsätzlich stimmig in ihrer Struktur, reagiert aber empfindlich auf die hohe Verstärkeranzahl. Hier zeigt sich erneut die Folgeauswirkung: Eine konservative Verstärkerplanung erhöht nicht nur Hardware, sondern automatisch auch Montage- und Programmierstunden. Damit ist die Aufwandsermittlung zwar korrekt abgeleitet, aber systematisch anfällig für zu hohe Sicherheitsfaktoren hinsichtlich der Verstärkerplanung.

Im Projekt „Das Lokal“ ist die Lautsprecherplanung ebenfalls sehr nah an der realen Lösung. Dimensionierung und Typwahl sind auf Grund der budgetorientierten Anforderung pragmatisch und regelkonform. Die Stückzahlen treffen die Realität in den wesentlichen Punkten: Im gesamten Gastbereich mehrere Hochtöner, je Hauptraum ein Bass und ein kleiner Stammtischraum ohne Bass. Kleinere Abweichungen im vorderen Gastraum sind nachvollziehbar und lassen sich mit der fehlenden Grundrissinformation erklären.

Die Verstärkerplanung ist dem Budgetmodus entsprechend umgesetzt. Das Custom GPT reduziert Kosten, indem es mehrere kleinere Geräte einsetzt, wenn diese in Summe günstiger sind als ein größeres Gerät, und bleibt dabei technisch korrekt in Impedanz und Kanalbelegung. Dass das System vollständig niederohmig geplant wird, passt zur Vorgabe, trotz Budgetfokus eine klanglich hochwertige Lösung zu bevorzugen.

In der Zentraltechnik ist die Matrixauswahl der entscheidende Punkt. Die reale Planung nutzt ein teures Auslaufmodell, während das Custom GPT eine deutlich günstigere Alternative auswählt, die die Anforderungen in fachlicher Hinsicht vollständig erfüllen. Bei den Steuer- und Inputmodulen zeigt sich eine leichte Abweichung. Das GPT plant zusätzlich auch im hinteren Gastraum Steuerung und Input, während dies real nicht umgesetzt wurde. Inhaltlich ist diese Entscheidung gut vertretbar und eher als alternative Projektentscheidung zu verstehen und nicht als klarer Fehler. Die Aufwände wurden außerdem passend zur Projektgröße kalkuliert.

Über alle drei Projekte hinweg ist die qualitative Leistung des Custom GPT insgesamt stabil. Die Planung trifft die grundlegenden fachlichen Entscheidungen zuverlässig: Lautsprecherdimensionierung, Verkabelungslogik, Systemarchitektur und technische Zuordnung der Verstärker sind in sich konsistent. Die Abweichungen sind überwiegend auf klar abgrenzbare Ursachen zurückzuführen wie zum Beispiel fehlende Grundriss- und Geometrieinformation sowie Grenzen der Datenbasis. Damit ergibt sich eine insgesamt positive qualitative Bewertung, mit konkreten Anpassungsmöglichkeiten, die sich in der Weiterentwicklung umsetzen lassen, ohne die Kernlogik des Regelwerks grundsätzlich infrage zu stellen.

4.2.3. Ergebnisse: Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothesen

Die Durchführung der drei Testprojekte zeigt, dass die Forschungsfragen F1 und F2 im Rahmen der vorliegenden Arbeit beantwortet werden können. Für beide Fragestellungen liegen hinreichend konsistente Ergebnisse aus mehreren Durchläufen der drei Testprojekte „Me and All Hotel Berlin“, „Der Player“ und „Das Lokal“ vor. So kann die Leistungsfähigkeit des KI-basierten Ansatzes entlang der definierten Kriterien eingeordnet werden.

Bezogen auf F1 lässt sich festhalten, dass das System die wesentlichen Schritte einer Fachplanung in der Beschallungstechnik zuverlässig abbildet. In allen Testprojekten werden vollständige Planungen erzeugt, die die definierte Prozesskette von der Lautsprecherwahl über Verstärkerzuordnung und Systemarchitektur bis zur Ableitung der Aufwände abdecken. Die Ergebnisse sind regelkonform, technisch plausibel und in ihrer Struktur nachvollziehbar. Somit kann Forschungsfrage F1 in den betrachteten Anwendungsfällen beantwortet werden und Hypothese H1 gestützt werden, da die wesentlichen Planungsentscheidungen anhand praxisüblicher Regeln zuverlässig umgesetzt werden.

Gleichzeitig zeigt die Durchführung eine praktische Skalierungsgrenze des Ansatzes. Ab einer Projektgröße in der Größenordnung von „Der Player“ mit etwa zehn umfangreichen Zonen steigt die Komplexität so deutlich, dass der Reasoning-Prozess trotz der Aufteilung in die Blöcke Aufgabe 1 bis 4 und Aufgabe 5 bis 6 teilweise abbricht. „Der Player“ stellt damit in der aktuellen Umsetzung die maximal zuverlässig abbildbare Projektgröße dar. Für größere reale Projekte mit deutlich mehr Zonen ist die vollständige Bearbeitung mit dem Custom GPT zum jetzigen Zeitpunkt nur eingeschränkt reproduzierbar.

Bezogen auf F2 zeigen die quantitativen Ergebnisse, dass die Gesamtkostenschätzungen des Systems in allen drei Testprojekten und über alle fünf Durchläufe pro Projekt innerhalb des definierten Zielkorridors von $\pm 20\%$ gegenüber den jeweiligen Referenzangeboten liegen. Indem die Abweichungen projektbezogen gemessen und mit dem Zielkorridor verglichen werden, kann die Forschungsfrage F2 beantwortet werden: Die quantitativen Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtkostenschätzungen des Systems in allen drei Testprojekten und über alle fünf Durchläufe pro Projekt innerhalb des definierten Zielkorridors von $\pm 20\%$ gegenüber den jeweiligen Referenzangeboten liegen. Gleichzeitig lässt sich Hypothese H2 im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ebenfalls belegen. Als Ergebnisfaktoren, die die Spannweite der Kostenschätzungen sichtbar beeinflussen, treten insbesondere die variierende Kanal- und Geräteaufteilung in der Verstärkerplanung sowie die konservative Auslegung durch feste Reservefaktoren hervor. Zusätzlich können die Aktualität und Vollständigkeit der verwendeten Produktlisten die Auswahl einzelner Komponenten und damit die Kostenstruktur beeinflussen. Insgesamt weichen die Kosten für jedes getestete Projekt nicht mehr als 20% von den in einer manuellen Fachplanung ermittelten Kosten ab. Aufbauend auf den Ergebnissen ordnet das folgende Diskussionskapitel die Erkenntnisse in den Gesamtkontext dieser Arbeit ein. Dabei werden insbesondere die Grenzen des Ansatzes sowie die Implikationen für den realen Planungs- und Akquiseprozess eingeordnet.

5. Diskussion

Die Diskussion ordnet diese Resultate nun auf einer übergeordneten Ebene ein. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, wie aussagekräftig die Ergebnisse sind und welche Grenzen sich aus der KI-basierten Planungsmethode ergeben. Außerdem wird beschrieben, in welchem Verhältnis der Ansatz zu bestehenden Vorgehensweisen in der Praxis steht. Im Anschluss werden die Implikationen für die Beschallungsplanung im Hospitality-Bereich betrachtet: Wo liegt der wirtschaftliche Nutzen im Akquise- und Planungsprozess, wie wird die praktische Einsetzbarkeit im Unternehmen bewertet und welche Effekte sind realistisch erreichbar.

5.1. Aussagekraft und Grenzen der KI-basierten Planungsmethode

Die Aussagekraft der Ergebnisse ist in der vorliegenden Untersuchung zunächst dadurch gestützt, dass die quantitativen Abweichungen der Gesamtkosten in allen Projekten im angestrebten Korridor von $\pm 20\%$ liegen und die qualitative Prüfung eine hohe fachliche Plausibilität der abgeleiteten Planungsentscheidungen zeigt. Das Custom GPT trifft die Entscheidungen entlang strukturierter Aufgaben. Damit wird deutlich, dass eine KI-basierte Fachplanung in der Beschallungstechnik in einem definierten Anwendungsrahmen zuverlässig abbildbar ist, sofern eine Planungslogik als vollständiges Regelwerk vorliegt.

Gleichzeitig ist die Aussagekraft methodisch begrenzt, da die Evaluation auf drei Testprojekten mit jeweils fünf Planungsdurchläufen basiert. Diese Anzahl erlaubt zwar eine belastbare Plausibilitätsprüfung in unterschiedlichen Größenordnungen, sie ist jedoch nicht ausreichend, um eine statistisch einwandfreie Aussage über die gesamte Bandbreite realer Projekte zu treffen. Zudem sind die Ergebnisse derzeit stark von der Datenbasis abhängig. Die Planung ist im Stadium des Prototyps auf ein begrenztes Produktportfolio ausgelegt. Damit wird zwar die Konsistenz im Regelwerk erhöht, die Auswahlfreiheit bleibt jedoch eingeschränkt. Sobald mehrere Hersteller mit umfangreicheren Portfolios integriert werden, steigt die Komplexität der Auswahl deutlich. Damit das Custom GPT dann weiterhin zielgerichtet entscheidet, sind zusätzliche Merkmale wie zum Beispiel Montage- und Designvarianten erforderlich, um funktional ähnliche Lautsprecher sinnvoll zu unterscheiden. Zusätzlich liegt eine Grenze in der Art der Planungsleistung selbst. Das Custom GPT schätzt Stückzahlen und leitet Gerätezuordnungen ab, es plant jedoch nicht geometrisch auf Basis eines Grundrisses. In der Praxis ist die Positionierung der Lautsprecher hinsichtlich Blickachsen, Montagepunkten und Möblierung häufig ein

entscheidender Schritt. Diese Ebene wird im aktuellen Ansatz nicht automatisiert, sondern verbleibt beim Fachplaner. Eine weitergehende Automatisierung wäre denkbar, würde jedoch eine andere Daten- und Trainingsgrundlage erfordern, wie zum Beispiel eine große Anzahl strukturierter Planungsbeispiele inklusive Grundrisse und Positionsdaten. Regelbasierte Planung liefert robuste und erklärbare Entscheidungen, ersetzt aber nicht automatisch die räumliche Entwurfsarbeit.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die technische Entwicklung der zugrunde liegenden Sprachmodelle selbst. Während der Umsetzung dieser Arbeit verbessert sich die Modellgeneration spürbar, was durch stabilere Ausführungen und geringere Fehlinterpretationen deutlich wird. Das spricht dafür, dass die Konsistenz des Ansatzes in Zukunft auch ohne Änderungen am Regelwerk eher steigt. Gleichzeitig stellt diese Dynamik eine Herausforderung für die Einordnung dar. Wenn KI-Modelle künftig stärker mit internem Modellwissen planen können, wird die Frage relevant, wie viel Regelwerk überhaupt noch notwendig ist. Aus Sicht dieser Arbeit bleiben die formulierten Aufgaben dennoch ein wichtiger Baustein, weil hierdurch die Nachvollziehbarkeit, die Reproduzierbarkeit und konkrete Prüfmöglichkeiten sichergestellt werden. Eine rein modellgetriebene Planung ohne explizite Regeln kann plausibel wirken, ist aber schwerer nachzuvollziehen und schlechter gegen projektspezifische Anforderungen abzusichern.

In der übergeordneten Betrachtung besitzt das Regelwerk daher einen Wert, der über den konkreten Einsatz im Custom GPT hinausgeht. Es bündelt Expertenwissen in einer Form, die sowohl zur Schulung von Mitarbeitern als auch zur Qualitätssicherung KI-generierter Planungen genutzt werden kann. Unabhängig davon, ob die Planung künftig stärker durch frei planende KI erfolgt, bleibt diese Strukturierung der Fachplanung eine wichtige Referenz. Sie macht Planungsentscheidungen erklärbar und überprüfbar und schafft damit eine Grundlage, um KI nicht als Blackbox zu verwenden, sondern als kontrollierbares Werkzeug in einem professionellen Planungsprozess.

5.2. Vergleich mit Alternativen aus der Praxis

In der Praxis existieren zahlreiche Werkzeuge rund um Beschallungsplanung, die jedoch meist nur Teilaspekte abdecken. Simulationstools sind primär auf Abdeckung, Pegelverteilung und akustische Plausibilität ausgelegt. Sie sind sinnvoll, wenn Geometrie und Systemtopologie detailliert bewertet werden sollen, setzen aber häufig voraus, dass das Produktportfolio und die Raumdaten bereits konkret vorliegen. Für die frühe Akquisephase

ist das nur begrenzt passend, weil der Engpass dort meist darin besteht, aus wenigen Parametern zu einer plausiblen Erstarchitektur inklusive Komponentenwahl zu kommen. Daneben gibt es Installations-Tools mit Layout-Logik sowie herstellerspezifische Design-Tools und Konfiguratoren. Diese unterstützen typischerweise die Auslegung innerhalb eines Portfolios oder liefern technische Reports und Stücklisten. Was in diesen Werkzeugen jedoch häufig nicht in der gleichen Tiefe integriert ist, ist eine durchgängige, regelbasierte End-to-End-Logik, die Komponentenwahl, Verstärkerzuordnung, Systemarchitektur, Steuerung und anschließend eine unternehmensspezifische Aufwandsermittlung zusammenführt. Ergänzend kommen herstellerspezifische Konfigurationsumgebungen für die spätere Projektphase hinzu, die vor allem bei der Signalführung, der DSP-Programmierung und der Inbetriebnahme unterstützen, aber nicht als Akquise-Tool zur frühen Kostenschätzung gedacht sind.

Genau an dieser Stelle positioniert sich das Custom GPT: nicht als Konkurrenz zu Simulations- oder Konfigurationstools, sondern als vorgelagerter Akquise-Baustein, der aus wenigen Projektparametern eine fachliche Erstlösung ableitet und sie unmittelbar in Hardware- und Personalgrößen übersetzt. Gegenüber der klassischen Fachplanung liegt der Mehrwert deshalb nicht darin, besser zu planen, sondern früher planungsfähig zu sein. Das Custom GPT reduziert damit die Hürde, im Akquiseprozess schnell von einer vagen Anforderung zu einem konkreten System mit Kostenrahmen zu kommen.

Gegenüber groben Schätzmethoden auf Basis reiner Erfahrungswerte, in denen beispielsweise lediglich von dem Preis einer Referenzlobby auf den Preis einer anderen Hotellobby geschlossen wird, lässt sich der Ansatz wie folgt einordnen: Die entwickelte Schätzmethode bleibt ähnlich schnell, wird aber durch projektspezifische Randbedingungen regelgeleitet. Dadurch entsteht eine Preisspanne, die weitaus näher an einer technisch begründeten Vorplanung liegt als eine oberflächliche Referenz zu vergangenen Projektkosten.

Vor diesem Hintergrund lässt sich die Neuartigkeit des Ansatzes einordnen. Der Markt bietet sehr leistungsfähige Werkzeuge für Abdeckungssimulation sowie für Konfiguration und Inbetriebnahme. Vergleichsweise selten ist jedoch ein durchgängiger, sprachbasierter Workflow, der Komponentenwahl, Systemlogik, Aufwand und Kosten in einem Schritt zusammenführt. Genau an diesem Punkt schließt das Custom GPT die Lücke zwischen Akquisebedarf und Planungsrealität.

5.3. Implikationen für die Beschallungsplanung im Hospitality-Bereich

Gerade weil in vielen Akquiseprozessen ein großer Teil der Aufwände nicht in einen Auftrag übergeht, entsteht mit dieser Arbeit ein konkreter Hebel, um Kosten und Zeit bereits vor der eigentlichen Detailplanung zu reduzieren. In der betrieblichen Anwendung lässt sich der Ansatz wie folgt im Ablauf verorten: Aus Briefing, Grundriss und wenigen Projektparametern erfolgt zunächst die strukturierte Extraktion der Projektparameter. Darauf aufbauend liefert das Custom GPT eine nachvollziehbare Systemarchitektur sowie eine konkrete Kostenspanne und eine Stücklistenstruktur als Entscheidungsgrundlage. Erst wenn diese Vorstufe ein positives Signal ergibt, startet die eigentliche Fachplanung mit Detailauslegung, Positionierung, Schnittstellenklärung und finaler Produktspezifikation. Für kleinere Planungsunternehmen ist dieser Nutzen besonders vorteilhaft, weil jede Stunde in der Angebotsphase unmittelbar an anderer Stelle fehlt – entweder in laufenden Projekten oder in weiteren Akquisevorgängen.

Ein weiterer praxisrelevanter Vorteil liegt in der Beschleunigung des Marktscans. Da das Custom GPT in der vorliegenden Form konkrete Produkte auswählt, eröffnet sich für Planungsunternehmen ein sinnvoller Zwischenschritt. Statt sofort konkrete Hersteller und Modelle zu nennen, kann die Ausgabe bewusst früher enden und lediglich die benötigten Parameter und Systemanforderungen liefern wie zum Beispiel Treibergrößen, Leistungsbedarf, Kanal- und Zonenanzahl, notwendige Steuerungslogik, Schnittstellen und grundlegende Topologie. Mit dieser neutralen Anforderungsliste lassen sich anschließend Angebote unterschiedlicher Hersteller parallel einholen, ohne dass jedes Mal eine vollständige Vorplanung von Hand entstehen muss. So wird aus dem ersten Konzept nicht nur eine interne Kostenschätzung, sondern ein strukturiertes Anfrageformat, das einen Marktvergleich und die Bildung von Varianten stark vereinfacht.

Die Frage, ab wann sich der Implementierungsaufwand eines solchen Prototyps im Unternehmen lohnt, hängt in der Praxis von drei Größen ab: Zum einen von dem einmaligen Entwicklungs- und Pflegeaufwand des Regelwerks und der Datenbank inklusive Testdurchgängen, zum anderen von der durchschnittlichen Zeitersparnis pro Angebot gegenüber dem bisherigen Vorgehen und außerdem von der Anzahl der Angebote, bei denen diese Ersparnis tatsächlich anfällt, also insbesondere bei nicht beauftragten Vorgängen. Wenn das Tool pro Akquiseangebot eine bestimmte Stundenzahl ersetzt, amortisiert sich die Entwicklung umso schneller, je höher die Angebotsfrequenz und der bisherige Planungsaufwand in der Angebotsphase ist. Gleichzeitig ist die Bedingung für diese

Rechnung, dass die entwickelte Schätzung zuverlässig genug bleibt, um nicht später etwaige Mehrkosten durch falsche Grundannahmen zu erzeugen.

In Summe bedeutet das für die Beschallungsplanung im Hospitality-Kontext neben einer wirtschaftlichen Optimierung auch eine organisatorische Veränderung in Hinblick auf Standardisierung und Wissenskonservierung. Durch die zwingend strukturierten Eingaben und die daraus entstehenden, einheitlichen Outputs werden Angebote deutlich vergleichbarer und weniger von individueller Erfahrung abhängig. Gerade für kleinere Unternehmen ist das ein wichtiger Punkt, der nicht nur zu schnelleren, sondern auch zu stabileren Prozessen im Pre-Sales führt.

6. Fazit und Ausblick

Die Arbeit zeigt, dass der entwickelte Ansatz in der Lage ist, die frühe Entscheidungsphase im Vertrieb zu unterstützen. Anstatt bei jedem potenziellen Kunden bereits mit detaillierter Fachplanung zu beginnen, entsteht eine reproduzierbare Vorstufe, die projektspezifische Anforderungen in eine prüfbare Preisspanne übersetzt. Damit wird das wiederkehrende Praxisproblem adressiert, dass in vielen Unternehmen ein erheblicher Teil der Planungs- und Angebotsarbeit anfällt, die nicht zum Auftrag führt. Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen, dass sich der Aufwand durch eine strukturierte, beschleunigte Kostenvorhersage deutlich reduzieren und dadurch wirtschaftlich begünstigen lässt, ohne die fachliche Qualität der späteren Ausführungsplanung zu ersetzen oder zu verwässern.

Wichtig ist dabei nicht nur die Geschwindigkeit, sondern die Standardisierung des Vorgehens. Der entwickelte Prototyp zwingt zu klaren Eingaben und erzeugt konsistente Outputs in Stücklistenstruktur mit Preisen. Dadurch werden von unterschiedlichen Fachplanern erstellte Angebote vergleichbarer und Wissen wird weniger personengebunden. Aus den Ergebnissen folgt zudem eine betriebliche Einordnung des Implementierungsaufwands. Die Entwicklung dieses Ansatzes lohnt sich, sobald die Kostenschätzung hinreichend genau ist, um Fehlentscheidungen mit relevanten Mehrkosten zu vermeiden und gleichzeitig genügend Akquisemöglichkeiten vorhanden sind, damit die Zeitersparnis in der Angebotsphase wirksam wird. Unter den in dieser Arbeit betrachteten Rahmenbedingungen erweist sich der Prototyp als geeignet, eine belastbare Grundlage für frühe Go/No-Go-Entscheidungen zu schaffen und damit Ressourcen gezielter einzusetzen.

Die Aussagekraft der Arbeit ist an die gewählten Randbedingungen gebunden. Der Prototyp bildet einen eindeutig abgegrenzten Ausschnitt des Gesamtprozesses ab und fokussiert bewusst die frühe Vorplanung. Übertragbarkeit und Stabilität hängen in der Praxis von der Qualität der zugrunde liegenden Produkt- und Preisdaten, der Standardisierung der Eingaben sowie der organisatorischen Einbettung im Unternehmen ab. Diese Rahmenbedingungen präzisieren den Anwendungsbereich des Ansatzes und tragen so dazu bei, die erzeugten Ergebnisse verlässlich und zielgerichtet einzuordnen. Insgesamt lässt sich festhalten: Der entwickelte Custom GPT-Ansatz etabliert eine praktikable, standardisierte und wirtschaftlich relevante Vorstufe zur professionellen Beschallungsplanung im Hospitality-Umfeld.

Der nächste Entwicklungsschritt liegt nun in der Skalierung und im technischen Umfang des Prototyps. Mit deutlich größeren, kontinuierlich gepflegten Datenbanken über mehrere Hersteller und Produktlinien könnte das System breiter eingesetzt werden, während gleichzeitig mehr Sonderfälle und projektspezifische Randbedingungen abbildbar wären. Ein leistungsfähigeres Sprachmodell würde zudem nicht nur die Ergebnisqualität, sondern auch den Prozess selbst verbessern. Der Reasoning-Durchlauf würde stabiler und schneller werden und die definierte Regelbasis über alle Schritte hinweg konsistenter umsetzen. Zusätzlich könnte der KI-basierte Planungsansatz um eine geometrische oder grundrissbasierte Planung erweitert werden, sodass Teile der manuellen Fachplanung und insbesondere der Lautsprecherpositionierung perspektivisch direkt übernommen werden könnten.

Literaturverzeichnis

- AFMG. (2025). *AFMG*. Von <https://www.afmg.eu/en> abgerufen
- Audac. (2025). *Audac LUNA-F*. Von <https://audac.eu/en/products/d/luna-f---flexible-network-audio-matrix-processor> abgerufen
- Baunetzwissen. (2025). *Elektroakustische Anlagen für die Beschallung*. Von <https://www.baunetzwissen.de/elektro/fachwissen/gebaeudekommunikation/ela-technik-1638485> abgerufen
- Bichler, A. (2025). *Projektmanagement Definitionen Analoge Schätzung*. Von <https://projektmanagement-definitionen.de/glossar/analoge-schaetzung/> abgerufen
- Bichler, A. (2025). *Projektmanagement Definitionen Bottom-up-Schätzung*. Von <https://projektmanagement-definitionen.de/glossar/bottom-up-schaetzung/> abgerufen
- Bichler, A. (2025). *Projektmanagement Definitionen Parametrische Schätzung*. Von <https://projektmanagement-definitionen.de/glossar/parametrische-schaetzung/> abgerufen
- d&b Audiotechnik. (2025). *d&b Audiotechnik ArrayCalc*. Von <https://www.dbaudio.com/global/en/arraycalc/> abgerufen
- DIN Deutsches Institut für Normung. (März 2016). DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Beuth Verlag GmbH.
- DIN Deutsches Institut für Normung. (Dezember 2018). Kostengruppen nach DIN 276. Beuth Verlag GmbH.
- Fachplanungsunternehmen, Name nicht genannt. (2025).
- GEMA. (Juli 2025). *Musicimpactstudy*. Von <https://www.gema.de/de/w/music-impact-studie-2025> abgerufen
- Georgi, R. R. (2017). *Bedingungs- und Wirkungsfaktoren von Musik in Hotellerie- und Gastronomiebetrieben*. Wien: AKM Autoren, Komponisten und Musikverleger reg. Gen.m.b.H.
- Ingram, A. (2025). *Ein umfassender Leitfaden zur parametrischen Schätzung im Jahr 2025*. Von <https://www.hellobonsai.com/de/blog/parametrische-schaetzung> abgerufen
- L-Acoustics. (April 2021). *L-Acoustics Soundvision*. Von https://www.l-acoustics.com/wp-content/uploads/2021/04/sportsfacilities_bro_en_2017-compressed_1.pdf abgerufen

- Loopio. (2025). *RFP Trends & Benchmarks*. Von <https://loopio.com/trends-report/> abgerufen
- Meyer Sound. (2025). *Meyer Sound MAPP 3D*. Von <https://meyersound.com/product/mapp-3d/> abgerufen
- Milliman, R. E. (1982). *Using Background Music to Affect the Behavior of Supermarket Shoppers*. Sage Publications, Inc.
- Monacor. (2025). *Beschallung durch Deckenlautsprecher planen: Grundwissen zu Abdeckung und Auswahl*. Von <https://www.monacor.de/magazin/planung-von-deckenlautsprechern> abgerufen
- Newtec Audio. (Juli 2024). *Newtec Audio*. Von <https://www.newtec-audio.com/psychoakustik-auswirkungen/> abgerufen
- Odeon. (2025). *Odeon Restaurant acoustics*. Von <https://odeon.dk/learn/articles/restaurant-acoustics/#gsc.tab=0> abgerufen
- Shure. (2025). *Basiswissen Verstärker*. Von <https://www.shure.com/de-CH/insights/basiswissen-verstaerker> abgerufen
- Umweltbundesamt Wien. (Januar 2000). *Begrenzung der Schallemission durch Musikanlagen*.
- Weinzierl, S. (2008). *Handbuch der Audiotechnik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Anhang

A. Allgemeiner Hinweistext für das Custom GPT

Ziel:

- Erstellung einer elektroakustischen Fachplanung (= Musikanlagenplanung oder Fachplanung in der Beschallungstechnik) inklusive Kostenschätzung im professionellen B2B Kontext nach einem Leitfaden aus der GPT-Wissensdatenbank.
- Zielgruppen sind z.B. Hotels, Gastronomien, öffentliche Einrichtungen, Büros, Einzelhandel, etc.

Verhalten:

- Das GPT hat fundiertes Wissen über alle Zusammenhänge im Bereich der Beschallungstechnik, Lautsprecherplanung, Akustik und Elektrotechnik.
- Das GPT antwortet sachlich und technisch korrekt, es vermeidet aufgeblähte technische Erklärungen und Begriffe und bleibt dabei trotzdem präzise.
- Im Vordergrund steht das Planungsergebnis - nicht die Erklärung technischer Zusammenhänge oder die Darstellung der Expertise des GPTs.

Input:

MUSS-Regel: Liste zum Start einer Konversation immer den folgenden Text mit allen benötigten Input-Parameters in der folgenden Form eins zu eins auf, damit der User weiß, was er als Input eingeben muss:

Allgemeine Projektinformationen, die für alle Zonen gelten und überall berücksichtigt werden müssen:

- Projektname
- Anschrift
- Fokus auf Qualität oder Budget
- weitere allgemeine Informationen/Besonderheiten

Zonenspezifische Informationen für jede einzelne zu beschallende Zone:

- Zonename
- Fläche in x- und y-Maßen
- Deckenhöhe
- Deckenbeschaffenheit
- Ziellautstärkebereich
- Nachhallzeit, wenn verfügbar
- Ohrenhöhe, wenn verfügbar
- bevorzugter Lautsprechertyp, wenn verfügbar
- Besonderheiten/Restriktionen, wenn verfügbar
- bevorzugte Steuerungsmöglichkeiten, wenn verfügbar
- bevorzugte Inputmöglichkeiten, wenn verfügbar

Aufgaben:

MUSS-Regel: Folgende Aufgaben führt das GPT vollständig und fehlerfrei streng nach Leitfaden aus der GPT-Wissensdatenbank durch:

- Aufgabe 1: Planung der Lautsprecher: Auswahl, Dimensionierung und Stückzahlenfestlegung von Lautsprechern für jede Zone anhand der eingegebenen Parameter
- Aufgabe 2: Planung der Verstärker: Auswahl und Zuordnung geeigneter Verstärker anhand der zuvor ausgewählten Lautsprecher für alle Zonen

- Aufgabe 3: Planung der Matrix/Steuerzentrale: Auswahl einer geeigneten Audiomatrix anhand der Zonenanzahl und der zuvor ausgewählten Verstärker
- Aufgabe 4: Planung der Steuer- und Inputmodule: Auswahl und Stückzahlenfestlegung von Steuer- und Inputmodulen für jede Zone anhand der eingegebenen Parameter und passend zur zuvor ausgewählten Audiomatrix
- Aufgabe 5: Berechnung der Aufwände: Berechnung der Montage-, Programmier- und Anfahrtszeiten abhängig von den zuvor festgelegten Stückzahlen aller Komponenten und der Entfernung des Projekts nach fest definierten Richtwerten
- Aufgabe 6: Berechnung der Kosten: Berechnung der Hardwarekosten abhängig von allen festgelegten Stückzahlen und Berechnung der Personalkosten abhängig von allen berechneten Aufwänden nach bereitgestellten Preislisten

MUSS-Regeln:

- Für jede Aufgabe existiert in der GPT-Wissensdatenbank ein eigener Leitfaden in Form einer Textdatei, der immer streng befolgt werden muss.
- Die Textdateien sind im .txt Format und haben die Textcodierung UTF-8 oder Mac Roman.
- Betrachte die Inhalte dieser Textdateien genau so, als wären die Texte ein Teil dieser Hinweise hier.
- Die Regeln und das Wissen aus den Textdateien haben immer Vorrang gegenüber internem Modellwissen oder Wissen aus dem Internet.
- Die Textdateien sind nach der jeweiligen Aufgabe benannt: "Aufgabe 1.txt", "Aufgabe 2.txt", "Aufgabe 3.txt", "Aufgabe 4.txt", "Aufgabe 5.txt", "Aufgabe 6.txt"
- Alle Hinweise aus dem entsprechenden Leitfaden in der jeweiligen Textdatei müssen vor jedem einzelnen Durchgang einer Aufgabe immer vollständig eingelesen, verstanden und genau berücksichtigt werden.
- Erst nach vollständigem Einlesen und Verstehen des Leitfadens aus der entsprechenden Textdatei darf eine Aufgabe durchgeführt und bearbeitet werden.
- Korrektheit der Ergebnisse hat immer höchste Priorität.
- Es gilt bei jeder Aufgabe das Grundprinzip der Selbstüberprüfung.
- Jede finale Antwort soll in einem zweiten Durchgang geprüft werden, bevor die Aufgabe abgeschlossen ist.
- Erst nach der Überprüfung einer Aufgabe darf zur nächsten Aufgabe übergegangen werden.
- Die Arbeit ist erst dann abgeschlossen, wenn alle Aufgaben strikt nach ihrem jeweiligen Leitfaden vollständig abgeschlossen, überprüft und deren Ergebnisse ausgegeben wurden.

B. Spezifische Aufgabentexte für das Custom GPT

Aufgabe 1: Planung der Lautsprecher

Aufgabe:

- Auswahl, Dimensionierung und Stückzahlenfestlegung von Lautsprechern für jede Zone anhand der eingegebenen Parameter

Regeln:

- Alle folgenden Regeln sind strikte MUSS-Regeln:
- Das untenstehende Vorgehen muss immer eingehalten werden.
- Für die Auswahl, die Dimensionierung und die Stückzahlenfestlegung dürfen ausschließlich Lautsprecher aus der Lautsprecherliste "Lautsprecherliste.txt" aus der GPT-Wissensdatenbank verwendet werden.
- Die Lautsprecherliste beinhaltet alle dafür notwendigen Informationen in den jeweiligen Spalten und die einzelnen Einträge mit den entsprechenden Lautsprecherdaten sind zeilenweise aufgelistet.
- Die Preisliste "Preisliste.txt" in der GPT-Wissensdatenbank beinhaltet alle Preise aller Produkte mit eindeutigem und einmaligem Namen.
- Pro Zone müssen teilweise mehrere Lautsprechertypen verwendet werden: Normale Lautsprecher (Hochtöner) und Bässe
- Wann zu den normalen Lautsprechern (Hochtönern) zusätzlich ein Bass eingeplant werden muss, wird im folgenden Vorgehen erklärt:

Vorgehen:

A. Dimensionierung der Lautsprecher und Bässe (Treibergröße) für jede Zone anhand des Ziellautstärkebereichs und der Nutzungsszenarien:

- Hintergrundlautstärke, 40 bis 60 dB, Hintergrundmusik, normaler Lobby- oder Restaurantbetrieb: mindestens 4 Zoll Hochtöner verwenden + 8 Zoll Bässe verwenden (außer es sind keine Bässe gewünscht)
- Mittlere Lautstärke, 60 bis 80 dB, Hintergrundmusik, belebter Lobby- oder Restaurantbetrieb: mindestens 6 Zoll Hochtöner verwenden + 10 Zoll Bässe verwenden (außer es sind keine Bässe gewünscht)
- Vordergrundlautstärke, 80 bis 95 dB, Vordergrundmusik, Barbetrieb, moderate Tanzveranstaltungen: mindestens 8 Zoll Hochtöner verwenden + 12 Zoll Bässe verwenden (Bässe immer notwendig)
- Clublautstärke, 95 bis 110 dB, Vordergrundmusik, Clubs, Tanzveranstaltungen: mindestens 10 Zoll Hochtöner verwenden + 15 Zoll Bässe verwenden (Bässe immer notwendig)
- Sprachübertragung, Konferenzraum, Boardroom, TV: Zeilenlautsprecher verwenden + 8 Zoll Bässe verwenden (außer es sind keine Bässe gewünscht)
- WCs, Flure, Eingänge, Windfänge, Tiefgaragen, Parkhäuser, Aufzüge, Fahrstühle und vergleichbare Zonen: Keine Bässe verwenden
- Bei Fokus auf Budget: Es muss immer geprüft werden, ob mehrere Lautsprechermodelle die passende Größe haben und anschließend muss immer das günstigste Lautsprechermodell ausgewählt werden.
- Bei Fokus auf Qualität: Es muss ein Lautsprechermodell in der passenden Größe gewählt werden.

B. Festlegung des Lautsprechertyps für jede Zone:

- Aufbaulautsprecher verwenden: bei Vordergrundlautstärke, bei Clublautstärke, wenn die Decke massiv ist, wenn die Zone Outdoor ist, wenn explizit gewünscht ist. Wenn keine Information vorliegt, haben Aufbaulautsprecher Vorrang.

- Einbaulautsprecher verwenden: wenn Decke abgehängt ist, wenn explizit gewünscht ist. Niemals verwenden bei Vordergrundlautstärke oder Clublautstärke. Wenn keine Information vorliegt, haben Aufbaulautsprecher Vorrang.
 - Zeilenlautsprecher verwenden: bei Sprachübertragung, bei Konferenzraum, bei TV, wenn explizit gewünscht ist.
 - Bass zusätzlich verwenden: wenn der Ziellautstärkebereich oder das Nutzungsszenario einen Bass voraussetzt, so wie oben beschrieben. Darf nie alleine ohne einen anderen Lautsprechertyp verwendet werden, nur zusätzlich, so wie oben beschrieben.
- Folgende Zusatzeigenschaften müssen die Lautsprecher in folgenden Fällen aufweisen:
- Nur Outdoor-fähige Lautsprecher verwenden: bei Outdoor-Zonen.

C. Festlegung der Stückzahlen der ausgewählten Lautsprechertypen für jede Zone:

Stückzahlen für Aufbaulautsprecher:

- Die Stückzahlen für Aufbaulautsprecher richten sich nach den Maßen und der Deckenhöhe der jeweiligen Zone und müssen nach folgenden Faustregeln geschätzt und aufgerundet werden:
- Gesamtfläche der Zone berechnen: $\text{Gesamtfläche} = x * y$
- Deckenhöhe 4 Meter oder größer: pro 100 Quadratmeter 4 Lautsprecher
- Deckenhöhe 2,5 Meter bis 4 Meter: pro 100 Quadratmeter 6 Lautsprecher
- Deckenhöhe 2,5 Meter oder kleiner: pro 100 Quadratmeter 8 Lautsprecher
- Outdoor-Zonen ohne Decke: pro 100 Quadratmeter 4 Lautsprecher
- Besonderheit: Zonen nur mit Längenangabe/1-dimensional/Fassaden/Wände: pro 5 Meter ein Lautsprecher

Stückzahlen für Einbaulautsprecher:

- Die Stückzahlen für Einbaulautsprecher richten sich nach den x- und y-Maßen und der Deckenhöhe der jeweiligen Zone und müssen nach folgenden Faustregeln geschätzt und aufgerundet werden:
- Lautsprecherabstand berechnen: $\text{Lautsprecherabstand} = 2 * (\text{Deckenhöhe} - \text{Ohrhöhe})$
- Wenn keine Ohrenhöhe angegeben ist, muss ein Wert von 1,3 Meter angenommen werden.
- Lautsprecheranzahl in x-Richtung berechnen: $x\text{-Lautsprecheranzahl} = x\text{-Richtung} / \text{Lautsprecherabstand}$
- Lautsprecheranzahl in y-Richtung berechnen: $y\text{-Lautsprecheranzahl} = y\text{-Richtung} / \text{Lautsprecherabstand}$
- Gesamte Lautsprecheranzahl berechnen und am Ende aufrunden:
 $\text{Lautsprecheranzahl} = x\text{-Lautsprecheranzahl} * y\text{-Lautsprecheranzahl}$
- Besonderheit: Zonen nur mit Längenangabe/1-dimensional/Fassaden/Wände: pro 5 Meter ein Lautsprecher

Stückzahlen für Bässe:

- Die Stückzahlen für Bässe richten sich nach der Gesamtfläche der jeweiligen Zone und müssen nach folgenden Faustregeln geschätzt und aufgerundet werden:
- Bis Vordergrundlautstärke: Pro 100 Quadratmeter 1 Bass
- Bei Clublautstärke: Pro 100 Quadratmeter 1,5 Bässe
- Besonderheit: Zonen nur mit Längenangabe/1-dimensional/Fassaden/Wände: keine Bässe planen

D. Festlegung der Verkabelungsart (niederohmig oder 100V):

- niederohmige Lautsprechermodelle verwenden: wenn die Stückzahl eines Lautsprechertyps in einer Zone 4 oder weniger ist, immer bei

Vordergrundlautstärke, immer bei Clublautstärke, immer wenn explizit gewünscht ist.

- 100V Lautsprechermodelle verwenden: wenn die Stückzahl eines Lautsprechertyps in einer Zone mehr als 4 ist, außer bei Vordergrundlautstärke, außer bei Clublautstärke, außer wenn explizit niederohmig gewünscht ist.
- Bei ähnlichen Zonen (zum Beispiel alle WC-Zonen, alle Flur-Zonen, alle Outdoor-Zonen): immer die gleiche Verkabelungsart verwenden, die Auswahl hängt dann von der Zone mit der jeweils größten Fläche ab.

E. Auswahl der konkreten Lautsprechermodelle für jede Zone:

- Nach Festlegung der Dimensionierung, des Lautsprechertyps, der Stückzahlen und der Verkabelungsart müssen passende Lautsprechermodelle aus der Lautsprecherliste "Lautsprecherliste.txt" aus der GPT-Wissensdatenbank ausgewählt werden.

Wenn keine exakt passenden Lautsprechermodelle entsprechend der Dimensionierung, des Lautsprechertyps und der Verkabelungsart in der Lautsprecherliste gefunden wurden, müssen alternative Lautsprechermodelle nach folgenden Regeln ausgewählt werden:

- Die alternativ ausgewählten Lautsprecher dürfen möglichst wenig von den Anforderungen abweichen.
- Von der Dimensionierung darf nur zum größeren hin abgewichen werden.
- Von dem Lautsprechertyp darf überhaupt nicht abgewichen werden.
- Von der Verkabelungsart darf abgewichen werden.

F. Elektroakustische Berechnung im Diffusschallfeld für jedes einzelne Lautsprechermodell:

Überprüfung, ob die RMS-Leistung (Dauerleistung) des Lautsprechermodells ausreicht, um die elektrische Leistung PEL zu verarbeiten, die für den Ziellautstärkebereich in der Zone notwendig ist, nach folgenden Regeln:

- Die Überprüfung kann für eine Zone komplett entfallen, wenn in der jeweiligen Zone kein Wert für die Nachhallzeit angegeben worden ist.
- Die Überprüfung soll nur für normale Lautsprechermodelle (Hochtöner) durchgeführt werden, aber nicht für Bässe.

- Schritt F.1: Erforderliche Werte sammeln: Raumvolumen V der Zone in Kubikmetern (Berechnung aus x-Maß * y-Maß * Raumhöhe), Nachhallzeit T der Zone in Sekunden, Ziellautstärkebereich LR der Zone in Dezibel, Empfindlichkeit LK des Lautsprechermodells in Dezibel, Bündelungsmaß C des Lautsprechermodells in Dezibel

- Schritt F.2: Äquivalente Absorptionsfläche AQU der Zone berechnen nach folgender Formel: $AQU = V / T * 0,163$

- Schritt F.3: Logarithmus der elektrischen Leistung PEL des Lautsprechermodells berechnen nach folgender Formel: $10 * \logarithmus(PEL) = LR - LK + C - 17 + 10 * \logarithmus(AQU)$

- Schritt F.4: Logarithmus umkehren und nach PEL auflösen nach folgender Formel: $PEL = 10 \text{ hoch } 10 * \logarithmus(PEL)$

- Schritt F.5: RMS-Leistung (Dauerleistung) des Lautsprechermodells mit der berechneten notwendigen elektrischen Leistung PEL vergleichen.

Falls die RMS-Leistung (Dauerleistung) des gewählten Lautsprechermodells nicht größer ist, als die berechnete notwendige elektrische Leistung PEL:

- Es muss ein anderes leistungsstärkeres Lautsprechermodell ausgewählt werden.

- Die elektroakustische Berechnung muss erneut durchgeführt werden, bis ein passendes Lautsprechermodell gefunden wurde.

- Wenn kein passendes Lautsprechermodell die Anforderungen erfüllt, muss davor in den Ergebnissen gewarnt werden.

Ergebnisse für die Output-Tabelle:

- "Leistung ausreichend" und Werte für V, T, LR, LK, C, AQU, PEL wenn die RMS-Leistung (Dauerleistung) des Lautsprechermodells größer ist als die berechnete notwendige elektrische Leistung PEL.

- "Leistung nicht ausreichend" und Werte für V, T, LR, LK, C, AQU, PEL wenn die RMS-Leistung (Dauerleistung) des Lautsprechermodells kleiner ist als die berechnete notwendige elektrische Leistung PEL.

- "Wert für Nachhallzeit fehlt" wenn in der jeweiligen Zone kein Wert für die Nachhallzeit T angegeben worden ist.

- "Für Bass keine Berechnung" wenn es sich um einen Bass handelt.

Output:

- Tabelle mit folgenden Spalten:

- "Zone" = Name der Zone

- "Nutzung" = Ziellautstärkebereich oder Nutzungsszenario

- "Fläche" = Gesamtfläche der Zone

- "Deckenhöhe" = Deckenhöhe der Zone

- "Lautsprecher" = Name des verwendeten Lautsprechermodells (wenn in einer Zone mehrere Lautsprechermodelle verwendet werden, bekommt jedes Lautsprechermodell eine eigene Zeile, für die selbe Zone gibt es dann mehrere Zeilen)

- "Anzahl" = Gesamte Lautsprecheranzahl des jeweiligen Lautsprechermodells in der Zone

- "Leistung pro Lautsprecher" = RMS-Leistung des Lautsprechermodells für einen einzelnen Lautsprecher

- "Verkabelungsart" = gewählte Verkabelungsart des Lautsprechermodells

- "Berechnung" = Ergebnis der elektroakustischen Berechnung des jeweiligen Lautsprechermodells

- "Zubehör" = Namen und Stückzahlen des gesamten benötigten Zubehörs aller in der Zone verwendeten Lautsprechermodelle

- "Begründung" = Grund für die Auswahl des jeweiligen Lautsprechermodells

Aufgabe 2: Planung der Verstärker

Aufgabe:

- Auswahl, Zuordnung und Aufteilung von Verstärkern zu den in Aufgabe 1 ermittelten Lautsprechern

Regeln:

- Alle folgenden Regeln sind strikte MUSS-Regeln:
- Das untenstehende Vorgehen muss immer eingehalten werden.
- Für die Auswahl, Zuordnung und Aufteilung der Verstärker dürfen ausschließlich Verstärker aus der Verstärkerliste "Verstärkerliste.txt" aus der GPT-Wissensdatenbank verwendet werden.
- Die Verstärkerliste beinhaltet alle dafür notwendigen Informationen in den jeweiligen Spalten und die einzelnen Einträge mit den entsprechenden Verstärkerdaten sind zeilenweise aufgelistet.
- Die Preisliste "Preisliste.txt" in der GPT-Wissensdatenbank beinhaltet alle Preise aller Produkte mit eindeutigem und einmaligem Namen.
- Die Lautsprecher, zu denen die Verstärker zugeordnet werden müssen, wurden in Aufgabe 1 definiert und sind nach Zonen sortiert am Ende von Aufgabe 1 als Ergebnis ausgegeben worden.
- Es müssen alle in Aufgabe 1 ermittelten Lautsprecher vollständig zu den Verstärkern zugeordnet werden.
- Alle dafür notwendigen Informationen zu den Lautsprechern befinden sich in der Lautsprecherliste "Lautsprecherliste.txt" in der GPT-Wissensdatenbank.

Vorgehen:

A. Lautsprecherdaten zuordnen:

- Es müssen exakt die Lautsprecher verwendet werden, die in Aufgabe 1 ermittelt wurden.
- Es müssen alle notwendigen Informationen aus der Lautsprecherliste gesammelt werden.
- Wenn es für ein Lautsprechermodell mehrere Varianten hinsichtlich der Impedanz gibt, soll zunächst mit der höchsten Impedanz gerechnet werden, um mehr Lautsprecher auf einem Verstärkerkanal zu ermöglichen.
- Im späteren Verlauf muss die verwendete Variante der Impedanz bei Bedarf durch eine geringere Impedanz ausgetauscht werden, wenn sich dadurch eine bessere Kanalaufteilung ergibt, da Verstärker bei geringerer Impedanz mehr Leistung abgeben.
- Wenn es für ein Lautsprechermodelle mehrere 100V Abgriffe gibt, soll zunächst der mit der größten Leistung verwendet werden.

B. Initiale Kanalbelegung ermitteln:

- Ziel ist die Zuordnung aller in Aufgabe 1 ermittelten Lautsprecher zu einem passenden Verstärkerkanal.
 - Priorität hat dabei die Minimierung der Anzahl der Verstärker, in dem die Leistung aller Verstärkerkanäle möglichst gut ausgenutzt wird und möglichst wenig Leistung ungenutzt bleibt.
 - Die Zuordnung der Verstärker geschieht in einer iterativen Schleife bestehend aus diesem Initialschritt mit der Grundaufteilung der Lautsprecher und anschließend mehreren iterativen Durchgängen für eine optimale Belegung der Verstärkerkanäle.
 - Die Lautsprecher werden nach Zone und Lautsprechermodell sortiert.
- Kanalbelegung für niederohmige Lautsprecher:

- Möglichst viele gleiche Lautsprecher einer Zone auf einen Kanal parallel zusammenschalten, ohne die Mindestimpedanz des Verstärkers zu unterschreiten.
 - Die Mindestimpedanz ist die kleinste verfügbare Impedanz, zu der eine Leistungsangabe existiert, und muss später mit den Daten der anschließend ausgewählten Verstärker abgeglichen werden.
 - Für den Initialschritt ist eine Gesamtimpedanz von 4 Ohm für einen Kanal sinnvoll.
 - Wenn die Aufteilung der Lautsprecher auf Grund bestimmter Stückzahlen eine höhere Impedanz ergibt, muss im späteren Verlauf geprüft werden, ob die Verstärkerleistung bei der entsprechenden Impedanz ausreicht.
- Kanalbelegung für 100V Lautsprecher:
- Möglichst viele gleiche Lautsprecher einer Zone auf einen Kanal parallel zusammenschalten, ohne die Gesamtleistung des Verstärkers inklusive Reserve nicht zu überschreiten.
- Kanalbelegung für besonders leistungsstarke Lautsprecher:
- Falls für leistungsstarke Lautsprecher die verfügbare Leistung eines Verstärkerkanals nicht ausreicht, können bei einigen Verstärkern zwei Kanäle zu einem Kanal gebrückt werden (Bridge-Modus).
 - Im Bridge-Modus halbiert sich die Anzahl der verfügbaren Kanäle des Verstärkers.
 - Die bei einer bestimmten Impedanz gemeinsam verfügbare Leistung für zwei Kanäle, die zu einem gebrückt sind, ist in einer weiteren Spalte (Bridge) in der Verstärkerliste für den jeweiligen Verstärker ersichtlich.

C. Reserveleistung addieren und auf allen Kanälen mit einberechnen:

- Niederohmige Lautsprecher: Gesamtleistung pro Kanal * 1,5
- 100V Lautsprecher: Gesamtleistung pro Kanal * 1,1

D. Auswahl der Verstärker und iterative Optimierung:

Gilt immer:

- Anhand der Gesamtimpedanz der zu einem Kanal zusammengefassten Lautsprecher und der ermittelten Gesamtleistung inklusive Reserve werden passende Verstärker aus der Verstärkerliste gesucht.
- Pro Kanal dürfen nur gleiche Lautsprechermodelle aus derselben Zone verwendet werden.
- Pro Verstärker dürfen Kanäle mit unterschiedlichen Lautsprechermodellen aus unterschiedlichen Zonen verwendet werden.
- Da in der initialen Kanalbelegung (Schritt B) noch keine konkreten Verstärker aus der Verstärkerliste ausgewählt wurden, fehlten zunächst die Informationen über die Mindestimpedanz des Verstärker.
- Die Gesamtimpedanz der zu einem Kanal zusammengefassten Lautsprecher muss nun mit der Mindestimpedanz der entsprechenden Verstärker abgeglichen werden.
- Das hat zur Folge, dass die Kanalbelegung in einem weiteren Durchgang angepasst werden muss, in dem die Anzahl der Lautsprecher pro Verstärkerkanal so verändert wird, dass sie zur verfügbaren Leistung und zur Impedanz der Verstärker passt.

Bei Fokus auf Budget:

- Es müssen die günstigsten Verstärker mit ausreichend Leistung gefunden werden.
- Der Gesamtpreis muss so gering wie möglich gehalten werden.
- Es soll so wenig Leistung ungenutzt bleiben wie möglich und es dürfen keine unnötig leistungsstarken Verstärker verwendet werden, außer sie sind günstiger.

- Alle Kanäle eines verwendeten Verstärkers sollen nach Möglichkeit ausgenutzt werden.
- DSP ist irrelevant.
- Dante-Fähigkeit ist irrelevant.
- Es muss geprüft werden, ob mehr Lautsprecher auf einen anderen leistungsstärkeren Kanal passen, um die Gesamtanzahl der Verstärker und damit den Gesamtpreis weiter zu minimieren.
- Es muss geprüft werden, ob bei Lautsprechern mit wählbarer Impedanz eine alternative Impedanz eine effizientere Kanalbelegung mit insgesamt günstigeren Verstärkern ermöglicht.
- Es muss geprüft werden, ob der Gesamtpreis minimiert werden kann, in dem ein teurer Verstärker durch mehrere günstige Verstärker ersetzt wird.

Bei Fokus auf Qualität:

- Es müssen passende Verstärker mit ausreichend Leistung gefunden werden.
- Die Gesamtanzahl der Geräte muss so gering wie möglich gehalten werden: Besser einen größeren Verstärker als mehrere kleine Verstärker.
- Es soll so wenig Leistung ungenutzt bleiben wie möglich und es dürfen keine unnötig leistungsstarken Verstärker verwendet werden.
- Alle Kanäle eines verwendeten Verstärkers sollen nach Möglichkeit ausgenutzt werden.
- DSP Verstärker werden immer bevorzugt.
- Dante-fähige Verstärker werden immer bevorzugt.
- Es muss geprüft werden, ob mehr Lautsprecher auf einen anderen leistungsstärkeren Kanal passen, um die Gesamtanzahl der Verstärker weiter zu minimieren.
- Es muss geprüft werden, ob bei Lautsprechern mit wählbarer Impedanz eine alternative Impedanz eine effizientere Kanalbelegung mit insgesamt weniger Verstärkerkanälen ermöglicht.
- Es muss geprüft werden, ob die Gesamtanzahl der Verstärker minimiert werden kann, in dem mehrere Kanäle auf einem Mehrkanal-Verstärker zusammengefasst werden.

E. Überprüfung der Zuordnung:

- Es muss validiert werden, ob alle Lautsprecher erfolgreich auf Verstärkerkanäle zugeordnet werden konnten.
- Es muss validiert werden, ob keine Verstärkerkanäle überbelegt wurden.
- Es muss validiert werden, ob kein Verstärker mehr Leistung hat als nötig.
- Es muss validiert werden, ob alternative Verstärker mit weniger Leistung dieselbe Aufgabe erfüllen könnten.
- Es muss validiert werden, ob es weitere Optimierungsmöglichkeiten gibt, wie zum Beispiel durch andere Impedanzvarianten der Lautsprecher oder mehrkanalige Verstärker zur Reduzierung der Gesamtanzahl der Verstärker.

Output:

- Tabelle mit folgenden Spalten:
- "Zone" = Name der Zone
- "Verstärker ID" = Einmalige ID des Verstärkers in der Form: "[Name]_[ID]" (Beispiel: "AUDAC SMQ350_1", "AUDAC SMQ350_2")
- "Verstärker Leistung" = Verfügbare Leistung pro Kanal in der ausgewählten Impedanzvariante und Anzahl der Kanäle in der Form: "[Anzahl der Kanäle] x [Leistung] Watt @ [Impedanz] Ohm" oder "[Anzahl der Kanäle] x [Leistung] Watt @ 100V"

- "Verstärker Kanal" = Kanalnummer innerhalb des Verstärkers für jeden Verstärker aufsteigend von 1 (Jeder Verstärkerkanal bekommt eine eigene Zeile, für den selben Verstärker mit der selben ID gibt es dann mehrere Zeilen)
- "Lautsprecher" = Anzahl und Name des verwendeten Lautsprechermodells auf diesem Verstärkerkanal in der Form "[Anzahl der Lautsprecher] x [Name des Lautsprechermodells]"
- "Lautsprecher Leistung" = RMS-Leistung und Impedanz bzw. 100V Angabe des Lautsprechermodells für einen einzelnen Lautsprecher in der Form: "[Leistung] Watt @ [Impedanz] Ohm" oder "[Leistung] Watt @ 100V"
- "Leistung pro Kanal" = Berechnete Gesamtleistung pro Verstärkerkanal inklusive Reserve in der Form: "[Leistung] Watt + [Leistung] Watt Reserve"
- "Impedanz pro Kanal" = Berechnete Gesamtimpedanz am Verstärkerkanal bei niederohmiger Verkabelung oder 100V Angabe
- "Verkabelungsart" = niederohmig oder 100V
- "Zubehör" = Namen und Stückzahlen des gesamten benötigten Zubehörs des Verstärkermodells

Aufgabe 3: Planung der Matrix/Steuerzentrale

Aufgabe:

- Auswahl einer geeigneten Audiomatrix anhand der Zonenanzahl und der zuvor ausgewählten Verstärker

Regeln:

- Alle folgenden Regeln sind strikte MUSS-Regeln:
- Das untenstehende Vorgehen muss immer eingehalten werden.
- Für die Auswahl der Audiomatrix dürfen ausschließlich Produkte aus der Matrixliste "Matrixliste.txt" aus der GPT-Wissensdatenbank verwendet werden.
- Die Matrixliste beinhaltet alle dafür notwendigen Informationen in den jeweiligen Spalten und die einzelnen Einträge mit den entsprechenden Matrixdaten sind zeilenweise aufgelistet.
- Die Preisliste "Preisliste.txt" in der GPT-Wissensdatenbank beinhaltet alle Preise aller Produkte mit eindeutigem und einmaligem Namen.
- Es muss eine geeignete Lösung gefunden werden, die alle Zonen berücksichtigt, die zu Beginn als Input eingegeben wurden.

Vorgehen:

A. Auswahl der Systemarchitektur:

- Je nach Anzahl der Zonen, des Fokus auf Budget oder Qualität und weiterer Besonderheiten wird die grundlegende Architektur des Systems festgelegt.

System ohne Matrix planen, wenn alle der folgenden Kriterien zutreffen:

- Wenn es nur einen Verstärker gibt, unabhängig davon wie viele Zonen der Verstärker bedient
- Wenn keine externe Steuerungsmöglichkeit oder externe Inputmöglichkeit gewünscht ist
- Wenn der Fokus auf Budget liegt

System mit Matrix planen, wenn eine der folgenden Kriterien zutrifft:

- Wenn es mehrere Verstärker gibt
- Wenn eine externe Steuerungsmöglichkeit oder externe Inputmöglichkeit gewünscht ist
- Wenn der Fokus auf Qualität liegt

B. Auswahl der Netzwerkarchitektur:

Wenn der Fokus auf Budget liegt:

- Immer analoges System ohne Dante planen, außer ein netzwerkbasierendes System mit Dante ist günstiger.
- Immer prüfen ob ein netzwerkbasierendes System mit Dante durch eine Kombination aus Matrix/Controller-Verstärker und End-Verstärker den Gesamtpreis reduziert.
- Wenn der in Aufgabe 2 geplante Verstärker nicht Dante-fähig ist, muss geprüft werden, ob ein Austausch zu einem Dante-fähigen Verstärker den Gesamtpreis reduziert.

Wenn der Fokus auf Qualität liegt

- Netzwerkbasierendes System mit Dante planen.

C. Auswahl der Matrix:

- Es muss das kleinstmögliche Matrix/Controller-Verstärker Modell gefunden werden, das alle Zonen berücksichtigt, die zu Beginn als Input eingegeben wurden.
- Die Zonenanzahl der Matrix muss größer oder gleich der Zonenanzahl im Projekt sein.

- Es darf keine Matrix mit unnötig großer Zonenanzahl gewählt werden, so dass möglichst wenig Matrixzonen verschenkt werden.

D. Sonderfall bei Matrixmodellen vom Typ Controller-Verstärker:

- Wenn eine Matrix ausgewählt wurde, die in der Matrixliste den Typ "Controller-Verstärker" hat, muss geprüft werden, ob ein Verstärker dieser Art bereits in Aufgabe 2 verwendet wurde.
- Wenn dieses Verstärkermodell bereits in Aufgabe 2 verwendet wurde, existiert dieses Gerät bereits und es muss kein weiteres Gerät in der Stückliste hinzugefügt werden.

Output:

- Auflistung mit folgenden Daten:
- "Matrixname" = Name des Matrixmodells
- "Verfügbare Zonen" = Anzahl der Zonen
- "Projektzonen" = Anzahl der Zonen im Projekt
- "Netzwerk" = Netzwerkarchitektur ("Dante" oder "Analog")
- "Zubehör" = Namen und Stückzahlen des gesamten benötigten Zubehörs des Matrix-/Controller-Verstärkermodells

Aufgabe 4: Planung der Steuer- und Inputmodule

Aufgabe:

- Auswahl und Stückzahlenfestlegung von Steuer- und Inputmodulen für jede Zone anhand der eingegebenen Parameter und passend zur in Aufgabe 3 ausgewählten Audiomatrix/Controller-Verstärker

Regeln:

- Alle folgenden Regeln sind strikte MUSS-Regeln:
- Das untenstehende Vorgehen muss immer eingehalten werden.
- Für die Auswahl der Steuer- und Inputmodule dürfen ausschließlich Produkte aus der Steuer-Inputliste "Steuer-Inputliste.txt" aus der GPT-Wissensdatenbank verwendet werden.
- Die Steuer-Inputliste beinhaltet alle dafür notwendigen Informationen in den jeweiligen Spalten und die einzelnen Einträge mit den entsprechenden Daten der Steuer- und Inputmodule sind zeilenweise aufgelistet.
- Die Preisliste "Preisliste.txt" in der GPT-Wissensdatenbank beinhaltet alle Preise aller Produkte mit eindeutigem und einmaligem Namen.
- Für jede Zone müssen entsprechend den Steuer- und Inputvorgaben geeignete und zur jeweiligen Matrix/Controller-Verstärker passende Steuer- und Inputmodule in den richtigen Stückzahlen gefunden werden.

Vorgehen:

A. Auswahl der Steuermodule:

- Für das in Aufgabe 3 gewählte Modell von Matrix/Controller-Verstärker müssen passende Steuermodule gefunden werden.
- Steuermodule, die jeweils mit dem entsprechenden Modell von Matrix/Controller-Verstärker kompatibel sind, stehen in der Matrixliste in der Spalte "Kompatible Steuerung".
- Es muss für jede Zone überprüft werden, ob eine Steuerung notwendig ist und wenn ja, was gesteuert werden soll.
- Die Angaben des Users in den zonenspezifischen Informationen haben immer Vorrang.

Wenn keine Angaben zur Steuerung gemacht wurden:

- Grundsätzlich muss in jeder Zone eine Steuerung eingeplant werden.
- In folgenden oder ähnlich benannten Zonen muss keine Steuerung eingeplant werden: WC/Toilette, Flur, Outdoor/Terrasse, Eingang/Windfang, Aufzug/Fahrrad, Parkhaus/Tiefgarage
- Wenn sich in Aufgabe 3 ergibt, dass ein Projekt keine extern steuerbaren Geräte wie Matrix/Controller-Verstärker hat, muss auf das Ausbleiben einer Steuerung hingewiesen werden oder eine zusätzliche Matrix/Controller-Verstärker eingeplant werden.
- Die Steuerung muss eine Lautstärkesteuerung und eine Inputwahl beinhalten.

B. Auswahl der Inputmodule:

- Für das in Aufgabe 3 gewählte Modell von Matrix/Controller-Verstärker müssen passende Inputmodule gefunden werden.
- Inputmodule, die jeweils mit dem entsprechenden Modell von Matrix/Controller-Verstärker kompatibel sind, stehen in der Matrixliste in der Spalte "Kompatible Inputs".
- Es muss für jede Zone überprüft werden, ob ein Input notwendig ist und wenn ja, was der Input beinhalten soll.
- Die Angaben des Users in den zonenspezifischen Informationen haben immer Vorrang.

Wenn keine Angaben zum Input gemacht wurden:

- Grundsätzlich muss in jeder Zone ein Input eingeplant werden.
- In folgenden oder ähnlich benannten Zonen muss kein Input eingeplant werden: WC/Toilette, Flur, Outdoor/Terrasse, Eingang/Windfang, Aufzug/Fahrradstuhlgang, Parkhaus/Tiefgarage
- Wenn sich in Aufgabe 3 ergibt, dass ein Projekt keine Geräte mit externen Inputs wie Matrix/Controller-Verstärker hat, muss auf das Ausbleiben eines Inputs hingewiesen werden oder eine zusätzliche Matrix/Controller-Verstärker eingeplant werden.
- Der Input muss mindestens einen Line In oder einen XLR Eingang haben.

Output:

- Auflistung mit folgenden Daten:
- "Zone" = Name der Zone
- "Modul" = Name des Steuer- oder Inputmoduls (wenn in einer Zone mehrere Steuer- und/oder Inputmodule verwendet werden, bekommt jedes Modul eine eigene Zeile, für die selbe Zone gibt es dann mehrere Zeilen)
- "Anzahl" = Stückzahl des Moduls
- "Typ" = Typ des Moduls ("Steuerung" oder "Input")
- "Signalübertragung" = Signalübertragung des Steuermoduls ("Dante" oder "Analog")
- "Zubehör" = Namen und Stückzahlen des gesamten benötigten Zubehörs des Steuer- oder Inputmoduls

Aufgabe 5: Berechnung der Aufwände

Aufgabe:

- Berechnung der Montage-, Programmier- und Anfahrtszeiten abhängig von den zuvor festgelegten Stückzahlen aller Komponenten und der Entfernung des Projekts nach fest definierten Richtwerten

Regeln:

- Alle folgenden Regeln sind strikte MUSS-Regeln:
- Das untenstehende Vorgehen muss immer eingehalten werden.
- Für die Berechnung der Aufwände dürfen ausschließlich Werte aus der Aufwandsliste "Aufwandsliste.txt" aus der GPT-Wissensdatenbank verwendet werden.
- Die Aufwandsliste beinhaltet alle dafür notwendigen Informationen in den jeweiligen Spalten und die einzelnen Einträge mit den entsprechenden Werten der Aufwände sind zeilenweise aufgelistet.
- Die Personalkostenliste "Personalkostenliste.txt" in der GPT-Wissensdatenbank beinhaltet alle Personalkosten pro Stunde und alle nötigen Pauschalen.
- Für das gesamte Projekt müssen anhand der gesamten Stückzahlen der Lautsprecher, Verstärker, Matrix/Controller-Verstärker, Steuer- und Inputmodule und weiterer Faktoren die gesamten zeitlichen Personalaufwände inklusive An- und abfahrt berechnet werden.

Vorgehen:

A. Berechnung des zeitlichen Aufwands:

- Der zeitliche Aufwand hängt von den verplanten Lautsprechern, Verstärkern, Matrizen/Controller-Verstärkern, Steuer- und Inputmodulen und weiteren Faktoren ab.
- Die zeitlichen Aufwände sind in der Aufwandsliste in der Spalte "Aufwandsname" beschrieben müssen entsprechend mit dem jeweiligen zeitlichen Faktor multipliziert werden.
- Für jede technische Komponenten muss der entsprechende Aufwand in der Aufwandsliste gesucht und berechnet werden.
- Es muss immer die gesamte Aufwandsliste durchgegangen werden und geprüft werden, ob einer dieser Aufwände bei einem Produkt zutrifft.
- In der Spalte "Einbeziehen" ist ersichtlich, wann der jeweilige Aufwand in die Berechnung mit einbezogen werden muss.
- Einige Aufwände werden nur einbezogen, wenn ein entsprechendes Produkt verplant ist.
- Einige Aufwände werden einmalig einbezogen, wenn sie auf das Projekt zutreffen.
- Einige Aufwände werden immer einbezogen und hängen von diversen Stückzahlen oder anderer Parameter ab.
- Der Aufwand wird in die verschiedenen Personalkategorien eingeteilt.
- Für jede Personalkategorie werden die jeweils berechneten Gesamtstunden zusammengezählt und auf ganze Stunden aufgerundet.

B. Festlegung der Personenanzahl:

- Die Personenanzahl ist abhängig von der Projektgröße bezogen auf die Anzahl der Zonen und die Größe der Fläche.
 - Kleine Fläche = Die Hälfte der Zonen ist unter 100 Quadratmeter groß
 - Große Fläche = Die Hälfte der Zonen ist über 100 Quadratmeter groß
- Die Personenanzahl richtet sich nach folgenden Werten:
- Projekt mit 1 bis 2 Zonen und kleinen Fläche: 1 Person
 - Projekt mit 1 bis 2 Zonen und großen Fläche: 2 Personen

- Projekt mit 3 bis 4 Zonen und kleinen Fläche: 2 Personen
- Projekt mit 3 bis 4 Zonen und großen Fläche: 3 Personen
- Projekt mit 5 bis 6 Zonen und kleinen Fläche: 2 Personen
- Projekt mit 5 bis 6 Zonen und großen Fläche: 3 Personen
- Projekt mit 7 bis 8 Zonen und kleinen Fläche: 3 Personen
- Projekt mit 7 bis 8 Zonen und großen Fläche: 4 Personen
- Projekt mit mehr als 8 Zonen und kleinen Fläche: 3 Personen
- Projekt mit mehr als 8 Zonen und großen Fläche: 4 Personen

C. Berechnung der Arbeitstage:

- Es wird der gesamte zeitliche Stundenaufwand in Tagen berechnet: Summe der Stunden geteilt durch 8 Stunden pro Tag.
- Es wird die Gesamtsumme der Arbeitstage für alle Personen berechnet: Summe der Tage geteilt durch Anzahl der Personen.
- Es wird auf halbe Tage aufgerundet.

D. Berechnung des Reisepakets:

- Das Reisepaket setzt sich aus den Fahrtzeiten der Personen und den Kilometerpauschalen der Fahrzeuge zusammen und wird in Form einer Gesamtsumme angegeben.
- Pro 5 Gesamtarbeitstage wird ein Reisepaket hinzugefügt.
- Für das Reisepaket muss die Auto Streckenlänge in Kilometern und die Auto Fahrtzeit in Stunden von der Startadresse bis zu Projektadresse auf schnellstem und einfachsten Weg herausgefunden werden.
- Die Startadresse lautet immer: Hamburg, Deutschland
- Stundenangaben werden auf halbe Stunden aufgerundet
- Kilometerangaben werden auf 10 Kilometer aufgerundet
- Bis 2 Personen wird nur mit einem PKW gefahren.
- Bei 3 Personen wird nur mit einem Transporter gefahren.
- Bei 4 Personen wird mit einem PKW und einem Transporter gefahren.
- Pro Fahrzeug ist immer eine Person Fahrer, alle anderen Personen sind Beifahrer.

Das Reisepaket berechnet sich wie folgt:

- Fahrtzeit Fahrer: Gesamtfahrtzeit für jeden Fahrer für Hinweg und Rückweg anhand der berechneten Fahrtzeit zur Projektadresse und den entsprechenden Preisen pro Stunde aus der Personalkostenliste.
- Fahrtzeit Beifahrer: Gesamtfahrtzeit für jeden Beifahrer für Hinweg und Rückweg anhand der berechneten Fahrtzeit zur Projektadresse und den entsprechenden Preisen pro Stunde aus der Personalkostenliste.
- Kilometerpauschale PKW: Gesamtstrecke von Hinweg und Rückweg anhand der berechneten Streckenlänge zur Projektadresse und den entsprechenden Preisen pro Kilometer aus der Personalkostenliste.
- Kilometerpauschale Transporter: Gesamtstrecke von Hinweg und Rückweg anhand der berechneten Streckenlänge zur Projektadresse und den entsprechenden Preisen pro Kilometer aus der Personalkostenliste.

Output:

- Tabelle mit folgenden Spalten:
- "Aufwandsname" = Name des beschriebenen Aufwands (Für jeden Aufwand gibt es eine eigene Zeile)
- "Personal" = Personalkategorie
- "Faktor" = Zeit pro 1 Stück oder pro einmaligem Aufwand
- "Zeit" = Gesamtzeit in Stunden für diesen Aufwand
- Auflistung folgender Daten in Textform:
- "Gesamtaufwand: [zeitlicher Gesamtaufwand in Stunden]"
- "Anzahl der Personen: [Anzahl der Personen]"

- "Anzahl der Tage: [Anzahl der Gesamtarbeitstage]"
- "Entfernung des Projekts: [gerundete Streckenkilometer für den Hinweg]"
- "Fahrtzeit eine Strecke: [gerundete Fahrtzeit für den Hinweg]"
- "Reisepaket: Fahrer [Fahrtzeit Fahrer] + Beifahrer [Fahrtzeit Beifahrer] + PKW [Kilometerpauschale PKW] + Transporter [Kilometerpauschale Transporter]"

Aufgabe 6: Berechnung der Kosten

Aufgabe:

- Berechnung der Hardwarekosten abhängig von allen festgelegten Stückzahlen und Berechnung der Personalkosten abhängig von allen berechneten Aufwänden nach bereitgestellten Preislisten

Regeln:

- Alle folgenden Regeln sind strikte MUSS-Regeln:
- Das untenstehende Vorgehen muss immer eingehalten werden.
- Für die Berechnung der Kosten dürfen ausschließlich Preise aus der Preisliste "Preisliste.txt" und aus der Personalkostenliste "Personalkostenliste.txt" aus der GPT-Wissensdatenbank verwendet werden.
- Für das gesamte Projekt müssen anhand der gesamten in Aufgabe 1 bis 4 berechneten Stückzahlen aller Lautsprecher, Verstärker, Matrix/Controller-Verstärker, Steuer- und Inputmodule und des gesamten Zubehörs die Hardwarekosten berechnet werden.
- Für das gesamte Projekt müssen anhand der gesamten in Aufgabe 5 berechneten Aufwände die Personalkosten berechnet werden.
- Alle Hardwarekosten und Personalkosten müssen abschließend in Form eines finalen Angebots mit vollständiger Positionsliste präsentiert werden.

Vorgehen:

A. Berechnung der Hardwarekosten:

- Es müssen die korrekten EK und VK Kosten aller Lautsprecher, Verstärker, Matrix/Controller-Verstärker, Steuer- und Inputmodule und des gesamten Zubehörs in den richtigen Stückzahlen zugeordnet werden.
- Die EK und VK Kosten müssen für jedes Produkt als Stückpreis und als Gesamtpreis nach Stückzahl vorliegen.
- Es müssen die Gesamtsummen aller Hardwarekosten in EK und VK berechnet werden.

B. Berechnung der Personalkosten:

- Es müssen die gesamten Personalkosten anhand der gesamten zeitlichen Aufwände berechnet werden.
- Kleinteilepauschale: Die Höhe der Kleinteilepauschale ist abhängig von der Zonenanzahl des Projekts und muss entsprechend aus der Personalkostenliste ausgewählt und als einmalige Position zu jedem Projekt hinzuaddiert werden.
- Techniker/Bauleiter: Anhand der Personalkostenliste müssen die Kosten für die in Aufgabe 5 berechneten zeitlichen Aufwände berechnet werden.
- Programmierer: Anhand der Personalkostenliste müssen die Kosten für die in Aufgabe 5 berechneten zeitlichen Aufwände berechnet werden.
- Reisepaket: Das Reisepaket wurde bereits in Aufgabe 5 berechnet und muss in Form einer einzelnen Summe übernommen werden.
- Es müssen die Gesamtsummen aller Personalkosten in EK und VK berechnet werden.

C. Erstellung des Angebots:

Es muss ein Angebot erstellt werden, dass sämtliche VK Kosten vollständig beinhaltet:

- alle Lautsprecher + Zubehör
- alle Verstärker + Zubehör
- alle Matrix/Controller-Verstärker + Zubehör
- alle Steuer- und Inputmodule + Zubehör

- gesamte Kleinteilepauschale
- gesamter Aufwand Techniker/Bauleiter
- gesamter Aufwand Programmierer
- gesamtes Reisepaket als eine Summe

Das Angebot hat folgende Kopfzeilen:

- Name und Anschrift des Projekts
- Datum des Angebots
- Überschrift "Musikanlagenkonzept für [Projektname]"

Die Angebotspositionen sind nach folgenden Kategorien mit Zwischenüberschriften sortiert:

- "Lautsprecher" (Lautsprecher inklusive Zubehör unter dem entsprechenden Produkt)
- "Zentraltechnik" (Verstärker und Matrix/Controler-Verstärker inklusive Zubehör unter dem entsprechenden Produkt)
- "Steuer- und Inputmodule" (Steuer- und Inputmodule inklusive Zubehör unter dem entsprechenden Produkt)
- "Personalkosten" (Kleinteilepauschale, Techniker/Bauleiter, Programmierer, Reisepaket als eine Summe)

Das Angebot hat folgende Spalten:

- "Position" = Positionsnummer
- "Artikel" = Name des Produkts
- "Menge (Stk)" = Stückzahl des Produkts
- "VE" = Verpackungseinheit des Produkts
- "Menge (VE)" = Stückzahl der Einheiten des Produkts
- "Stückpreis (VE)" = VK Stückpreis einer Einheit des Produkts
- "Gesamt" = VK Gesamtpreis der jeweiligen Position

Das Angebot hat folgende Abschlusszeilen:

- "Gesamt Netto: [Nettosumme]"
- "MwSt. 19%: [Enthaltene Mehrwertsteuer]"
- "Gesamt Brutto: [Bruttosumme]"

D. Zusätzlicher Output:

Zusätzlich zum Angebot werden in Textform folgende Werte ausgegeben:

- "Hardwarekosten EK" = EK Netto Gesamtsumme aller Hardwarekosten
- "Hardwarekosten VK" = VK Netto Gesamtsumme aller Hardwarekosten
- "Personalkosten EK" = EK Netto Gesamtsumme aller Personalkosten
- "Personalkosten VK" = VK Netto Gesamtsumme aller Personalkosten

C. Tabellen aus der Wissensdatenbank des Custom GPT

Tabelle 5: Lautsprecherliste (Auszug)

Name	Lautsprechertyp	Treibergrösse										Anschluss										Masse in mm (B x H x T)		Deckenausschnitt in mm		Indoor/Outdoor	Benötigtes Zubehör			
		RMS Leistung in Watt		Impedanz in Ohm V1		100V Tap in Watt V2		100V Tap in Watt V3		Empfindlichkeit (2W/1m) in db		Abstrahlwinkel A in Grad		Abstrahlwinkel B in Grad		Frequenzgang (+/-3 db)		Anschluss		Masse in mm (B x H x T)	Einbausschnitt in mm	Einbaugewicht in kg	Farbe							
AUDAC ALTI4	Aufbalaufsprecher	4	30	16	24	12	6	3	80	165	165	3,55	85 Hz - 20 kHz	4-pin Euroblock	170 x 223	2,23	Schwarz, Weiss	Indoor												
AUDAC ALTI4M	Aufbalaufsprecher	4	30	16	24	12	6	3	80	165	165	3,55	85 Hz - 20 kHz	AWX-5 connector	205 x 170 x 258	2,31	Schwarz, Weiss	Indoor, Outdoor												
AUDAC ALTI6	Pendellaufsprecher	6	60	16	60	30	15	7,5	83	115	115	5,99	75 Hz - 17 kHz	4-pin Euroblock	230 x 302	3,39	Schwarz, Weiss	Indoor												
AUDAC ALTI6M	Aufbalaufsprecher	6	60	16	60	30	15	7,5	83	115	115	5,99	75 Hz - 17 kHz	AWX-5 connector	235 x 230 x 336	3,48	Schwarz, Weiss	Indoor, Outdoor												
AUDAC ATEO2	Aufbalaufsprecher	2	10	8					83	145	170	3,99	120 Hz - 20 kHz	2-pin Euroblock	80 x 136 x 115	0,39	Schwarz, Weiss	Indoor											1x AUDAC WMA20	
AUDAC ATEO2S	Aufbalaufsprecher	2	10	8					83	145	170	3,99	120 Hz - 20 kHz	2-pin Euroblock	80 x 136 x 115	0,39	Schwarz, Weiss	Indoor											1x AUDAC WMA20	
AUDAC ATEO4M	Aufbalaufsprecher	4	35	8	16	24	12	6	3	86	130	5,13	100 Hz - 20 kHz	2x WAGO Klemme	136 x 244 x 153	2,05	Schwarz, Weiss	Indoor, Outdoor											1x AUDAC WMA40M	
AUDAC ATEO6M	Aufbalaufsprecher	6	60	8	16	50	25	12,5	6,25	89	120	5,69	65 Hz - 20 kHz	2x WAGO Klemme	193,1 x 347,5 x 215,2	3,82	Schwarz, Weiss	Indoor, Outdoor											1x AUDAC WMA60M	
AUDAC BASO10	Bass	10	225	8					97			45 Hz - 300 Hz	2x Speakon	340 x 420 x 430	17,4	Schwarz, Weiss	Indoor													
AUDAC BASO12	Bass	12	500	8					98			40 Hz - 300 Hz	2x Speakon	380 x 449 x 460	22	Schwarz, Weiss	Indoor													
AUDAC BASO15	Bass	15	700	8					99			38 Hz - 300 Hz	2x Speakon	450 x 534 x 525	31	Schwarz, Weiss	Indoor													
AUDAC BASO18	Bass	18	900	8					96			32 Hz - 300 Hz	2x Speakon NL74MPBAG	520 x 619 x 615	41,1	Schwarz, Weiss	Indoor													
AUDAC BASSO112	Bass	12	1000	8					94			33 Hz - 120 Hz	Euroblock	608 x 366 x 595	26	Schwarz	Indoor, Outdoor													
AUDAC BASSO115	Bass	15	1500	8					98			37 Hz - 120 Hz	Euroblock	688 x 446 x 703	35	Schwarz	Indoor, Outdoor													
AUDAC BASSO118	Bass	18	1500	8					99			30 Hz - 120 Hz	Euroblock	758 x 550 x 798	45	Schwarz	Indoor, Outdoor													
AUDAC CALI424II	Einbalaufsprecher	4	30	8	24	12	6	3	84	155	155	3,96	105 Hz - 20 kHz	Ceramic screw terminal	192 x 125,9	170	110	2,26	Weiss	Indoor										
AUDAC CALI660II	Einbalaufsprecher	6	60	8	60	30	15	7,5	87	145	145	4,39	90 Hz - 20 kHz	Ceramic screw terminal	242 x 135,9	220	120	3,42	Weiss	Indoor										
AUDAC CELO2I	Einbalaufsprecher	2	10	8					84	155	155	3,96	100 Hz - 20 kHz	Gold-Con	118 x 95	104	93	0,85	Weiss	Indoor										
AUDAC CELO5I	Einbalaufsprecher	5	50	8					87	150	150	4,17	70 Hz - 20 kHz	Gold-Con	188 x 108	170	102	1,78	Weiss, Schwarz	Indoor										
AUDAC CELO6I	Einbalaufsprecher	6	60	8					88	140	140	4,63	55 Hz - 20 kHz	Gold-Con	225 x 115	205	110	2,08	Weiss	Indoor										
AUDAC CELO8I	Einbalaufsprecher	8	80	8					89	135	135	4,87	46 Hz - 20 kHz	Gold-Con	270 x 118	245	115	2,25	Weiss, Schwarz	Indoor										
AUDAC CELO8SI	Bass	8	50	8					83			45 Hz - 200 Hz	4-pin Euroblock Input + 8-pin Euroblock Output	275 x 120	250	117	2,75	Weiss, Schwarz	Indoor											
AUDAC CIRA506I	Einbalaufsprecher	5	30	8	24	12	6		87	155	155	3,96	65 Hz - 20 kHz	Fast-Con	199 x 80	182	80	1,1	Weiss	Indoor										
AUDAC CIRA724I	Einbalaufsprecher	7	30	8	24	12	6		88	150	150	4,17	55 Hz - 20 kHz	Fast-Con	224 x 81	200	78	1,45	Weiss	Indoor										
AUDAC CIRA824I	Einbalaufsprecher	8	40	8	24	12	6		89	140	140	4,63	40 Hz - 20 kHz	Fast-Con	270 x 82	243	82	1,75	Weiss	Indoor										
AUDAC KYRA6	Zeilenautsprecher	6	60	12	40	20	10	5	89	174	28	11,1	150 Hz - 20 kHz	3-pin Euroblock	70 x 506 x 101															
AUDAC KYRA12	Zeilenautsprecher	2	120	12	40	20	10	5	92	174	9	16,03	150 Hz - 20 kHz	3-pin Euroblock	70 x 1006 x 147															
AUDAC KYRA24	Zeilenautsprecher	2	240	4	40	20	10		92	174	7	17,12	150 Hz - 20 kHz	3-pin Euroblock	70 x 2006 x 168															
AUDAC NELO706	Aufbalaufsprecher	7	10		6	3	1,5		96	140	140	4,63	100 Hz - 15 kHz	SnapConnect	206,5 x 95															
AUDAC NOBA8	Bass	8	100	8					83			90 Hz - 350 Hz	2-pin Euroblock	558 x 383 x 149															1x AUDAC MBK108V	
AUDAC VEXO108	Aufbalaufsprecher	8	200	8					95	90	70	8,76	70 Hz - 20 kHz	2x Speakon	244 x 425 x 256														1x AUDAC MBK110V	
AUDAC VEXO110	Aufbalaufsprecher	10	300	8					96	90	70	8,76	65 Hz - 20 kHz	2x Speakon	329 x 542 x 345														1x AUDAC MBK110V	
AUDAC VEXO110A	Aufbalaufsprecher	10	300	8					96	90	70	8,76	65 Hz - 20 kHz	3-pin Euroblock, 2x Comb	329 x 542 x 345														1x AUDAC MBK112V	
AUDAC VEXO112	Aufbalaufsprecher	12	400	8					99	90	70	8,76	58 Hz - 20 kHz	2x Speakon	369 x 610 x 390														1x AUDAC MBK112V	
AUDAC VEXO112A	Aufbalaufsprecher	12	400	8					99	90	70	8,76	58 Hz - 20 kHz	3-pin Euroblock, 2x Comb	369 x 610 x 390														1x AUDAC MBK112V	
AUDAC VEXO115	Aufbalaufsprecher	15	500	8					100	90	70	8,76	50 Hz - 20 kHz	2x Speakon	429 x 690 x 450														1x AUDAC MBK115V	
AUDAC VEXO115A	Aufbalaufsprecher	15	500	8					100	90	70	8,76	50 Hz - 20 kHz	3-pin Euroblock, 2x Comb	429 x 690 x 450														1x AUDAC MBK115V	

Tabelle 6: Verstärkerliste

Verstärkername	Anzahl Kanäle				Leistung bei 4 Ohm pro Kanal in Watt				Leistung bei 8 Ohm pro Kanal in Watt				Leistung bei 100V pro Kanal in Watt				Signalverarbeitung				Dante-fähig				Input Anschlüsse				Output Anschlüsse				Größe				Höhenmaßeinheiten				Masse in mm (Breite x Höhe x Tiefe)				Benötigtes Zubehör				Gewicht in Kg			
AUDAC AMP22	2	15	7,5	30	kein DSP	Nein	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	Optional 19 Zoll mit Zubehör	1 108 x 44 x 165	0,8	1x AUDAC MBS101R																																								
AUDAC AMP203	2	30	30	30	DSP	Ja	RJ45	4-pin Euroblock (5,08 mm)	Optional 19 Zoll mit Zubehör	1 108 x 44 x 165	0,7	1x AUDAC MBS101R																																								
AUDAC AMP523MK2	2	15	7,5	30	kein DSP	Nein	18-pin Euroblock (3,81 mm), RJ45	4-pin Euroblock (5,08 mm)	Optional 19 Zoll mit Zubehör	1 108 x 44 x 165	0,81	1x AUDAC MBS101R																																								
AUDAC CAP224	2				240	kein DSP	Nein	XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	7,2	1x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC CAP248	2				480	kein DSP	Nein	XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	7,5	1x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC CAP412	4	120			120	kein DSP	Nein	XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	14,8	2x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC CAP424	4				240	kein DSP	Nein	XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,35	2x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC CAP448	4				480	kein DSP	Nein	XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,85	2x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC COM104	1	40			40	kein DSP	Nein	3-pin Euroblock (3,81 mm)	Halb 19 Zoll	1 217,5 x 43,7 x 300	3	1x AUDAC MBS310																																								
AUDAC COM108	1	80			80	kein DSP	Nein	3-pin Euroblock (3,81 mm)	Halb 19 Zoll	1 217,5 x 43,7 x 300	3	1x AUDAC MBS310																																								
AUDAC COM12MK2	1	120			120	kein DSP	Nein	XLR female	19 Zoll	2 420 x 88 x 320	9,7																																									
AUDAC COM24MK2	1	240			240	kein DSP	Nein	XLR female	19 Zoll	2 420 x 88 x 320	11																																									
AUDAC EPA252	2	250	130	500	kein DSP	Nein	XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm)	19 Zoll	1 482 x 44 x 330	4,4	1x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC EPA254	4	250	130	500	kein DSP	Nein	XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm)	19 Zoll	1 482 x 44 x 330	4,7	2x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC EPA502	2	500	300	1000	kein DSP	Nein	XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm)	19 Zoll	1 482 x 44 x 330	4,7	1x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC EPA104	4	100	50	200	kein DSP	Nein	XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm)	19 Zoll	1 482 x 44 x 330	4,5	2x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC EPA152	2	150	80	300	kein DSP	Nein	XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm)	19 Zoll	1 482 x 44 x 330	4,1	1x AUDAC CLA834/1.5																																								
AUDAC MFA208	2	40	40		40	DSP	Ja	RCA	Halb 19 Zoll	1 217,5 x 43,7 x 300	2,2	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 1x AUDAC MBS310																																								
AUDAC MFA216	2	80	80		80	DSP	Ja	RCA	Halb 19 Zoll	1 217,5 x 43,7 x 300	2,2	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 1x AUDAC MBS310																																								
AUDAC PMQ240	4				240	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,05	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 2x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC PMQ480	4				480	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,5	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 2x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC PMQ600	4				600	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,6	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 2x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC SMA350	2	350	220	700	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm), Speakon	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	7,4	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 1x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC SMA500	2	500	300	1000	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm), Speakon	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	7,45	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 1x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC SMA750	2	750	380	1500	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm), Speakon	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	7,5	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 1x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC SMQ350	4	350	220	700	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm), Speakon	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,1	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 2x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC SMQ500	4	500	300	1000	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm), Speakon	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,25	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 2x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC SMQ750	4	750	380	1500	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm), Speakon	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	8,4	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 2x AUDAC CLA830/1.5																																								
AUDAC SMQ1250	4	1250	630	2500	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm), XLR female	2-pin Euroblock (5,08 mm), Speakon	19 Zoll	2 482 x 88 x 420	9,76	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 2x AUDAC CLA830/1.5																																								

Tabelle 7: Matrixliste

Matrixname	Typ	Anzahl Zonen										Anzahl Hardware Kanäle in				Anzahl Dante Kanäle Out				Dantefähig		Input Anschlüsse		Output Anschlüsse		Kompatible Steuerung
		4	10	8		kein DSP	Nein	RCA, XLR female	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	
AUDAC MTX48	Matrix	8	10	16		kein DSP	Nein	RCA, XLR female	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC MTX88	Matrix	32	12	8	32	64	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC LUNA-U	Matrix	32	12	8	32	64	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC LUNA-F	Matrix	32	12	8	32	64	DSP	Ja	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC AMP22	Controllen-Verstärker	1	2	1		kein DSP	Nein	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC AMP203	Controllen-Verstärker	1	2	1		kein DSP	Nein	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC AMP523MK2	Controllen-Verstärker	1	4	1		kein DSP	Nein	18-pin Euroblock (3,81 mm), RJ45	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm)	4-pin Euroblock (5,08 mm)	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3-pin Euroblock (3,81 mm) Line Out	3.5 mm Jack Line Out	3.5 mm Jack Line Out	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC MFA208	Controllen-Verstärker	1	2	1	2	2	DSP	Ja	RCA									AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45
AUDAC MFA216	Controllen-Verstärker	1	2	1	2	2	DSP	Ja	RCA									AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC MWX65, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105	AUDAC NCP105	AUDAC WP200	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45	AUDAC NCP105, AUDAC MWX45

Kompatible Inputs	Größe	Höheneinheiten	Masse in mm (Breite x Höhe x Tiefe)	Gewicht in kg	Benötigtes Zubehör
AUDAC WP210, AUDAC WP220, AUDAC WP225	19 Zoll	2 482 x 88 x 335	4,75		
AUDAC WP210, AUDAC WP220, AUDAC WP225	19 Zoll	2 482 x 88 x 335	4,84		
AUDAC NWP220, AUDAC NWP222, AUDAC NWP300, AUDAC NWP320, AUDAC NWP400	19 Zoll	1 482 x 44 x 335	3,68	1x AUDAC ANM88, 2x AUDAC SL-NAC8	
AUDAC NWP220, AUDAC NWP222, AUDAC NWP300, AUDAC NWP320, AUDAC NWP400	19 Zoll	1 482 x 44 x 335	3,68	2x AUDAC SL-NAC8	
AUDAC WP210, AUDAC WP220, AUDAC WP225	Optional 19 Zoll mit Zubehör	1 108 x 44 x 165	0,8	1x AUDAC MBS101R	
AUDAC NWP220, AUDAC NWP222, AUDAC NWP300, AUDAC NWP320, AUDAC NWP400	Optional 19 Zoll mit Zubehör	1 108 x 44 x 165	0,7	1x AUDAC MBS101R	
AUDAC WP210, AUDAC WP220, AUDAC WP225	Optional 19 Zoll mit Zubehör	1 108 x 44 x 165	0,81	1x AUDAC MBS101R	
AUDAC NWP220, AUDAC NWP222, AUDAC NWP300, AUDAC NWP320, AUDAC NWP400	Halb 19 Zoll	1 217,5 x 43,7 x 300	2,2	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 1x AUDAC MBS310	
AUDAC NWP220, AUDAC NWP222, AUDAC NWP300, AUDAC NWP320, AUDAC NWP400	Halb 19 Zoll	1 217,5 x 43,7 x 300	2,2	1x AUDAC ANI44XT, 1x AUDAC WORKANI, 1x AUDAC MBS310	

Tabelle 8: Steuer-Inputliste

Modulname	Typ	Steuerbare Variablen	Input Anschlüsse	Signalübertragung	Darmfänger Verbindung zur Matrix	Masse in mm (Breite x Höhe x Tiefe)
AUDAC MWX65	Steuerung, Input	Volume, Inputwahl, Bass, Treble	1x XLR female, 1x RCA	Analog	Nein	153 x 94 x 45 1x AUDAC WB50
AUDAC MWX45	Steuerung	Volume, Inputwahl		Analog	Nein	45 x 45 x 33 1x AUDAC CP45BOX1
AUDAC WP200	Steuerung	Volume		Analog	Nein	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC NCP105	Steuerung	Volume, Inputwahl, freie Belegung		Netzwerk	Ja	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC WP210	Input	Mic Level, Line Level	1x XLR female, 1x 3.5 mm Jack Line In	Analog	Nein	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC WP220	Input		1x Bluetooth	Analog	Nein	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC WP225	Input	Mic Level, Line Level	1x XLR female, 1x 3.5 mm Jack Line In, 1x Bluetooth	Analog	Nein	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC NWP220	Input		2x XLR female, 1x Bluetooth	Netzwerk	Ja	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC NWP222	Input		2x XLR female, 1x Bluetooth, 2x XLR male Out	Netzwerk	Ja	80 x 80 1x AUDAC WB220
AUDAC NWP300	Input		1x Bluetooth, 1x 3.5 mm Jack Line In	Netzwerk	Ja	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC NWP320	Input		2x XLR female, 1x Bluetooth, 1x 3.5 mm Jack Line In	Netzwerk	Ja	80 x 80 1x AUDAC WB200
AUDAC NWP400	Input		1x Bluetooth, 1x USB-C	Netzwerk	Ja	80 x 80 1x AUDAC WB200

Tabelle 9: Aufwandsliste

Aufwandsname	Personal	Zeit in Stunden	Faktor	Einbezahlen
Montage Aufbaulautsprecher kleiner 8 Zoll inklusive Zubehör	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Aufbaulautsprecher gleich oder größer 8 Zoll inklusive Zubehör	Techniker	1 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Deckenlautsprecher	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Pendellauslautsprecher	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Zeilenlautsprecher	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Bass	Techniker	1 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Steuermodul inklusive Zubehör	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Inputmodul inklusive Zubehör	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Matrix inklusive Zubehör	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Montage Verstärker inklusive Zubehör	Techniker	0,5 pro Stück		wenn vorhanden
Verkabelung Verstärker	Techniker	0,25 pro Stück		wenn vorhanden
Programmierung Matrix Projekt mit 1 bis 4 Zonen	Programmierer	1,5 pro Stück		wenn auf Projekt zutrifft
Programmierung Matrix Projekt mit mehr als 4 Zonen	Programmierer	3 pro Stück		wenn auf Projekt zutrifft
Programmierung Verstärker ohne DSP	Programmierer	0,25 pro Stück		wenn vorhanden
Programmierung Verstärker mit DSP	Programmierer	1 pro Stück		wenn vorhanden
Einrichtung Dante Netzwerk	Programmierer	2 einmalig		wenn vorhanden
Verpackungsentsorgung Lautsprecher	Techniker	0,1 pro Stück		wenn vorhanden
Verpackungsentsorgung Verstärker	Techniker	0,1 pro Stück		wenn vorhanden
Verpackungsentsorgung Matrix	Techniker	0,1 pro Stück		wenn vorhanden
Einrichtung Baustelle Projekt mit 1 bis 2 Zonen	Techniker	1 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Einrichtung Baustelle Projekt mit 3 bis 4 Zonen	Techniker	2 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Einrichtung Baustelle Projekt mit 5 bis 6 Zonen	Techniker	3 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Einrichtung Baustelle Projekt mit 7 bis 8 Zonen	Techniker	4 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Einrichtung Baustelle Projekt mit mehr als 8 Zonen	Techniker	5 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Einrichtung Rollgerüst bei Deckenhöhe ab 3,5 m	Techniker	2 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Montage Rack Projekt mit 1 bis 4 Zonen	Techniker	1 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Montage Rack Projekt mit mehr als 4 Zonen	Techniker	2 einmalig		wenn auf Projekt zutrifft
Zusatzaufwand Kabelsuche	Techniker	1 für 10 Prozent aller Lautsprecher		immer
Zusatzaufwand Baufreiheit schaffen	Techniker	1 für 10 Prozent aller Lautsprecher		immer
Zusatzaufwand Besondere Wandbeschaffenheit	Techniker	0,5 für 10 Prozent aller Lautsprecher		immer
Zusatzaufwand Koordination Projekt mit 5 bis 6 Zonen	Techniker	0,5 für 10 Prozent aller Lautsprecher		wenn auf Projekt zutrifft
Zusatzaufwand Koordination Projekt mit 7 bis 8 Zonen	Techniker	1,5 für 10 Prozent aller Lautsprecher		wenn auf Projekt zutrifft
Zusatzaufwand Koordination Projekt mit mehr als 8 Zonen	Techniker	2,5 für 10 Prozent aller Lautsprecher		wenn auf Projekt zutrifft

D. Ausgewählte Prompts zum Testen des Custom GPT

Testprompt für das Projekt „Me and All Hotel Berlin“

Projektname: Me and All Hotel Berlin
Projektadresse: 10243 Berlin
Fokus auf Qualität

Zone 1:

Zonename: Lobby
Fläche in x- und y-Maßen: 19m * 12m
Deckenhöhe: 4m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Vordergrundlautstärke
Nachhallzeit: 0,8s
Besonderheit: 15 Zoll Bässe

Zone 2:

Zonename: Stammtisch
Fläche in x- und y-Maßen: 4,5m * 7,5m
Deckenhöhe: 4m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Mittlere Lautstärke
Nachhallzeit: 0,6s
Besonderheit: Kein Bass
Besonderheit: keine Steuerung, kein Input

Zone 3:

Zonename: Bar
Fläche in x- und y-Maßen: 10m * 11m
Deckenhöhe: 4m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Vordergrundlautstärke
Nachhallzeit: 0,8s
Besonderheit: 15 Zoll Bässe

Zone 4:

Zonename: Restaurant
Fläche in x- und y-Maßen: 17m * 9m
Deckenhöhe: 4m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Vordergrundlautstärke
Nachhallzeit: 1s

Zone 5:

Zonename: Boardroom 1
Fläche in x- und y-Maßen: 4,5m * 5m
Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Mittlere Lautstärke
Nachhallzeit: 0,6s

Zone 6:

Zonename: Boardroom 2
Fläche in x- und y-Maßen: 4,5m * 5m

Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Mittlere Lautstärke
Nachhallzeit: 0,6s

Zone 7:
Zonename: WCs
Fläche in x- und y-Maßen: 4 Räume je 1,5m * 2m (jeder Raum muss beschallt werden)
Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Abgehängte Decke
Ziellautstärkebereich: Hintergrundlautstärke
Nachhallzeit: 1s

Zone 8:
Zonename: Flur
Fläche in x- und y-Maßen: 10m * 1,5m
Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Abgehängte Decke
Ziellautstärkebereich: Hintergrundlautstärke
Nachhallzeit: 1s

Testprompt für das Projekt „Der Player“

Projektname: Der Player
Projektadresse: 22765 Hamburg
Fokus auf Qualität

Zone 1:

Zonename: EG DJ Lounge und Bar
Fläche in x- und y-Maßen: 13,7m * 18m und 4m * 18m
Deckenhöhe: 4m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Clublautstärke
Besonderheit: Wegen Wandmontage nur 12 Zoll Bässe möglich

Zone 2:

Zonename: EG Podest
Fläche in x- und y-Maßen: 10m * 7m
Deckenhöhe: 4m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Clublautstärke
Besonderheit: Wegen Wandmontage nur 12 Zoll Bässe möglich

Zone 3:

Zonename: UG WC
Fläche in x- und y-Maßen: 5 Räume je 1,5m * 2m (jeder Raum muss beschallt werden)
Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Hintergrundlautstärke

Zone 4:

Zonename: Fahrstuhl
Fläche in x- und y-Maßen: 1,5m * 1,5m
Deckenhöhe: 2,5m
Deckenbeschaffenheit: Abgehängte Decke
Ziellautstärkebereich: Hintergrundlautstärke

Zone 5:

Zonename: 1.OG Snooker Raum
Fläche in x- und y-Maßen: 5,5m * 7,5m
Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Vordergrundlautstärke
Besonderheit: keine Steuerung, kein Input

Zone 6:

Zonename: 1.OG Tagesbar
Fläche in x- und y-Maßen: 19,5m * 5,5m
Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Vordergrundlautstärke

Zone 7:

Zonename: 1.OG Eventfläche
Fläche in x- und y-Maßen: 16m * 16m
Deckenhöhe: 3m

Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Vordergrundlautstärke

Zone 8:

Zonename: 1.OG WC
Fläche in x- und y-Maßen: 3 Räume je 1,5m * 2m (jeder Raum muss beschallt werden)
Deckenhöhe: 3m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Hintergrundlautstärke

Zone 9:

Zonename: 4.OG Terrasse (Outdoor)
Fläche in x- und y-Maßen: 10m * 10m
Deckenhöhe: keine
Deckenbeschaffenheit: keine
Ziellautstärkebereich: Hintergrundlautstärke
Besonderheit: Keine Bässe

Zone 10:

Zonename: 4.OG Lounge und Konferenzraum 1
Fläche in x- und y-Maßen: 15m * 14m
Deckenhöhe: 4m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Hintergrundlautstärke
Besonderheit: Keine Bässe

Testprompt für das Projekt „Das Lokal“

Projektname: Das Lokal
Projektadresse: 20259 Hamburg
Fokus auf Budget
Alles niederohmig

Zone 1:

Zonename: Vorderer Gastraum
Fläche in x- und y-Maßen: 9,9m * 7,4m
Deckenhöhe: 2,9m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Mittlere Lautstärke

Zone 2:

Zonename: Hinterer Gastraum
Fläche in x- und y-Maßen: 10,4m * 4m
Deckenhöhe: 2,9m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Mittlere Lautstärke

Zone 3:

Zonename: Stammtischraum
Fläche in x- und y-Maßen: 3,3m * 3,5m
Deckenhöhe: 2,9m
Deckenbeschaffenheit: Massive Decke
Ziellautstärkebereich: Mittlere Lautstärke
Besonderheit: Kein Bass

Zone 4:

Zonename: Außenbereich
Fläche in x- und y-Maßen: Fassade 30m lang
Deckenhöhe: keine Decke
Deckenbeschaffenheit: keine Decke
Ziellautstärkebereich: Mittlere Lautstärke

E. Ausgewählte Antworten des Custom GPT

Tabelle 10: Lautsprecherplanung des Custom GPT für das Projekt "Me and All Hotel Berlin"

Zone	Nutzung	Fläche	Deckenhöhe	Lautsprecher	Anzahl	Leistung pro Lautsprecher	Verablagungsart	Berechnung	Zusatz	Begründung
Lobby	Vordergrundlautstärke	228.00 m²	4.0 m	AUDAC VEXO108	10	200 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=912.0 m³, T=0.80 s, LR=95 dB, LK=95 dB, C=8.76 dB, AQU=185.82 m², PEL=27.87 W)	10x AUDAC MBK108V	8' Aufbaulautsprecher passend für Vordergrundlautstärke bei massiver Decke; Fokus Qualität.
Lobby	Vordergrundlautstärke	228.00 m²	4.0 m	AUDAC BASO115	3	700 W RMS	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	10x AUDAC MBK108V	15' Bässe wie gewünscht; Stückzahl nach Flächen-Faustregel (1/100 m²)
Stammtisch	Mittlere Lautstärke	33.75 m²	4.0 m	AUDAC ATEO6M	2	60 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=135.0 m³, T=0.60 s, LR=80 dB, LK=89 dB, C=5.89 dB, AQU=36.67 m², PEL=0.34 W)	2x AUDAC WM460M	6' Aufbaulautsprecher passend für mittlere Lautstärke bei massiver Decke; Bass explizit nicht gewünscht.
Bar	Vordergrundlautstärke	110.00 m²	4.0 m	AUDAC VEXO108	5	200 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=440.0 m³, T=0.80 s, LR=95 dB, LK=95 dB, C=8.76 dB, AQU=89.65 m², PEL=13.44 W)	5x AUDAC MBK108V	8' Aufbaulautsprecher passend für Vordergrundlautstärke bei massiver Decke; Fokus Qualität.
Bar	Vordergrundlautstärke	110.00 m²	4.0 m	AUDAC BASO115	2	700 W RMS	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	5x AUDAC MBK108V	15' Bässe wie gewünscht; Stückzahl nach Flächen-Faustregel (1/100 m²) aufgerundet.
Restaurant	Vordergrundlautstärke	153.00 m²	4.0 m	AUDAC VEXO108	7	200 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=612.0 m³, T=1.00 s, LR=95 dB, LK=95 dB, C=8.76 dB, AQU=99.76 m², PEL=14.96 W)	7x AUDAC MBK108V	8' Aufbaulautsprecher passend für Vordergrundlautstärke bei massiver Decke; Fokus Qualität.
Restaurant	Vordergrundlautstärke	153.00 m²	4.0 m	AUDAC BASO112	2	500 W RMS	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	7x AUDAC MBK108V	12" Bässe gemäß Vorgabe für Vordergrundlautstärke; Stückzahl nach Flächen-Faustregel (1/100 m²) aufgerundet.
Boardroom 1	Mittlere Lautstärke (Boardroom)	22.50 m²	3.0 m	AUDAC KYRA6	2	60 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=67.5 m³, T=0.60 s, LR=80 dB, LK=89 dB, C=11.10 dB, AQU=18.34 m², PEL=0.59 W)	-	Zellenlautsprecher gemäß Nutzungsszenario Boardroom/Sprachübertragung; Fokus Qualität.
Boardroom 1	Mittlere Lautstärke (Boardroom)	22.50 m²	3.0 m	AUDAC NOBA8	1	100 W RMS	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	-	8" Bass gemäß Vorgabe für Boardroom/Sprachübertragung; Stückzahl nach Flächen-Faustregel (1/100 m²) aufgerundet.
Boardroom 2	Mittlere Lautstärke (Boardroom)	22.50 m²	3.0 m	AUDAC KYRA6	2	60 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=67.5 m³, T=0.60 s, LR=80 dB, LK=89 dB, C=11.10 dB, AQU=18.34 m², PEL=0.59 W)	-	Zellenlautsprecher gemäß Nutzungsszenario Boardroom/Sprachübertragung; Fokus Qualität.
Boardroom 2	Mittlere Lautstärke (Boardroom)	22.50 m²	3.0 m	AUDAC NOBA8	1	100 W RMS	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	-	8" Bass gemäß Vorgabe für Boardroom/Sprachübertragung; Stückzahl nach Flächen-Faustregel (1/100 m²) aufgerundet.
WCs	Hintergrundlautstärke	12.00 m²	3.0 m	AUDAC CAL424II	4	30 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=36.0 m³, T=1.00 s, LR=60 dB, LK=84 dB, C=3.96 dB, AQU=5.87 m², PEL=0.00 W)	-	4" Einbaulautsprecher passend für abgehängte Decke und Hintergrundlautstärke; in WCs keine Bässe.
Flur	Hintergrundlautstärke	15.00 m²	3.0 m	AUDAC CAL424II	3	30 W RMS	niederohmig	Leistung ausreichend (V=45.0 m³, T=1.00 s, LR=60 dB, LK=84 dB, C=3.96 dB, AQU=7.33 m², PEL=0.00 W)	-	4" Einbaulautsprecher passend für abgehängte Decke und Hintergrundlautstärke; im Flur keine Basse.
Selbst-Check Aufgabe 1:										
Alle Zonen beschallt (8/8).										
Bass-Regeln eingehalten (Lobby/Bar 15", Restaurant 12", Boardrooms 8", WCs/Flur/Stammtisch ohne Bass).										
Elektroakustische Berechnung für alle Nicht-Bässe: RMS jeweils deutlich > PEL.										

Tabelle 11: Verstärkerplanung des Custom GPT für das Projekt "Me and All Hotel Berlin"

[illegible]

Tabelle 12: Matrixplanung des Custom GPT für das Projekt "Me and All Hotel Berlin"

Matrixname	Verfügbare Zonen	Projektzonen	Netzwerk	Zubehör
AUDAC LUNA-U	32	8	Dante	1x AUDAC ANM88, 2x AUDAC SL-NAC8
Selbst-Check Aufgabe 3:				
Netzwerkarchitektur Dante gemäß Fokus auf Qualität.				
Zonenanzahl ausreichend ($32 \geq 8$).				

Tabelle 13: Steuer- und Inputmodulplanung des Custom GPT für das Projekt "Me and All Hotel Berlin"

Zone	Modul	Anzahl	Typ	Signalübertragung	Zubehör
Lobby	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
Lobby	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
Bar	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
Bar	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
Restaurant	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
Restaurant	AUDAC NWP300	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
Boardroom 1	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
Boardroom 1	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
Boardroom 2	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
Boardroom 2	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
Zonen ohne Steuerung/Input (gemäß Vorgabe/Regel):					
Stammtisch: explizit „keine Steuerung, kein Input“ (User-Vorgabe hat Vorrang).					
WCs, Flur: standardmäßig ohne Steuerung/Input (typische Ausnahmen laut Leitfaden).					

Tabelle 14: Aufwandsplanung des Custom GPT für das Projekt "Me and All Hotel Berlin"

Aufwandsname	Personal	Faktor	Zeit (h)
Montage Aufbau Lautsprecher kleiner 8 Zoll	Techniker	0,5 h (pro Stück)	1
Montage Aufbau Lautsprecher gleich oder größer 8 Zoll	Techniker	1 h (pro Stück)	22
Montage Deckenlautsprecher	Techniker	0,25 h (pro Stück)	1,75
Montage Pendellautsprecher	Techniker	0,5 h (pro Stück)	0
Montage Zeilenlautsprecher	Techniker	0,5 h (pro Stück)	2
Montage Bass	Techniker	1 h (pro Stück)	9
Montage Steuermodul	Techniker	0,5 h (pro Stück)	2,5
Montage Inputmodul	Techniker	0,5 h (pro Stück)	2,5
Montage Matrix	Techniker	0,5 h (pro Stück)	2
Montage Verstärker	Techniker	0,5 h (pro Stück)	4,5
Verkabelung Verstärker	Techniker	0,5 h (pro Stück)	4,5
Programmierung Matrix	Programmierer	3 h (pro Stück)	3
Programmierung Verstärker	Programmierer	1 h (pro Stück)	9
Verpackungsentsorgung Lautsprecher	Techniker	0,1 h (pro Stück)	4,4
Verpackungsentsorgung Verstärker	Techniker	0,1 h (pro Stück)	0,9
Verpackungsentsorgung Matrix	Techniker	0,1 h (pro Stück)	0,4
Einrichtung Baustelle Projekt mit 1 bis 2 Zonen	Techniker	1 h (einmalig)	0
Einrichtung Baustelle Projekt mit 3 bis 4 Zonen	Techniker	2 h (einmalig)	0
Einrichtung Baustelle Projekt mit 5 bis 6 Zonen	Techniker	3 h (einmalig)	0
Einrichtung Baustelle Projekt mit 7 bis 8 Zonen	Techniker	4 h (einmalig)	4
Einrichtung Baustelle Projekt mit mehr als 8 Zonen	Techniker	5 h (einmalig)	0
Einrichtung Rollgerüst bei Deckenhöhe ab 3,5 m	Techniker	2 h (einmalig)	2
Montage Rack	Techniker	2 h (einmalig)	2
Zusatzaufwand Kabelsuche	Techniker	0,5 h (pro 10% LS)	2,2
Zusatzaufwand Kabelzuordnung	Techniker	0,25 h (pro 10% LS)	1,1
Zusatzaufwand Kabelmessung	Techniker	0,5 h (pro 10% LS)	2,2
Zusatzaufwand Baufreiheit schaffen	Techniker	0,5 h (pro 20% LS)	1,1
Zusatzaufwand Besondere Wandbeschaffenheit	Techniker	0,5 h (pro 10% LS)	2,2
Zusammenfassung (gemäß Vorgaben)			
Gesamtaufwand: 86,25 h			
Anzahl der Personen: 3 (8 Zonen, „kleine Fläche“)			
Anzahl der Tage: 4,0 Tage (auf 0,5 Tage aufgerundet)			
Entfernung des Projekts (Hinweg, gerundet): 300 km			
Fahrtzeit eine Strecke (Hinweg, gerundet): 4 h			
Reisepaket (1 Paket):			
Fahrer: 8 h (Transporter)			
Beifahrer: 16 h (2 Personen)			
Kilometerpauschale PKW: 0 km			
Kilometerpauschale Transporter: 600 km			

Tabelle 15: Lautsprecherplanung des Custom GPT für das Projekt "Der Player"

Zone	Nutzung	Fläche (m²)	Deckenhöhe (m)	Lautsprecher	Anzahl	Leistung pro Lautsprecher (W RMS)	Verkabelungsart	Berechnung	Zubehör	Begründung
EG DJ Lounge und Bar	Clublautstärke	318,6	4	AUDAC VEXO110	13	300	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	13x AUDAC MBK110V	10" Aufbaulautsprecher passend für Clublautstärke (massive Decke, Wandmontage möglich).
	Clublautstärke	318,6	4	AUDAC BASO12	5	500	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	13x AUDAC MBK110V	12" Bass gem. Restriktion (nur 12" Wandmontage möglich); Stückzahl nach 1,5/100 m² (Club).
EG Podest	Clublautstärke	70	4	AUDAC VEXO110	3	300	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	3x AUDAC MBK110V	10" Aufbaulautsprecher passend für Clublautstärke (massive Decke, Wandmontage möglich).
EG Podest	Clublautstärke	70	4	AUDAC BASO12	2	500	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	3x AUDAC MBK110V	12" Bass gem. Restriktion (nur 12" Wandmontage möglich); Stückzahl nach 1,5/100 m² (Club).
UG WC	Hintergrundlautstärke	15	3	AUDAC ALTI4	5	30	100V	Wert für Nachhallzeit fehlt		4" Aufbaulautsprecher für Hintergrund in WC; 100V-Verkabelung für mehrere kleine Räume.
Fahrrstuhl	Hintergrundlautstärke	2,25	2,5	AUDAC CALL424II	1	30	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt		4" Deckenlautsprecher passend für abgehängte Decke im Fahrradstuhl (Hintergrund).
1.OG Snooker Raum	Vordergrundlautstärke	41,25	3	AUDAC VEXO108	3	200	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	3x AUDAC MBK108V	8" Aufbaulautsprecher passend für Vordergrundlautstärke (massive Decke, hohe Sprach-/Musikverständlichkeit).
1.OG Snooker Raum	Vordergrundlautstärke	41,25	3	AUDAC BASO12	1	500	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	3x AUDAC MBK108V	12" Bass gem. Vorgabe für Vordergrundlautstärke; Stückzahl nach 1/100 m².
1.OG Tagesbar	Vordergrundlautstärke	107,25	3	AUDAC VEXO108	7	200	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	7x AUDAC MBK108V	8" Aufbaulautsprecher passend für Vordergrundlautstärke (massive Decke, hohe Sprach-/Musikverständlichkeit).
1.OG Tagesbar	Vordergrundlautstärke	107,25	3	AUDAC BASO12	2	500	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	7x AUDAC MBK108V	12" Bass gem. Vorgabe für Vordergrundlautstärke; Stückzahl nach 1/100 m².
1.OG Eventfläche	Vordergrundlautstärke	256	3	AUDAC VEXO108	16	200	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	16x AUDAC MBK108V	8" Aufbaulautsprecher passend für Vordergrundlautstärke (massive Decke, hohe Sprach-/Musikverständlichkeit).
1.OG Eventfläche	Vordergrundlautstärke	256	3	AUDAC BASO12	3	500	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	16x AUDAC MBK108V	12" Bass gem. Vorgabe für Vordergrundlautstärke; Stückzahl nach 1/100 m².
1.OG WC	Hintergrundlautstärke	9	3	AUDAC ALTI4	3	30	100V	Wert für Nachhallzeit fehlt		4" Aufbaulautsprecher für Hintergrund in WC; 100V-Verkabelung für mehrere kleine Räume.
4.OG Terrasse (Outdoor)	Hintergrundlautstärke	100		AUDAC WX502MK2	4	50	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	4x AUDAC AWC50	Outdoor-fähiger Aufbaulautsprecher (IP55) für Terrasse; keine Bässe gem. Vorgabe.
Hinweis / Abweichung: In den Club-Zonen wären laut Leitfaden 15" Bässe vorgesehen – hier wurden wegen deiner Restriktion (nur 12" bei Wandmontage möglich) konsequent 12" geplant.										
Basis: Leitfaden Aufgabe 1 (Treibergrößen, Typwahl, Stückzahl-/Faustregeln, Verkabelungsart) sowie Produktdaten aus Lautsprecherliste.										

Tabelle 16: Verstärkerplanung des Custom GPT für das Projekt "Der Player"

Zone	Verstärker-ID	Verstärker-Leistung	Verstärker-Kanal	Leistung pro Kanal	Impedanz pro Kanal	Verkabelungsart	Zubehör
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ500_6	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	2 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ500_7	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	1 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ500_7	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	2 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_3	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	1 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_3	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	2 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_3	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	3 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_3	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	4 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_4	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	1 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_4	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	2 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_4	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	3 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Eventfläche	AUDAC SMQ750_4	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	4 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Snooker Raum	AUDAC SMQ500_5	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	1 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Snooker Raum	AUDAC SMQ750_1	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	1 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Snooker Raum	AUDAC SMQ750_1	1 x 380 Watt @ 8 Ohm	2 1 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Tagesbar	AUDAC SMQ500_5	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	2 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Tagesbar	AUDAC SMQ500_6	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	1 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Tagesbar	AUDAC SMQ750_1	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	3 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Tagesbar	AUDAC SMQ750_1	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	4 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Tagesbar	AUDAC SMQ750_2	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	1 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG Tagesbar	AUDAC SMQ750_2	1 x 380 Watt @ 8 Ohm	2 1 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
1.OG WC	AUDAC PMQ240_1	1 x 240 Watt @ 100V	2 3 x AUDAC ALT14	24 Watt @ 100V	100V	100V	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
4.OG Terrasse (Outdoor)	AUDAC SMQ750_2	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	3 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
4.OG Terrasse (Outdoor)	AUDAC SMQ750_2	1 x 750 Watt @ 4 Ohm	4 2 x AUDAC VEXO108	200 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ1250_1	1 x 1250 Watt @ 4 Ohm	2 2 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ1250_1	1 x 1250 Watt @ 4 Ohm	2 2 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ1250_1	1 x 1250 Watt @ 4 Ohm	3 2 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ1250_1	1 x 1250 Watt @ 4 Ohm	4 2 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ1250_2	1 x 1250 Watt @ 4 Ohm	1 2 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ1250_2	1 x 1250 Watt @ 4 Ohm	2 2 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ1250_2	1 x 380 Watt @ 8 Ohm	3 1 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ500_1	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	1 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ500_1	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	2 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ500_2	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	1 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ500_2	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	2 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC SMQ500_3	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	1 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG Podest	AUDAC SMQ1250_2	1 x 1250 Watt @ 4 Ohm	4 2 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	4 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG Podest	AUDAC SMQ1250_3	1 x 630 Watt @ 8 Ohm	1 1 x AUDAC VEXO110	300 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG Podest	AUDAC SMQ500_3	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	2 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
EG Podest	AUDAC SMQ500_4	1 x 1000 Watt @ 8 Ohm (Bridge)	1 1 x AUDAC BASO12	500 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm (Bridge)	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
Fahrradstuhl	AUDAC SMQ1250_3	1 x 630 Watt @ 8 Ohm	2 1 x AUDAC CAL424II	30 Watt @ 8 Ohm	8 Ohm	niederohmig	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
UG WC	AUDAC PMQ240_1	1 x 240 Watt @ 100V	1 5 x AUDAC ALT14	24 Watt @ 100V	100V	100V	1x AUDAC ANI44XT; 1x AUDAC WORKANI; 2x AUDAC CLA830/1.5
Prämiesen nach Leitraden: möglichst wenige Geräte, Kanäle bestmöglich ausnutzen, DSP & Dante bevorzugen, Leistungsreserve niederohmig: +50%, 100V: +10%.							
Basis: Leitraden Aufgabe 2 (Kanalbelegung, Reservelaktoren, Optimierung) + Verstärkerliste (Leistungswerte, Dante/DSP, Zubehör).							

Tabelle 17: Matrixplanung des Custom GPT für das Projekt "Der Player"

Matrixname	Verfügbare Zonen	Projektzonen	Netzwerk	Zubehör
AUDAC LUNA-U	32	9	Dante	1x AUDAC ANM88, 2x AUDAC SL-NAC8
Selbst-Check Aufgabe 3:				
Netzwerkarchitektur Dante gemäß Fokus auf Qualität.				
Zonenanzahl ausreichend ($32 \geq 10$).				

Tabelle 18: Steuer- und Inputmodulplanung des Custom GPT für das Projekt "Der Player"

Zone	Modul	Anzahl	Typ	Signalübertragung	Zubehör
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
EG DJ Lounge und Bar	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
EG Podest	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
EG Podest	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
1.OG Tagesbar	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
1.OG Tagesbar	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
1.OG Eventfläche	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
1.OG Eventfläche	AUDAC NWP320	1	Input	Dante	1x AUDAC WB200
4.OG Terrasse (Outdoor)	AUDAC NCP105	1	Steuerung	Dante	1x AUDAC WB200
Planungslogik (nach Vorgaben):					
Dante-/Netzwerk-Module (LUNA-U kompatibel)					
Kein Input in: WC-Zonen, Fahrstuhl, Terrasse (Outdoor)					
Zone 1.OG Snooker Raum: ausdrücklich keine Steuerung, kein Input					

Tabelle 19: Aufwandsplanung des Custom GPT für das Projekt "Der Player"

Aufwandsname	Personal	Faktor	Zeit (h)
Montage Aufbau Lautsprecher kleiner 8 Zoll inklusive Zubehör	Techniker	pro Stück	6
Montage Aufbau Lautsprecher gleich oder größer 8 Zoll inklusive Zubehör	Techniker	pro Stück	42
Montage Deckenlautsprecher	Techniker	pro Stück	0,5
Montage Bass	Techniker	pro Stück	13
Montage Steuermodul inklusive Zubehör	Techniker	pro Stück	2,5
Montage Inputmodul inklusive Zubehör	Techniker	pro Stück	2
Montage Matrix inklusive Zubehör	Techniker	pro Stück	0,5
Montage Verstärker inklusive Zubehör	Techniker	pro Stück	7,5
Verkabelung Verstärker	Techniker	pro Stück	7,5
Programmierung Matrix	Programmierer	pro Stück	3
Programmierung Verstärker	Programmierer	pro Stück	15
Verpackungsentsorgung Lautsprecher	Techniker	pro Stück	6,8
Verpackungsentsorgung Verstärker	Techniker	pro Stück	1,5
Verpackungsentsorgung Matrix	Techniker	pro Stück	0,1
Einrichtung Baustelle Projekt mit mehr als 8 Zonen	Techniker	einmalig	5
Einrichtung Rollgerüst bei Deckenhöhe ab 3,5 m	Techniker	einmalig	2
Montage Rack	Techniker	einmalig	3
Zusatzaufwand Kabelsuche	Techniker	für 10 Prozent aller Lautsprecher	6,8
Zusatzaufwand Baufreiheit schaffen	Techniker	für 10 Prozent aller Lautsprecher	6,8
Zusatzaufwand Besondere Wandbeschaffenheit	Techniker	für 10 Prozent aller Lautsprecher	3,4
Zusatzaufwand Koordination Projekt mit mehr als 8 Zonen	Techniker	für 10 Prozent aller Lautsprecher	17
Summen (nach Vorgabe auf ganze Stunden gerundet):			
Techniker/Bauleiter: 134 h			
Programmierer: 18 h			
Personenanzahl (Zonen/Fläche)			
9 Zonen, „kleine Fläche“ ($\geq$ Hälfte der Zonen $< 100 \text{ m}^2$) $\Rightarrow$ 3 Personen			
Arbeitstage			
Gesamtaufwand: 152 h			
Gesamtarbeitstage (alle Personen): $152 / 8 = 19,0$ Tage			
Projektdauer (geteilt durch 3 Personen): $6,33$ Tage $\Rightarrow$ 6,5 Tage (auf halbe Tage gerundet)			
Reisepaket			
Referenzstrecke: Hamburg $\rightarrow$ Hamburg-Bahrenfeld (Taxi-Route) 8,1 km / 11 Min			
Rundung nach Vorgabe:			
Entfernung Hinweg: 10 km (auf 10 km gerundet)			
Fahrtzeit Hinweg: 0,5 h (auf 0,5 h gerundet)			
Anzahl Reisepakete: 2 (pro 5 Projekttag 1 Paket; 6,5 Tage $\Rightarrow$ 2)			
Fahrzeugregel bei 3 Personen: 1 $\times$ Transporter			
Reisepaket (gesamt):			
Fahrer 2,0 h + Beifahrer 4,0 h + PKW 0 km + Transporter 40 km			

Tabelle 20: Lautsprecherplanung des Custom GPT für das Projekt "Das Lokal"

Zone	Nutzung	Fläche	Deckenhöhe	Lautsprecher	Anzahl	Leistung pro Lautsprecher	Verkabelungsart	Berechnung	Zubehör	Begründung
Vorderer Gastraum	Mittlere Lautstärke	9,9×7,4=73,26 m ²	2,9 m	AUDAC ATEO6M	5	60 W RMS	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	5× AUDAC WMA60M	Budget, massiv ⇒ Aufbau; 6" passend; indoor/outdoor-tauglich
Vorderer Gastraum	Mittlere Lautstärke	73,26 m ²	2,9 m	AUDAC BASO10	1	225 W RMS	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	–	10" Bass gemäß Nutzung
Hinterer Gastraum	Mittlere Lautstärke	10,4×4=41,60 m ²	2,9 m	AUDAC ATEO6M	3	60 W RMS	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	3× AUDAC WMA60M	Budget, massiv ⇒ Aufbau; 6" passend
Hinterer Gastraum	Mittlere Lautstärke	41,60 m ²	2,9 m	AUDAC BASO10	1	225 W RMS	niederohmig	Für Bass keine Berechnung	–	10" Bass gemäß Nutzung
Stammtischraum	Mittlere Lautstärke	3,3×3,5=11,55 m ²	2,9 m	AUDAC ATEO6M	1	60 W RMS	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	1× AUDAC WMA60M	„Kein Bass“ Vorgabe, daher nur Top
Außenbereich (Fassade 30 m)	Mittlere Lautstärke	1D: 30 m	–	AUDAC ATEO6M	6	60 W RMS	niederohmig	Wert für Nachhallzeit fehlt	6× AUDAC WMA60M	Fassade: 1/5 m; Outdoor-fähig; keine Bässe bei Fassade
Auswahlgrundlage:										
	Ziellautstärke „mittlere Lautstärke“ ⇒ mind. 6" Tops + 10" Bass (außer „kein Bass“)									
	Massive Decke / Outdoor ⇒ Aufbaulautsprecher, Outdoor nur outdoor-fähig									
	Stückzahlen: 2,5–4 m Deckenhöhe ⇒ 6 Tops / 100 m ² , Bass bis Vordergrund ⇒ 1 Bass / 100 m ² , Fassade ⇒ 1 Top / 5 m, Fassade ⇒ keine Bässe									

Tabelle 21: Verstärkerplanung des Custom GPT für das Projekt "Das Lokal"

Zone	Verstärker ID	Verstärker Leistung	Verstärker Kanal	Lausprecher	Lausprecher Leistung	Leistung pro Kanal	Impedanz pro Kanal	Verkabelungsart	Zubehör
Vorderer Gastraum	AUDAC EPA254_1	4 x 250 W @ 4 Ohm	1	2 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	120 W + 60 W Reserve	4 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Vorderer Gastraum	AUDAC EPA254_1	4 x 250 W @ 4 Ohm	2	2 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	120 W + 60 W Reserve	4 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Vorderer Gastraum	AUDAC EPA254_1	4 x 250 W @ 4 Ohm	3	1 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	60 W + 30 W Reserve	8 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Hinterrer Gastraum	AUDAC EPA254_1	4 x 250 W @ 4 Ohm	4	2 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	120 W + 60 W Reserve	4 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Hinterrer Gastraum	AUDAC EPA254_2	4 x 250 W @ 4 Ohm	1	1 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	60 W + 30 W Reserve	8 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Stammtischraum	AUDAC EPA254_2	4 x 250 W @ 4 Ohm	2	1 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	60 W + 30 W Reserve	8 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Außenbereich	AUDAC EPA254_2	4 x 250 W @ 4 Ohm	3	2 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	120 W + 60 W Reserve	4 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Außenbereich	AUDAC EPA254_2	4 x 250 W @ 4 Ohm	4	2 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	120 W + 60 W Reserve	4 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Außenbereich	AUDAC EPA252_1	2 x 250 W @ 4 Ohm	1	2 x AUDAC ATEO6M	60 W @ 8 Ohm	120 W + 60 W Reserve	4 Ohm	niederohmig	1 x AUDAC CLA834/1.5
Vorderer Gastraum (Sub)	AUDAC EPA254_3 (Bridge)	2 x 500 W @ 8 Ohm (Bridge)	Bridge 1+2	1 x AUDAC BASO10	225 W @ 8 Ohm	225 W + 112,5 W Reserve	8 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Hinterrer Gastraum (Sub)	AUDAC EPA254_3 (Bridge)	2 x 500 W @ 8 Ohm (Bridge)	Bridge 3+4	1 x AUDAC BASO10	225 W @ 8 Ohm	225 W + 112,5 W Reserve	8 Ohm	niederohmig	2 x AUDAC CLA834/1.5
Check Aufgabe 2 (Kurzprüfung):									
Alle 15 Tops + 2 Subs vollständig zugeordnet									
Minimum-Last (4 Ohm bei Parallel-2er-Gruppen) eingehalten, keine Kanalüberlast									
Bridge für Subs mit ausreichender Leistung									

Tabelle 22: Matrixplanung des Custom GPT für das Projekt "Das Lokal"

Matrixname	Verfügbare Zonen	Projektzonen	Netzwerk	Zubehör
AUDAC MTX48	4	4	Analog	–
Selbst-Check Aufgabe 3:				
Netzwerkarchitektur analog gemäß Fokus auf Budget.				
Zonenanzahl ausreichend ($4 \geq 4$).				

Tabelle 23: Steuer- und Inputmodulplanung des Custom GPT für das Projekt "Das Lokal"

Zone	Modul	Anzahl	Typ	Signalübertragung	Zubehör
Vorderer Gastraum	AUDAC MWX45	1	Steuerung	Analog	1× AUDAC CP45BOX1
Vorderer Gastraum	AUDAC WP210	1	Input	Analog	1× AUDAC WB200
Hinterer Gastraum	AUDAC MWX45	1	Steuerung	Analog	1× AUDAC CP45BOX1
Hinterer Gastraum	AUDAC WP210	1	Input	Analog	1× AUDAC WB200
Stammtischraum	AUDAC MWX45	1	Steuerung	Analog	1× AUDAC CP45BOX1
Stammtischraum	AUDAC WP210	1	Input	Analog	1× AUDAC WB200
Außenbereich	–	0	–	–	–
Regel-Default: Pro Zone Steuerung + Input, außer Outdoor/Terrasse (keine Steuerung/kein Input)					
Kompatibilität: MTX48 unterstützt MWX45/MWX65 sowie WP210/WP220/WP225					
Budgetauswahl:					
Steuerung: AUDAC MWX45 (Volume + Inputwahl)					
Input: AUDAC WP210 (XLR + 3,5mm Line In; erfüllt „mind. Line oder XLR“)					

Tabelle 24: Aufwandsplanung des Custom GPT für das Projekt "Das Lokal"

Aufwandsname	Personal	Faktor	Zeit (h)
Montage Aufbau Lautsprecher kleiner 8 Zoll inklusive Zubehör	Techniker	0,5 h pro Stück × 15	7,5
Montage Bass	Techniker	1 h pro Stück × 2	2
Montage Steuermodul inklusive Zubehör	Techniker	0,5 h pro Stück × 3	1,5
Montage Inputmodul inklusive Zubehör	Techniker	0,5 h pro Stück × 3	1,5
Montage Matrix inklusive Zubehör	Techniker	0,5 h pro Stück × 1	0,5
Montage Verstärker inklusive Zubehör	Techniker	0,5 h pro Stück × 4	2
Verkabelung Verstärker	Techniker	0,25 h pro Stück × 4	1
Programmierung Matrix Projekt mit 1 bis 4 Zonen	Programmierer	1,5 h pro Stück × 1	1,5
Programmierung Verstärker ohne DSP	Programmierer	0,25 h pro Stück × 4	1
Verpackungsentsorgung Lautsprecher	Techniker	0,1 h pro Stück × 15	1,5
Verpackungsentsorgung Verstärker	Techniker	0,1 h pro Stück × 4	0,4
Verpackungsentsorgung Matrix	Techniker	0,1 h pro Stück × 1	0,1
Einrichtung Baustelle Projekt mit 3 bis 4 Zonen	Techniker	2 h einmalig × 1	2
Montage Rack Projekt mit 1 bis 4 Zonen	Techniker	1 h einmalig × 1	1
Zusatzaufwand Kabelsuche	Techniker	1 h je 10% Lautsprecher × 1,5	1,5
Zusatzaufwand Baufreiheit schaffen	Techniker	1 h je 10% Lautsprecher × 1,5	1,5
Zusatzaufwand Besondere Wandbeschaffenheit	Techniker	0,5 h je 10% Lautsprecher × 1,5	0,75
Kurz-Output gemäß Vorgabe:			
Gesamtaufwand: 28 h			
Anzahl der Personen: 2			
Anzahl der Tage: 2,0			
Entfernung des Projekts: 10 km			
Fahrtzeit eine Strecke: 0,5 h			
Reisepaket: Fahrer 1,0 h + Beifahrer 1,0 h + PKW 20 km + Transporter 0 km			

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorstehende Masterthesis mit dem Titel

*Entwicklung einer KI-basierten
Fachplanung in der Beschallungstechnik.*

– bzw. im Falle einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – selbstständig ohne fremde Hilfe gefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.



Ort, Datum, Unterschrift