
BACHELORARBEIT

Herr/Frau
Peter Leukhardt

**Auslegung einer über Netzwerk
ausgelagerten Speicherlösung unter
Berücksichtigung benötigter
Performance, Redundanz und
Sicherheit im Rahmen eines Tonstudio
Neubaus**

2017

BACHELORARBEIT

**Auslegung einer über Netzwerk
ausgelagerten Speicherlösung unter
Berücksichtigung benötigter
Performance, Redundanz und
Sicherheit im Rahmen eines Tonstudio
Neubaus**

Autor/in:

Herr Peter Leukhardt

Studiengang:

Media and Acoustical Engineering

Seminargruppe:

MG13w2

Erstprüfer:

Prof. Dr. -Ing. Michael Hösel

Zweitprüfer:

Dipl. -Ing. Peter Lubosch

BACHELOR THESIS

**Dimensioning of a networkbased
shared storage solution considering
performance, redundancy and safety in
the context of a recording studio con-
struction**

author:

Mr. Peter Leukhardt

course of studies:

Media and Acoustical Engineering

seminar group:

MG13w2

first examiner:

Prof. Dr. -Ing. Michael Hösel

second examiner:

Dipl. -Ing. Peter Lubosch

Bibliografische Angaben

Leukhardt, Peter:

Auslegung einer über Netzwerk ausgelagerten Speicherlösung unter Berücksichtigung benötigter Performance, Redundanz und Sicherheit im Rahmen eines Tonstudio Neubaus.

Dimensioning of a networkbased shared storage solution, considering performance, redundancy and safety in the context of a recording studio construction.

45 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2017

Abstract

Das Ziel der Bachelorarbeit war es, die Schritte einer Tonstudioplanung an einem praktischen und für den Autor aktuellen Beispiel darzustellen. Es wurde ein Überblick über die notwendigen Bereiche der Planung gegeben und erläutert wie einzelne Komponenten dimensioniert wurden. Die Besonderheit bestand darin, ein schon bestehendes Studio in das neu Geplante zu migrieren. Es wurden technische und akustische Anforderungen berücksichtigt und eine angemessene Netzwerkspeicherlösung erarbeitet.

The target of this work was to show the necessary arrangements for building a music studio, referring to a present example. It explains different fields of the planning and how parts got dimensioned. The distinctive feature was to migrate an existing music studio into the new one planned in this thesis. Technical and acoustical requirements got considered and an appropriate network storage solution was planned.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
2 Technische und akustische Anforderungen an ein Tonstudio	4
2.1 Anwendungsszenarien.....	6
2.1.1 Sprach und Gesangsaufnahmen.....	6
2.1.2 Bandrecording	7
2.1.3 Orchester und Chöre	8
2.1.4 Binaurale Kunstkopf Aufnahmen	10
2.2 Nachhallzeiten in Abhängigkeit von Anwendungsszenarien.....	12
2.3 Technische Ausstattung.....	14
2.3.1 Mikrofone.....	15
2.3.2 Interfaces und Wandler	19
2.3.3 Abhörlautsprecher	21
2.3.4 Der Studiorechner	23
3 Raumaufteilung und akustische Optimierung	26
3.1 Ausgangslage und Gebäudebeschaffenheit.....	27
3.2 Schallemission und Schallimmission	29
3.3 Regieräume	32
3.4 Aufnahmeraum	33
4 Netzwerkspeicher.....	35
4.1 Vorteile von Netzwerkspeicherlösungen.....	35
4.2 Das kann Network Attached Storage – NAS	37
4.3 Festplatten im RAID Verbund und benötigte Kapazität	40
4.4 Direktleitung, räumliche Trennung und Redundanz.....	42
5 Schlussbetrachtung.....	44
Literaturverzeichnis	XI
Anhang 1	XIII
Anhang 2	XIV
Anhang 3	XV

EigenständigkeitserklärungXVI

Abkürzungsverzeichnis

A/D	Analog/Digital
CPU	Central Processing Unit
DAW	Digital Audio Workstation
HDD	Hard Drive Disk
IP	Internet Protocol
ITG Gap	Initial Time Delay Gap
NAS	Network Attached Storage
RAID	Redundant Array of Independent Disks
RAM	Random Access Memory
RT	Reverberation Time
SAN	Storage Area Network
SSD	Solid State Drive
USB	Universal Serial Bus
VST	Virtual Studio Technology

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufnahmen von Streichern für das Studioalbum Sempiternal der britischen Band "Bring Me The Horizon"	9
Abbildung 2: Kunstkopf der Firma Neumann	10
Abbildung 3: Profiling Amplifier der Firma Kemper	14
Abbildung 4: Aktueller Bestand an Studiomikrofontypen	17
Abbildung 5: Liquid Saffire 56 Audio Interface	19
Abbildung 6: Prinzipschaltbild in ADAT Betriebsmodus	20
Abbildung 7: Qualitätsanforderungen an Studiolautsprecher	21
Abbildung 8: Adam A7X Nearfield Monitor	22
Abbildung 9: zulässige Störgeräuschpegel	24
Abbildung 10: leerer Grundriss des neuen Studios	27
Abbildung 11: geplanter ausgebauter Zustand des Studios	29
Abbildung 12: Vergleich von Uploadraten verschiedener DSL Stufen	37
Abbildung 13: Innenleben eines NAS	38
Abbildung 14: Vergleich von RAID Leveln	41

1 Einleitung

In der heutigen Zeit hat sich die Entwicklung von analoger zu digitaler Technik in fast jedem Bereich durchgesetzt. Durch die rasante Entwicklung digitaler Audiotechnik in Form von Wandlern, PCs und Software die für Jedermann bezahlbar sind, können Bands heutzutage ihr Album selbst daheim auf dem Laptop produzieren. Es war bis in die frühen 2000er noch ein Tonstudio mit einer extrem umfangreichen und teuren Technik nötig, um solch eine Produktion zu realisieren. Da auch das Internet immer neue Möglichkeiten bereithält sich und seine Musik zu präsentieren, sprießen immer mehr Bands mit relativ gut klingenden Alben oder Demos, die in völliger Eigenregie entstanden sind, aus dem Boden.

Dieser Trend kostete viele Tonstudios die Existenz. Ein klassisches Studio hat schon durch die hohe Anzahl analoger Geräte sehr hohe laufende Stromkosten. Auch Wartung und Verschleiss sind Dinge, die nicht zu vernachlässigen sind. Ist ein Studio nicht ausgebucht, so wird es schnell unrentabel. Um ein Tonstudio im klassischen Sinne zu bauen, braucht allein die technische Ausstattung einen sehr hohen Investitionsaufwand. Die Folge davon sind Kredite, die über Jahrzehnte abgezahlt werden müssen und das Risiko des finanziellen Scheiterns in schlechtfrequentierten Phasen immens erhöhen.

Der Autor dieser Arbeit arbeitet seit mehreren Jahren mit einem Geschäftspartner auf freiberuflicher Basis in einem Tonstudio mit einem moderneren Konzept. Die Arbeitsweise vieler moderner Produzenten und Engineers nennt sich "in-the-box" und beschreibt eine der Entwicklung angepasste, digitale und computergestützte Arbeitsweise. Hier wird nicht mehr an echten Reglern gedreht, sondern an grafischen Computeroberflächen mit Emulationen digitaler Geräte gearbeitet. Sicher können erfahrende Puristen bei vielen dieser Softwarelösungen einen Unterschied zum "Original" erkennen. Ist man aber wie die meisten Audiotechnik Interessierten aus der Generation des Autors nie mit den Originalgeräten in Verbindung gekommen, so spielt das für die Arbeit gar keine Rolle. Selbst die analogen Originale, vor allem alte Geräte, haben eine recht hohe Streuung was Klang angeht und die Komponenten altern immer weiter und auch dabei ändert sich ihr Klangverhalten.

Doch auch im digitalen Zeitalter gibt es eine Anforderung an Tonstudios, die immer mit einem sehr hohen finanziellen Aufwand verbunden ist. Möchte man ein Studio mit guter Lage und Verkehrsanbindung errichten, so gibt es bauakustisch viele Dinge zu beachten. Man möchte nicht gestört werden und darf Niemanden stören. Dieser Punkt kann auch durch das Digitalzeitalter leider kaum vermieden werden. Möchte man in der

Lage sein, echte Instrumente aufzunehmen, was beispielsweise Schlagzeuge einschließt, welche eine sehr hohe Geräuschbelastung darstellen, so muss eine sehr intensive Akustikbehandlung her. Bei vorhandener technischer Ausstattung, kann ein Video- oder Fotostudio mit sehr geringem finanziellen Aufwand aufgebaut werden. Das geht bei einem Tonstudio nicht. Wie genau so eine akustische Auslegung passieren kann, soll im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden.

Eine Besonderheit dieser Planung stellt der aktuelle, laufende Betrieb dar. Das Studio mit dem Namen Sawdust Recordings, produziert bereits seit vielen Jahren in Räumlichkeiten die nun geräumt werden müssen und für Wohnraum umgenutzt werden sollen. Es ist somit eine komplette Grundausstattung für die digitale Arbeitsweise vorhanden. Im Rahmen des Umzuges, sollen hier aber Ausstattung und damit Möglichkeiten erweitert werden, um ein professionelleres Gesamtpaket anbieten zu können. Bei der Auswahl von Komponenten, wird immer Bezug auf aktuell vorhandene Geräte genommen werden, da es oft möglich ist Geräte zu kaskadieren oder anderweitig weiter einzubinden. Der Kosten-Nutzen Faktor spielt bei der Auslegung eine sehr große Rolle, da schon der Akustikbau und Rohbau den größten Teil des Budgets verbrauchen wird. Während der technischen Planung soll deutlich werden, welche Geräte wirklich notwendig sind und mit welchen Spezifikationen diese aufwarten sollten.

Neben der technischen und akustischen Auslegung soll es im letzten Abschnitt der Arbeit außerdem um eine Netzwerklösung für den Gebrauch in diesem 2-Mann-Betrieb gehen. Netzwerke und netzwerkbasierendes Arbeiten können den Ablauf eines Betriebes immens erleichtern und Aufgaben völlig selbstständig übernehmen. Wie so ein Netzwerkspeicher am besten für den speziellen Anwendungsfall dimensioniert sein sollte, soll darin erörtert werden.

Um alle genannten Fragestellungen zu bearbeiten, wird zu Beginn auf die Ausgangslage der neuen Studioumgebung eingegangen. Anhand von beispielhaften Anwendungsszenarien, werden Anforderungen an ein modernes Tonstudio definiert und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt. Auch veränderbare Studiosetups sollen schon in der Planung bedacht werden, um möglichst vielseitig aufgestellt zu sein.

Ein wichtiger Aspekt der beim Schreiben dieser Arbeit immer im Hinterkopf des Autors ist, ist das parallele Arbeiten. Um die Wirtschaftlichkeit des Tonstudios im Vergleich zur derzeitigen Situation zu erhöhen, sollten zwei Arbeitsplätze vorhanden sein an denen zeitgleich für einen oder mehrere Klienten gearbeitet werden kann. Plant man hier gut, wird eine Verbesserung des workflows ein stabileres Geschäftsmodell zur Folge haben. Räumliche und technische Möglichkeiten zu bieten, die Künstler und Musiker zu Hause am Schreibtisch nicht haben, soll den Mehrwert des Studiobesuchs ausmachen.

Die Hauptpunkte dieser Arbeit, Akustik, Audiotechnik und Netzwerk, können nie isoliert betrachtet werden. Für ein optimales Ergebnis, wird bei der Planung immer themenübergreifend Bezug auf die jeweils anderen Bereiche genommen werden.

2 Technische und akustische Anforderungen an ein Tonstudio

Ein Tonstudio im 21. Jahrhundert hat verschiedene Ansprüche, denen es genügen muss. Verglichen mit den technischen Möglichkeiten von vor zehn oder mehr Jahren, ergeben sich bei der Planung und Neukonstruktion eines Studios deutlich effizientere Möglichkeiten, zum Beispiel in den Bereichen analoges Outboard, Mixing Konsolen und Aufzeichnungsmedien.

Durch die immer schnellere Entwicklung von Computerleistung und damit einhergehenden Emulationsmöglichkeiten, können Komponenten die vor wenigen Jahren noch unerlässlich waren minimiert, oder sogar komplett eingespart werden. Das spart nicht nur Aufwand bei der Verkabelung, Fehlersuche und Installation, sondern lässt zudem einen schnelleren Workflow zu und ist ein erheblicher finanzieller Faktor.

Plant man ein Studio, so muss man sich als aller erstes Fragen, welche Art von Produktionen durchgeführt werden sollen und in welchem Umfang. Die Möglichkeiten eines Studios variieren stark in Abhängigkeit von Größe und Anzahl der Räume, sowie der technischen Ausstattung. Im konkreten Fall dieser Bachelorarbeit, handelt es sich um ein Tonstudio mit Hauptaugenmerk auf Bandproduktionen im Bereich Rock bis Metal. Es sollen vollständige Produktionen einschließlich Recording, Mixing und Mastering möglich sein. Das Repertoire der Aufnahmen, reicht somit von Gesang und Saiteninstrumenten bis hin zu Chören und Schlagzeugen. Des Weiteren soll der Aufnahme-raum so groß sein, dass eine komplette klassisch aufgestellte Rockband problemlos gleichzeitig einspielen kann.

Um möglichst effizient arbeiten zu können, ist geplant eine zweite Regie einzurichten, sodass beispielsweise neben dem Recording in Regie 1, Editierungsarbeiten in Regie 2 zeitgleich stattfinden können. Weiterhin ist denkbar parallel aufzunehmen, da der Aufnahme-raum für Gitarrenaufnahmen beispielsweise nicht benötigt wird, oder der finale Gitarrensound zu einem späteren Zeitpunkt mit der ReAmping Methode realisiert wird. Mehr zur Raumaufteilung in Kapitel 3.

Der präferierte Arbeitsstil nennt sich „in-the-box“, was so viel bedeutet wie computerinternes Arbeiten ab der A/D Wandlung im Interface. Auf ein analoges Outboard, wird aus pragmatischen und finanziellen Gründen verzichtet. Alle Effekte, Kompressoren, EQs und andere Instanzen wie Bandmaschinen, Mischpult-Channelstrips oder charakteristische Preamps, werden durch digitale Emulation in Form von Plug-Ins auf VST Basis realisiert.

Als DAW wird Steinbergs Cubase zum Einsatz kommen. Jede Regie wird mit einem eigenen Rechner ausgestattet, welcher über CAT mit einer redundanten Netzwerkspeicherlösung, auf die in Kapitel 4 näher eingegangen wird, verbunden ist.

Neben technischen Anforderungen, muss ein Tonstudio auch akustische Rahmenbedingungen erfüllen. Bestimmte Aufnahmesituationen erfordern entsprechende Klangeigenschaften des Aufnahmeraumes. Hierzu seien die Stichworte Nachhallzeit und Raummoden genannt. Eine detaillierte Optimierung der Raumakustik erfolgt in Kapitel 3 dieser Arbeit. Auch die Regien müssen Raumakustisch für eine gute Abhörsituation eingestellt werden. Nicht nur die Nachhallzeit spielt hier eine wichtige Rolle, sondern auch Raummoden, Aufstellung der Lautsprecher und die Auswahl der passenden Abhöre.

2.1 Anwendungsszenarien

Um verschiedene denkbare Aufnahmesituationen zu ermöglichen, wird im Folgenden detailliert auf die verschiedenen dafür nötigen Grundvoraussetzungen eingegangen. Die Nutzungsmöglichkeiten sollten in jedem Fall ausbaufähig sein und schon zu Beginn ein großes Spektrum abdecken. Da das Studio auch vermietet werden könnte, sollte es alle allgemein üblichen Aufgaben eines Tonstudios problemlos realisieren können.

2.1.1 Sprach und Gesangsaufnahmen

Für Sprecher und Vocals reicht es in der Regel aus, ein hochwertiges Großmembran Kondensator Mikrofon in Kombination mit einem virtuellen Kanalzug und Vorverstärker in Form eines Audiointerfaces mit Mikrofonpreamp zu benutzen. In diesem Fall soll das U87 von Neumann benutzt werden und für sehr maskuline Stimmen oder gutturale Gesänge das SM7 von Shure welches ursprünglich als Sprechermikrofon konzipiert wurde, aber auch bei Sängern große Beliebtheit erlangt hat.

„Die mächtigen Großmembran-Mikrofone sind teurer als Kleinmembran Mikrofone und in ihrem Einsatzgebiet vergleichsweise eingeschränkt. Neben dem beeindruckenden Äußeren zeichnen sich viele Großmembran-Mikrofone durch umschaltbare Richtcharakteristiken, schaltbare Vordämpfung und abgestuft schaltbare Nahkompensation aus.“¹

Gerade für Sprecher ist es sehr wichtig eine möglichst trockene Raumakustik zu haben. Für Gesang kann eine extrem schalltote Sprecherkabine hingegen sehr muffig und „boxy“ klingen. Die beste Lösung um allen Ansprüchen gerecht zu werden, ist eine variable Akustik. So wäre es beispielsweise denkbar, stellbare Breitbandabsorberwände zu nutzen, um die klangliche Räumlichkeit selbst festlegen zu können.

Selbst einfache Homerecording Setups ermöglichen es heutzutage, qualitativ hochwertige Gesangsproduktionen zu erzielen. Dennoch ist es im Rahmen eines Tonstudiobetriebs wichtig, ausreichend Variation an Aufnahmesystemen zu bieten, um jeder Stimme und jedem Genre gerecht werden zu können. Nicht jedes gut klingende männliche Rock Vocal-Setup, klingt auch für eine soulige Frauenstimme gut.

¹ Görne, Thomas (2011), S. 284 f.

2.1.2 Bandrecording

Spricht man von Bandrecording, so muss man zwischen Liverecording und der in Rock und Pop üblichen Layering Methode unterscheiden. Beim Live Recording spielt die gesamte Band zeitgleich ein. Bei der Layering Methode, werden die Instrumente einzeln in einzelnen Takes aufgenommen. Das hat vor allem Vorteile für die Editierbarkeit im Bezug auf Timing und Pitch. Weiterhin gibt es weniger Probleme mit dem Übersprechen, wenn zum Beispiel der Gitarrenverstärker durch die Schlagzeug Mikrofone mit aufgenommen wird.

Welche Methode gewählt wird ist zum Teil genreabhängig und zum Teil davon, welches Endprodukt erzielt werden soll. Möchte man eine Liveperformance einer Band im Studio mitschneiden, welche auch gefilmt wird und bei einer Video Online Plattform wie Youtube veröffentlicht werden soll, so wäre es sicher authentischer nicht zu layern sondern die Livevariante durchzuführen. Auch Jazzmusik oder improvisierte Stücke lassen sich allgemein besser in dem Gesamtkontext einer Band aufnehmen. Braucht es für die Layeringmethode im Schnitt maximal 16 Kanäle, nämlich für die Mikrofonierung eines Schlagzeuges, so erfordert Liverecording eine deutliche höhere Anzahl an verfügbaren Wandlern und Eingängen. Geht man von einer klassisch besetzten Rockband mit Schlagzeug, zwei Gitarren, Bass und drei Gesängen aus, so ist man schnell im Bereich von 24-32 Kanälen.

Bei der Aufnahme einer kompletten Band, macht es erneut Sinn stellbare Akustikerelemente zur Verfügung zu haben um Übersprechen der einzelnen Instrumente zu reduzieren. Weiterhin sollten ausreichend Monitorrückwege eingeplant werden, um eine ausreichende Anzahl an Kopfhörer Mixen in den Aufnahmerraum schicken zu können. Es empfiehlt sich also, ein Wandanschlusskasten mit 24-32 Wegen zum Interface und 6-8 Wegen vom Interface zu Monitorzwecken in den Aufnahmerraum zu installieren.

Eine große Glasscheibe zwischen Aufnahme- und Regieraum hilft, um eine optische Kommunikation von Musikern die im Aufnahmerraum performen, mit Musikern oder Produzenten im Regieraum zu ermöglichen. Bei der Liveaufnahme einer ganzen Band, müssten somit nicht alle Musiker im selben Raum einspielen und es könnte eine starke Minimierung von Übersprechen erzielt werden. Gerade für Gesangsaufnahmen im kompletten Bandkontext kann das sehr hilfreich sein.

2.1.3 Orchester und Chöre

Als Orchester wird ein „größeres Ensemble aus Instrumentalisten, in dem bestimmte Instrumente mehrfach besetzt sind und dass unter der Leitung eines Dirigenten spielt“² bezeichnet. Da extrem umfangreiche Orchester in der Regel in Opernsälen oder ähnlichen Aufführungsstätten aufgenommen werden, werden diese in der Betrachtung ausgeklammert.

Kleinere Orchestertypen wie Blasorchester oder Streichorchester, sind in einem Studio mittlerer Dimensionen durchaus realisierbar. Vor allem moderne Pop- und Rockproduktionen greifen oft auf organische tatsächlich eingespielte klassische Elemente zurück.

Das Orchester kann als ein großer ausgedehnter Klangkörper betrachtet werden. Um das Orchester als Ganzes gut abbilden zu können, reicht es meistens nicht, ein Hauptmikrofon oder Hauptmikrofonpaar aufzustellen. Ist das Orchester relativ groß, so müsste das Hauptmikrofon außerdem zu weit entfernt positioniert werden, was den Diffusschallanteil gegenüber dem Direktschallanteil erhöht. Gerade bei für Orchesteraufnahmen eher kleinen Aufnahmeräumen, bietet sich die Stützmikrofonmethode an. Hier werden einzelne Gruppen oder Instrumente mikrofoniert. Umso dynamischer die Unterschiede einzelner Instrumentengruppen sind, umso mehr Stützmikrofone sollten eingesetzt werden um später im Mix ein homogeneres Klangbild erzielen zu können.³

² Duden (Hrsg.): <http://www.duden.de/rechtschreibung/Orchester> (Zugriff am 01.02.2017)

³ Vgl. Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudientechnik 7. Auflage München, S. 231



Abbildung 1: Aufnahmen von Streichern für das Studioalbum *Sempiternal* der britischen Band "Bring Me The Horizon"⁴

Für Orchesteraufnahmen im größeren Stil ist es sinnvoll, in einer Umgebung die eigens dafür konzipiert wurde aufzunehmen. Sehr wenige Studios besitzen ausreichende Kapazitäten um große Orchester aufnehmen zu können. Vor allem Studios in Privatbesitz haben selten die räumlichen Möglichkeiten. Aufführungsorte für große Orchesteraufnahmen sind meistens mit einer höheren Nachhallzeit und einem sehr großen Rauminhalt prädestiniert für Aufnahmen dieser Art, da dann der Höreindruck auch dem bekannten und erwarteten Klangbild entspricht. Für Orchesteraufnahmen, kann mit mobiler Technik gearbeitet werden. Interfaces mit integrierten Wandlern und 24-32 Vorverstärkern sind je nach Orchestergröße empfehlenswert, um ausreichend Puffer für eventuell benötigte Stützmikrofone zu haben. Oft bieten Konzertsäle und Opernhäuser direkt angeschlossene Regieräume, welche den Aufführungssaal zum Aufnahmeraum machen.

⁴ Bring Me The Horizon – Oli Sykes on *Sempiternal* vocal recordings (2013)
<https://www.youtube.com/watch?v=oPprGJeKjBc>, Zugriff am 28.01.2017

2.1.4 Binaurale Kunstkopf Aufnahmen

Weniger für eine Zweikanal Stereophonie, aber sehr gut für eine authentische Kopfhörerwiedergabe geeignet, ist das Kunstkopfverfahren. Der Kunstkopf ist dem menschlichen Kopf nachgebildet und eine sehr spezielle Art der Stereophonie. Das Hörerlebnis einer Kunstkopfaufnahme entspricht dem, als würde man selbst an genau dieser Stelle des Raumes sitzen. Die Stereomikrofone im Kunstkopf befinden sich im selben Abstand wie die Trommelfelle des durchschnittlichen menschlichen Gehörs und auch der äußere Gehörgang und die menschliche Ohrmuschel sind künstlich nachgebildet. Mit dem Kunstkopf lässt sich das Konzerterlebnis transportieren, als wäre man selbst vor Ort, da alle Rauminformationen ungeschönt transportiert werden. Auch für Surroundmischungen kann der Kunstkopf hilfreich sein, da er sehr gut für den Höreindruck rückwärtiger Kanäle eingesetzt werden kann.⁵



Abbildung 2: Kunstkopf der Firma Neumann⁶

Kunstköpfe namhafter Hersteller wie Sennheiser oder Neumann stehen bei Verleihern für moderate zweistellige bis dreistellige Beträge als Mietgeräte zur Verfügung. Der Neumann Kunstkopf KU 100 kostet ca. 7500 Euro am aktuellen Markt⁷ und wäre somit eine sehr große Investition, die nur durch eine entsprechende Auftragslage sinnvoll

⁵ Neumann (Hrsg.): Kunstkopf Mikrofön KU 100. https://www.neumann.com/?lang=de&id=current_microphones&cid=ku100_description, Zugriff am 29.01.2017

⁶ Audio Technology (Hrsg.): Binaural Recording. <http://www.audiotechnology.com.au/wp/wp-content/uploads/2015/03/binaural-recording-575x382.jpg>, Zugriff am 08.01.2017

⁷ Vgl. Thomann (Hrsg.): Neumann KU 100.

https://www.thomann.de/de/neumann_ku100.htm?ref=prod_rel_333356_0, Zugriff am 01.02.1017

wäre. Generell ist dies aber ein eher sehr spezielles Verfahren, was nicht wirklich zum normalen Studiobetrieb zuzuordnen ist.

2.2 Nachhallzeiten in Abhängigkeit von Anwendungsszenarien

Unter Nachhall versteht man die Abnahme des Schalls nach dem Verstummen der Schallquelle. Optimaler Weise erfolgt diese Abnahme orts- und richtungsunabhängig. Die Schallenergiedichte des entstehenden Diffusschallfeldes, ist abhängig von Absorptionsvermögen und der zugeführten Schallleistung.⁸

Je nach Anwendungsfall verlangt es nach dementsprechenden Nachhallzeiten. Ein optimaler Aufnahmeraum mit 100m³ Raumvolumen hat eine Nachhallzeit von rund 0,3 Sekunden.⁹ Das entspricht ungefähr der Raumdimension des geplanten Studios.

Spricht man von der Nachhallzeit ist damit die Nachhallzeit RT_{60} gemeint. Das beschreibt die Zeit, in der ein Pegelverlust von 60 dB nach Abschalten der Schallquelle eintritt.¹⁰ Die Nachhallzeit lässt sich mit der Formel nach Wallace Clement Sabine berechnen:

$$RT_{60} = 0,163 * \frac{V}{S * \alpha}$$

RT...Nachhallzeit in Sekunden

V...Raumvolumen in m³

S...Oberfläche des Raumes in m²

α ...mittlerer Absorptionskoeffizient aller Flächen des Raumes

⁸ Vgl. Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 25

⁹ Görne, Thomas (2011), S. 103

¹⁰ Vgl. Frießecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie 2. Auflage, S. 59

Handelt es sich um einen sehr kleinen Raum oder eine sehr kurze Nachhallzeit so ist die angepasste Formel nach Eyring zu nutzen.¹¹

Eyringsche Nachhallformel:

$$A = -S * \ln(1 - \alpha')$$

A...Absorptionsvermögen (m²)

S...Gesamtoberfläche des Raumes (m²)

α' ...mittlerer Absorptionsgrad (dimensionslos)

Im Falle von Sprachaufnahmen ist diese Nachhallzeit zu lang. Sprecherkabinen sind schalltote Räume die fast ausschließlich aus absorptiven Oberflächen bestehen. Für diesen Anwendungsfall sollte mit einem „reflexionsarmen Zelt“ gearbeitet werden, welches aus stellbaren Akustikelementen in Form von Breitbandabsorbern umgesetzt werden kann. Auch das Abhängen eines Bereiches des Aufnahme Raumes mit Molton wäre eine denkbare Alternative.

Für den Bereich klassischer Aufnahmen ist eine Nachhallzeit von 0,3 Sekunden wiederum zu kurz. Vermeidet man stark ausgeprägte Early Reflections in der raumakustischen Planung, kann aber ein künstlicher Raum durch ein Hallgerät hinzugefügt werden um den benötigten Raumeindruck zu erzeugen.

¹¹ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie 2. Auflage, S. 60

2.3 Technische Ausstattung

Die technische Ausstattung von Tonstudios hängt von vielen Faktoren ab. Zum einen erkennt man oft schon anhand der Mixing Konsolen, in welcher Zeit ein Tonstudio gegründet wurde. Studios die ihre Ursprünge vor der Jahrtausendwende haben, besitzen oft ein Inline Pult als Herzstück und ein beträchtliches Arsenal an analogem Outboard bestehend aus Limitern und Kompressoren, Halleffektgeräten, Noise Gates, EQs und vielem mehr. All diese Geräte werden in diesem Fall digital emuliert. Selbst Bandmaschinen und Klangverfärbungen analoger Konsolen können nachgebildet werden.

Auch Geräte zur Klangsynthese wie Synthesizer oder spezielle Pedaleffekte werden durch VST Plug-Ins oder Profiling Amps wie den Kemper Profiler ersetzt.



Abbildung 3: Profiling Amplifier der Firma Kemper¹²

Weitere unerlässliche Bestandteile eines Studios, sind verschiedene Mikrontypen für verschiedene Einsatzzwecke, Interfaces und Wandler als Brücke zwischen analogem Eingangssignal und PC, sowie Abhörlautsprecher, welche auch als Monitore bezeichnet werden. Da eine solide Studiogrundausstattung bereits vorhanden ist, soll in den

¹² Kemper (Hrsg.): Rack Front, https://www.kemper-amps.com/images/themes/2-1/products_rack-front.jpg?v5, Zugriff am 01.02.2017

folgenden Punkten darauf eingegangen werden wie diese erweitert oder ersetzt werden kann, um eine Workflowoptimierung oder Erweiterung des Studioangebotes zu erzielen.

Bei der Auswahl der Technik ist es sehr wichtig, keinen qualitativen Flaschenhals zu erzeugen. Jedes Glied der Aufnahmekette entscheidet darüber welche Qualität das Endprodukt bestenfalls haben kann. Kauft man beispielsweise teure Mikrofone und minderwertige Wandler, so ist die Aufnahmequalität durch das schwächste Glied der Kette gekennzeichnet und niemand wird später die Brillanz und Wiedergabecharakteristik des hochwertigen Mikrofons erkennen.

2.3.1 Mikrofone

Als Mikrofon bezeichnet man Schallwandler, die Schallenergie in elektrische Energie, oder genauer elektrische Wechselspannungen, umwandeln. Dieser Prozess verläuft in zwei Schritten. Zuerst werden wird die Membran des Mikrofons durch Schallwellen zum Schwingen angeregt. Das nennt man Empfängerprinzip. Diese mechanische Schwingung der Membran, wird dann auf bauartspezifische Weise in elektrische Schwingungen übertragen. Hierbei spricht man vom Wandlerprinzip.¹³

Das Mikrofon ist das erste Glied in der Aufnahmekette. Mikrofone unterscheidet man anhand ihrer Bauart und Richtcharakteristik. Die Richtcharakteristik ist das frequenzabhängige Aufnahmeverhalten. Während beispielsweise ein Mikrofon der Richtcharakteristik Kugel, Schallwellen aus jeder Richtung aufnimmt, so eliminiert ein Mikrofon der Richtcharakteristik Niere einen Großteil des rückwärtig zur Membran eindringenden Schalls.

Bei der Bauart unterscheidet man dynamische und Kondensatormikrofone. Beim Kondensatormikrofon, fungiert die Membran des Mikrofons und eine Gegenelektrode als Kondensator.¹⁴ Beim dynamischen Mikrofon bewegt die durch Schall angeregte Memb-

¹³ Vgl. Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 115

¹⁴ Vgl. Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 138

ran eine Spule um einen Dauermagneten. Kondensatormikrofone haben oft umschaltbare Richtcharakteristika und schaltbare Pads und High Pass Filter. Das macht sie universeller einsetzbar.

Diese zwei Bauweisen haben verschiedene Anforderungen, Einschwingverhalten und Robustheitsgrade. Ein Kondensator Mikrofon benötigt eine 48V Phantomspannung als Betriebsspannung. Ausgenommen hiervon, ist die Sonderform des Kondensator Elektret Mikrofon. Bei diesem ist die Vorspannung in Kunststofffolien „eingefroren“. Eine Anwendung im Studiobereich ist aber eher nicht üblich. Da Kondensatormikrofone bauartbedingt sehr leichte Membranen haben, ist dementsprechend die Einschwingzeit viel kürzer, was zu einer detaillierteren Wiedergabe der eintreffenden Welle führt. Darin liegt auch die Beliebtheit im Studiobetrieb begründet. Diese feine Bauweise ist jedoch auch nicht so stabil wie etwa ein dynamisches Mikrofon. Im Bühneneinsatz ist es wichtig, dass das Mikrofon auch mal auf den Boden fallen kann oder Erschütterungen standhält. Aus diesem Grund sind Mikrofone wie die Modelle von Shure, zum Beispiel das SM57 und das SM58, legendär geworden, auch wenn sie im direkten Vergleich mit einem mittelklassigen Großmembran Kondensator Mikrofon eher muffig und geschlossenen klingen.

Auch im Studiobetrieb gibt es Aufnahmesituationen die nach dynamischen Mikrofonen verlangen. Etwa bei der Mikrofonierung von Gitarrenverstärkern oder einer Kickdrum. Auch hier ist es natürlich möglich, sehr gute Resultate mit einem feinauflösenden Kondensator zu erzielen, aber oft sind hier brillante obere Frequenzbereiche nicht gewünscht und somit kommen sehr oft dynamische Mikrofone zum Einsatz, welche außerdem pegelfester sind und einen Frequenzgang haben, der eher dem gewünschten Resultat entspricht.

Das aktuelle Setup zur Schlagzeugmikrofonierung besteht aus:

- 2x Neumann KM184 Kleinmembrankondensator für Overheads
- 2x Rode NT5 Kleinmembrankondensator für Raum (XY-Position)
- 2x Sennheiser e906 dynamisch auf tiefen Stativen für nahe Ambience
- 1x Shure SM57 für Snare top
- 1x Shure SM7B für Snare bottom
- 1x Sennheiser MD 421 für Toms
- 1x AKG D 112 für tiefe Toms

- 1x Shure Beta 58A für Kickdrum
- 1x Neumann U87 Großmembran Kondensator als „Fat-Mic“ über Kickdrum
- 2x Rode NT5 als Stützen für Hi Hat und China oder Ride Becken



Abbildung 4: Aktueller Bestand an Studiomikrofontypen¹⁵

Für Vocals und Sprache stehen wie schon erwähnt das Neumann U87 und das Shure SM7 zur Verfügung. Letzteres wurde ursprünglich für die Nutzung in Radiostudios konzipiert aber eignet sich auch hervorragend für Gesang.

Akustische Gitarren können mit den Kleinmembrankondensatormikrofonen KM184 und NT5 oder auch über das extrem detaillierte U87 abgenommen werden. Für elektrische Gitarren und die Mikrofonierung von Amps, kann nach Geschmack und Genre auch auf dynamische zurückgegriffen werden.

¹⁵ Foto des Autors

Für die Auswahl der Mikrofone gibt es keine Patentlösungen oder allgemeinen Regeln. Jeder Anwendungsfall ist auf mehrere Arten und mit völlig verschiedenen Mikrofonierungen umsetzbar. Sicherlich entwickelt jeder im Laufe seiner Arbeit gewisse Vorlieben und Arbeitsweisen, die oft sehr gut funktionieren. Das Ausprobieren ungewöhnlicher Kombinationen kann aber helfen, den eigenen Arbeitsstil zu erweitern. Eine große Auswahl verschiedenster Mikrofone hilft dabei kreativ zu werden. Dabei müssen es nicht immer High End Produkte sein. Sogar selbst gefertigte Typen, wie etwa das bekannte Sub Kick Mikrofon für Schlagzeug Kickdrums, kann aus einem Studiolautsprecher und ein paar Kabeln und Widerständen selbst zusammengebaut werden. Mikrofone sind ähnlich zu betrachten wie Instrumente. Eine völlige Linearität ohne eigenen Charakter oder Färbung sind für die meisten Anwender eher langweilig als inspirierend.

2.3.2 Interfaces und Wandler

Das Audio Interface ist die Schnittstelle zwischen der analogen und digitalen Audio-welt. Da die primäre Aufnahme von Signalen aus dem Aufnahmeraum in der Hauptregie Regie 1 passieren soll, wäre ein Netzwerkinterface welches Dante oder MAD1 oder andere Netzwerkstandards erfüllt nicht sinnvoll.

Im bestehenden Studio wandelt ein Focusrite Saffire Pro 40 Firewireinterface mit 8 integrierten Mikrofonvorverstärkern das analoge Signal in digital und umgekehrt. Erweitert ist dieses über ADAT mit einem Octopre vom gleichen Hersteller, welcher 8 weitere 8 Mic Pres zur Verfügung stellt. Diese 16 Eingangskanäle sind ausreichend um in der vorher beschriebenen Layering Methode alle Instrumente für eine Produktion einzeln und in detailliertem Umfang aufnehmen zu können. Da im Rahmen des Studioneubaus aber eine Erweiterung der Möglichkeiten stattfinden soll und etwa auch komplette Live-sessions aufgenommen werden sollen, muss über eine größere Anzahl an Inputs nachgedacht werden. Die Wahl des Interfaces beginnt mit der Wahl des Ports. Da aktuell Firewire, welches auch an Geräten mit Thunderbolt Eingang über einen Adapter in vollem Umfang genutzt werden kann, die genutzte Technologie ist und die Steuerungssoftware „Saffire Mix Control“ auf alle kaskadierten Focusrite Geräte zugreifen kann, kommt in diesem speziellen Fall als erstes das Liquid Saffire 56 in Betracht. Das Interface arbeitet ebenso auf Firewire Technologie, bietet 8 eigene Preamps und hat die Möglichkeit sogar zwei Geräte über ADAT zu erweitern. Die beiden vorhandenen Preamps sind somit weiter nutzbar und in der Control Software implementiert.



Abbildung 5: Liquid Saffire 56 Audio Interface¹⁶

¹⁶ Focusrite (Hrsg.): Liquid Saffire 56, https://focusrite.de/sites/default/files/resources/image/elevated-right_0.jpg, Zugriff am 01.02.2017

Man erreicht damit eine maximale Anzahl von 26 verfügbaren Eingangskanälen, 8 davon mit Mikrofonvorverstärker. Neben der Option den Musikern DAW gesteuerte Cue Mixe als Monitor zu schicken, bietet Focusrite die Möglichkeit des zero latency monitorings. Das bedeutet, dass Signale die in die Interface Eingänge gelangen, sofort wieder auf Ausgänge geroutet werden können ohne erst durch die DAW laufen zu müssen. Kopfhörer Mixe können somit schon in der Control Software erstellt werden.

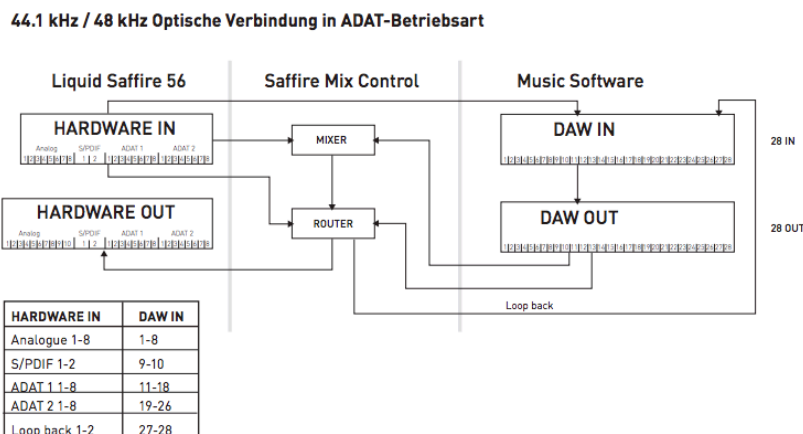


Abbildung 6: Prinzipschaltbild in ADAT Betriebsmodus¹⁷

Das ermöglicht nicht nur latenzfreies Monitoring, sondern entlastet auch die CPU immens, da mit einer höheren Buffergröße und Roundtrip Latenz gearbeitet werden kann. Vor allem im Szenario einer Livesession einer ganzen Band, wo jeder einen separaten Monitormix braucht, ist das sehr hilfreich, weil sonst zahlreiche Cue Mixes DAW intern angelegt und geroutet werden müssten.

Da auf analoges Outboard verzichtet werden soll, bietet das Liquid Saffire 56 eine weitere besondere Funktion. Die ersten beiden Preamps des Gerätes sind spezielle Liquid-Vorverstärker, welche legendäre Preamps simulieren können. Enthalten sind Emulationen von API, Avalon, Neve, Helios und vielen anderen.¹⁸ Eine etwas teurere Version, wäre die Thunderbolt Option namens Clarett 8PreX welche mit besseren Wandlern und noch geringeren Roundtrip Latenzen aufwartet.¹⁹

¹⁷ Focusrite (Hrsg.): Liquid Saffire 56 Bedienungsanleitung, <https://d3se566zfvnmhf.cloudfront.net/sites/default/files/downloads/7092/userguidels56de0.pdf>, Zugriff am 01.02.2017

¹⁸ Focusrite (Hrsg.): Liquid Saffire 56, <https://focusrite.de/firewire-audio-interfaces/liquid-saffire-56/specifications>, Zugriff am 01.02.2017

¹⁹ Focusrite (Hrsg.): Clarett 8PreX, <https://focusrite.de/thunderbolt-audio-interfaces/clarett-8prex>, Zugriff am 01.02.2017

2.3.3 Abhörlautsprecher

“Kleine Studiolautsprecher, sog. “Nahfeldmonitore” (engl. near field monitor), werden wie HiFi-Lautsprecher konstruiert. In der Regel verwendet man Zweiwegesysteme, passiv oder aktiv. Sie werden als Kontrolllautsprecher in sehr geringem Abstand zum Hörplatz (typ. etwa 1m) aufgestellt. Damit dominiert der Direktschall des Lautsprechers, das Diffusfeld spielt keine erhebliche Rolle für den Klang: Die Nahfeldaufstellung benutzt man, um den Einfluss des Hörraums auf den Klang zu minimieren (und deshalb sollten solche Boxen richtig als Direktfeldmonitore bezeichnet werden).”²⁰

An einen qualitativ hochwertigen Regielautsprecher gibt es einige Anforderungen. Der Frequenzgang sollte sehr linear sein. Das bedeutet die Amplitudenabweichung soll im Bereich von 40 Hz bis 16 kHz 4dB nicht überschreiten. Im unteren Mittenbereich, von 250 Hz bis 2 kHz, gilt es unter 0,5 dB Abweichung zu bleiben.²¹

Weiterhin ist das Abstrahlverhalten und daraus resultierende Schallbündelungsmaß zu beachten. Der Schall der nicht auf die Hörfläche abgestrahlt wird, trägt zu einer Erhöhung des Diffusschallfeldes bei, was einem differenzierten Abhören hinderlich ist.

Parameter	Frequenzbereich	[Einheit]	Wert
Amplituden-Frequenzgang	40 Hz bis 16 kHz 250 Hz bis 2 kHz	dB	4 dB-Toleranzbereich (siehe Text)
Schall-Bündelungsmaß C	250 Hz bis 4 kHz	dB	4 dB bis 12 dB
Nichtlineare Verzerrungen (Klirrdämpfung bei SPL=96 dB)	< 100 Hz > 100 Hz	dB (%)	-30 (3%) -40 (1%)
Abklingzeit (Abfall auf Pegel von 1/e)		s	< 5/f [Hz]
Zeitverzögerung zwischen Stereo-Lautsprechern		µs	< 10
Dynamikbereich			
max. Betriebsschallpegel		dB	> 112
Geräuschpegel		dBA	< 10

Abbildung 7: Qualitätsanforderungen an Studiolautsprecher²²

²⁰ Görne, Thomas (2011), S. 297

²¹ Vgl. Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 1162 f.

²² Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 1162

Das derzeitige Abhörtsetup besteht aus einem Paar A7X Speakern der Berliner Firma Adam. Es handelt sich hierbei um aktive Zweiwege-Nahfeldmonitore mit einer Übertragungsfrequenz von 42 Hz – 50 kHz. Die Frequenztrennung zwischen dem 7" Carbon-Glasfaser Tieftöner und dem Bändchenhochtöner erfolgt bei 2,5 kHz, wobei jeder Treiber separat mit Leistung versorgt wird. Dieses Prinzip nennt man Bi-Amping. Um den workflow in den zwei Regien so gleich wie möglich zu gestalten, empfiehlt es sich, beide Regien mit der selben Abhöre zu bestücken. Die beste Studiobox ist immer die, die man am besten kennt. Da seit vielen Jahren auf der A7X Serie gearbeitet wird und diese problemlos zur oberen Mittelklasse zu zählen ist, kann bedenkenlos in eine zweite Abhöre dieser Baureihe investiert werden. Für Februar 2017 hat Adam eine neue S-Serie auf ihrer Website angekündigt. Diese gibt es in ähnlichen Proportionen wie die AX-Serie, doch verspricht mehr Transparenz, Klarheit und Verzerrungsfreiheit. Es soll ein DSP Chip an Bord sein, welcher Frequenzgang und Dynamik an die Raumeigenschaften anpassen kann. Die S-Serie sollte auf jeden Fall in den Punkten Qualität und Preis als Vergleichsobjekt herangezogen werden, um auch zukunftsorientiert die beste Investition zu tätigen.²³



Abbildung 8: Adam A7X Nearfield Monitor²⁴

²³ Adam (Hrsg.): Die S-Serie, <https://www.adam-audio.com/de/news/branche/s-serie/>, Zugriff am 01.02.2017

²⁴ Adam (Hrsg.): Die AX-Serie, <https://www.adam-audio.com/en/ax-series/a7x/>, Zugriff am 01.02.2017

2.3.4 Der Studiorechner

Bei der Auswahl des richtigen Studio Rechners und seiner Komponenten, gibt es beinahe unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten. Die grundlegendsten Entscheidungen sind wohl bezüglich des Betriebssystems und des Formfaktors zu treffen. Da die Rechner nicht portabel sein müssen und Desktopkomponenten im Vergleich zu Notebookkomponenten deutlich billiger sind und zeitgleich ein vielfaches an Leistung zur Verfügung stellen, soll die Wahl auf Desktop PCs fallen. Bei der Wahl der richtigen Religion, nämlich ob auf einer Windows oder Mac OS Umgebung gearbeitet werden soll, fällt die Wahl auf Windows. Obwohl der Autor dieser Arbeit bekennender Anhänger der zweitgenannten Konfession ist, bietet Apple leider im hohen Performancebereich nur den am 10. Juni 2013 vorgestellten "Trashcan" Mac Pro an. Dieser bietet Technik die vor 4 Jahren schon veraltet war zu einem Startpreis von 3399€ an und besitzt in dieser Konfiguration 256 GB Flashspeicher, einen 3,7 GHz Intel Xeon E5, 12 GB Ram und AMD Grafikkarten im Dual Modus mit je 2 GB Speicher.²⁵ Als echter Apple Fan weiß der Autor, dass das Macintosh Ökosystem eine hohe Performance liefert ohne dabei mit Spezifikationswerten prahlen zu müssen. Das trifft jedoch oft nur auf Software zu, die für OSX optimiert entwickelt wurde wie etwa Final Cut Pro, Logic oder ähnliche Anwendungen. Andererseits lassen sich für den Einstiegspreis des Mac Pros mindestens zwei Studiorechner auf Windowsbasis mit gleicher oder höherer Leistung konfigurieren. Die einzig relevante Anforderung ist ein stabiles System, welches Cubase und alle genutzten Plug Ins performanceseitig leicht bewältigen kann und zukunftssicher upgradefähig ist. Beachten sollte man hier Anzahl und Art der verfügbaren Erweiterungsteckplätze.

Auch die hohe Grafikleistung von 2 Teraflops eines Standard Mac Pro ist für Grafik- und Fotoanwendungen oder Videoediting, selbst für das Alter der Komponenten für die meisten Anwendungen noch mehr als ausreichend, jedoch für Musikproduktion nicht notwendig. Das Budget für den Studiorechner sollte primär in hohe Prozessorleistung und Arbeitsspeicher investiert werden. Eine dedizierte Grafikkarte welche 4K fähig ist sollte dennoch eingeplant sein um den Onboard Grafikchip, welcher Prozessorleistung verbraucht, nicht zu belasten. Um in die wichtigen Bereiche zu investieren, empfiehlt sich eine eigene Zusammenstellung der Komponenten oder eine für Audiozwecke optimierte Workstation. Je nach Art des Interfaces wird noch eine Firewire Karte oder Thunderbolt/USB-C Karte benötigt. Neben der Leistung, ist auch die

²⁵ Apple (Hrsg.): Mac Pro, <http://www.apple.com/de/mac-pro/specs/>, Zugriff am 01.02.2017

Geräusentwicklung zu beachten. Da es keinen speziellen Maschinenraum für Computertechnik geben soll, stehen die Rechner am Arbeitsplatz und sollten dafür einen möglichst geringen Störgeräuschpegel aufweisen. Zieht man zu Vergleichszwecken maximal erlaubte Störgeräuschpegel für Hörfunkproduktionsstudios zu Rate, so ergibt sich für den speziellen Anwendungsfall ein maximaler Pegel von 26 dB(A).²⁶

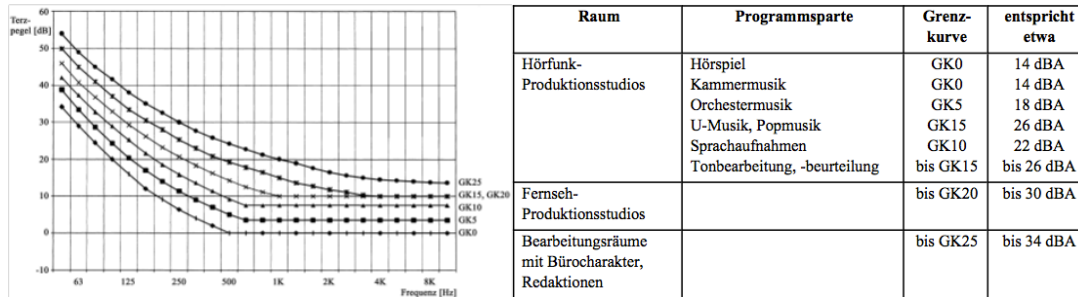


Abbildung 9: zulässige Störgeräuschpegel²⁷

Hierzu sollte man nicht die "boxed" Version des CPU Kühlers verwenden sondern einen speziellen Kühler, der auf geringe Lautstärke auch bei Volllast konzipiert wurde. Diesen Anforderungen entspricht zum Beispiel der Dark Rock Pro 3 des Herstellers "be quiet!". Dieser erreicht auch bei Höchstleistung und übertakteten Systemen einen Maximalpegel von 26,1 dB(A).²⁸ Eine kostenintensivere aber ebenso leise Lösung, ist die Installation einer Wasserkühlung. Hier gibt es zahlreiche Systeme mit sehr schwankenden Werten bezüglich Kühlleistung und Lautstärke. Bei einer Wasserkühlung entsteht neben dem Lüftergeräusch noch ein Pumpengeräusch. Andererseits kann eine Wasserkühlung die Kühlung des Grafikchips mit übernehmen. Sollte konventionell mit Luft gekühlt werden, so ist auch bei der Wahl der Grafikkarte auf die Geräusentwicklung zu achten. Da die Verwendung digitaler Audio Workstations jedoch keine grafikintensive Belastung des Rechners darstellt, sollte hier keine zu große Geräusentwicklung stattfinden.

Neben den Gehäuselüftern gilt es schließlich noch beim Netzteil darauf zu achten welche Geräuschbelastung im Datenblatt angegeben ist. Neben der Lautstärke sollte das Netzteil über genügend Leistung für alle installierten Komponenten verfügen und

²⁶ Vgl. Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 33

²⁷ Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 33 f.

²⁸ BeQuiet! (Hrsg.): Dark Rock Pro 3, <http://www.bequiet.com/de/cpucooler/482>, Zugriff am 01.02.2017

auch zukunftsorientiert ausgewählt werden. Will man später beispielsweise mehr Grafikleistung in Form einer stärkeren Grafikkarte oder weitere Laufwerke erweitern, so kommt man um ein Netzteil mit 500 oder besser 600W nicht herum.

3 Raumaufteilung und akustische Optimierung

Die Anordnung und Anzahl der Räume in einem Studio spielt eine entscheidende Rolle. Nicht nur die Proportionen und Seitenverhältnisse eines Raumes für eine gute Akustik oder das Volumen sind Dinge die es zu bedenken gilt. Es muss auch eine sinnhafte Anordnung für möglichst einfache Arbeitsabläufe und eine angenehme Atmosphäre geschaffen werden. Grobe Eckpfeiler für die Planung dieses Studios waren ein offener heller Aufenthaltsbereich mit Möglichkeiten für Meetings, Zeitvertreib und Entertainment sowie eine Kochmöglichkeit. Weiterhin sollen neben dem möglichst großen Aufnahmezimmer, welcher in Raum-in-Raum-Bauweise gebaut wird, zwei Regieräume existieren in denen parallel gearbeitet werden kann.

In diesem Abschnitt soll es nicht nur um die Anordnung der Räume, sondern auch um die akustische Auslegung dieser gehen. Eine gute Akustik sorgt beispielsweise im Regieraum für eine gute Einschätzbarkeit von dem gehörten Signal, da im relevanten Frequenzbereich auftretende stehende Wellen eliminiert werden oder reflektierter Schall an Wandoberflächen gleichmässig diffus reflektiert oder absorbiert wird. Es gibt verschiedene Möglichkeiten Schall in seiner Ausbreitung zu steuern. Da der Studiobau erst im Februar des Jahres 2017 beginnt, können in den Räumlichkeiten keine Messungen zu etwaigen Faktoren wie Nachhallzeit oder stehenden Wellen vorgenommen werden. Die Auslegung der Räume im Rahmen dieser Bachelorarbeit, soll somit anhand von Berechnungen stattfinden. Ist der Rohbau des Studios abgeschlossen, sollen aber alle Werte durch Messungen überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Man kann also diese Arbeit als umfangreiche Vorbetrachtung sehen welche helfen soll, im Vorfeld planungsrelevante Entscheidungen zu treffen oder bestimmte Fehler auszuschliessen.

Der Bau des Studios erfolgt durch eine Firma die erfahren ist im Bereich des Tonstudiosbaus. Das ist wichtig, da anders als bei normalem Trockenbau für den Wohngebrauch, viele Dinge besondere Beachtung brauchen. Beispielsweise die Raum-in-Raum-Konstruktion erfordert penible Konsequenz. Schon eine Kabeldurchführung ohne Schalldämpfung oder eine in die Wand eingelassene Dose ohne isolierten Hinterbau, kann zum Schalleiter werden. Dann ist die Effektivität der gesamten Konstruktion dahin.

Die Auslegung und Fertigung der Akustikmodule wie etwaige Plattenschwinger, Absorber, Resonatoren oder Diffusoren soll durch den Autor stattfinden. Die hier berechneten kritischen Frequenzen sollen später als Anhaltspunkt dienen und leicht an die tatsächlichen Werte anpassbar sein.

3.1 Ausgangslage und Gebäudebeschaffenheit

Eine normale rechteckige oder gar quadratische Raumform, ist für eine gute Raumakustik keine gute Wahl. Umso mehr parallele Wände ein Raum hat, desto stärker ist die Ansammlung von stehenden Wellen oder auch Raummoden ausgeprägt. Optimaler Weise ist der Abhörplatz eine reflektionsfreie Zone, was am besten durch abgeschrägte Wände und richtig positionierte Absorber erzielt werden kann.²⁹

Das Studiogebäude ist Eins von drei Gebäuden eines Gebäudekomplexes und war in seiner vorherigen Nutzung ein Berufsschulzentrum. Es besitzt ein Erdgeschoss und eine obere Etage. Im Inneren des Komplexes befindet sich ein abschließbarer Innenhof mit Parkmöglichkeiten. Die Räumlichkeiten sollen an kreative Selbstständige vermietet werden, was nach einem relativ hohen Schallemissionsschutz verlangt. Der gemietete Raum hat eine Grundfläche von rund 155 m² und befindet sich in der oberen Etage. Nach dem Abhängen der Decke in Aufnahme- und Regieräumen kann von einer finalen Deckenhöhe von 3,5 m ausgegangen werden.

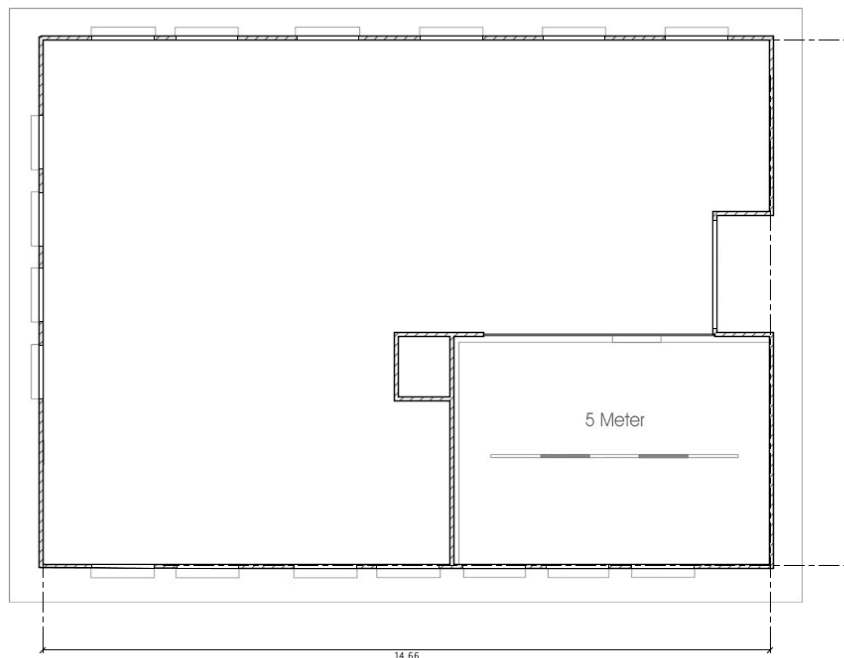


Abbildung 10: leerer Grundriss des neuen Studios³⁰

²⁹ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie 2. Auflage, S. 99

³⁰ Grafik des Autors

Da der Raum vorher als Umkleideraum genutzt wurde, ist er komplett gefliest und hat eine ausreichend hohe Deckenbelastbarkeit. Das ist vor allem für den Bau der Raum-in-Raum-Konstruktion wichtig. Da die komplette Etagenseite gemietet wird, gibt es drei Außenwände mit einer Vielzahl doppelt verglasteter Außenfenster.

Die Aufteilung der Räume fiel nach vielen Versuchen zu Gunsten eines möglichst großen Aufnahmeraumes aus. Hierbei ist zu beachten, dass der Aufnahmeraum, welcher zwar Fenster besitzt, diese aber nicht zu Öffnen sind, einen zweiten Ausgang benötigt.

„Für Nutzungseinheiten mit mindestens einem Aufenthaltsraum, wie Wohnungen, Praxen, selbstständige Betriebsstätten, müssen in jedem Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege ins Freie vorhanden sein; beide Rettungswege dürfen jedoch innerhalb des Geschosses über denselben notwendigen Flur oder über denselben Ausgang führen.“³¹

³¹ Justiz-Online (Hrsg.): § 32 BauO LSA – Erster und zweiter Rettungsweg, http://www.lexsoft.de/cgi-bin/lexsoft/justizportal_nrw.cgi?xid=1538385,33, Zugriff am 25.01.2017

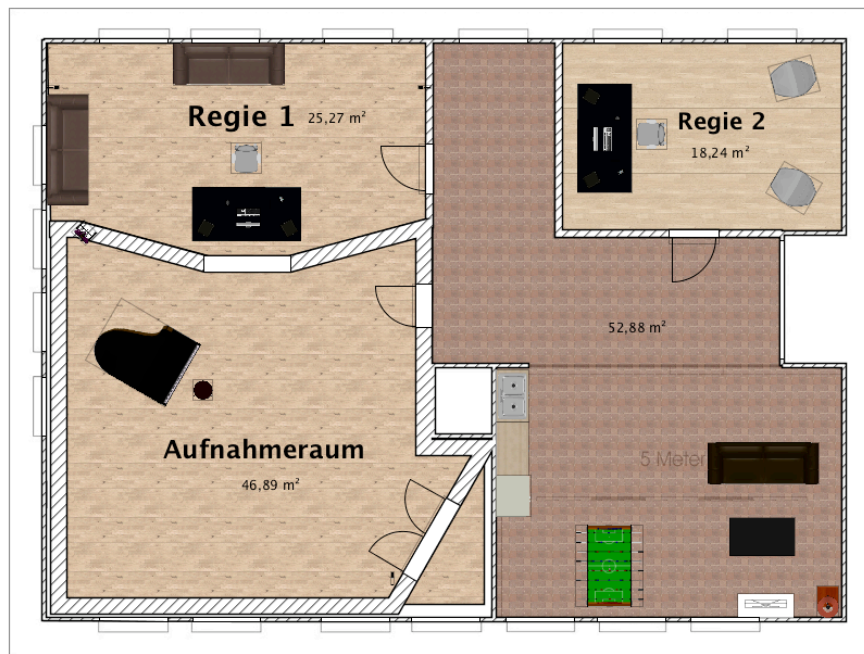


Abbildung 11: geplanter ausgebauter Zustand des Studios³²

Da es nach § 32 des BauO LSA genügt, dass der erste Rettungsweg über eine Treppe zu erreichen ist, kann der zweite Rettungsweg eine von Rettungskräften erreichbare Stelle sein. Dafür ist der kleine Zwischenraum mit Fenster vorgesehen.

3.2 Schallemission und Schallimmission

Die akustische Auslegung beinhaltet einen bauakustischen und raumakustischen Aspekt.³³ Die Schalldämmung gegen Außengeräusche oder auch Schallimmission, ist beispielsweise ein bauakustischer Aspekt. Da über dem geplanten Studio keine weitere Etage ist, kann Trittschall ausgeschlossen werden. Verkehrslärm, Lärm durch andere Mieter oder eventuell entstehender Lärm durch die Nutzung einer Klimaanlage müssen aber berücksichtigt werden. Genauso wichtig ist es, Lärm der durch Aufnahmen nach außen dringen kann zu isolieren. Es muss sichergestellt werden, dass andere Mieter nicht durch Aufnahmelärm gestört werden.

Die Raumakustische Auslegung hingegen beinhaltet Faktoren wie erste Reflektionen oder die Nachhallzeit. Raumakustische Maßnahmen können noch im fertigen Zustand

³² Grafik des Autors

³³ Vgl. Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München, S. 32

hinzugefügt und verändert werden. Bei bauakustischen Maßnahmen ist das nicht so leicht möglich.

Tiefe Frequenzen sind generell schwerer zu dämpfen als höhere. Geht man beispielsweise von einem einschaligen Bauteil wie einer massiven Wand aus, so ist das Einzige was tiefen Frequenzen entgegengesetzt werden kann eine sehr große Masse.

Die Masse der Wand und die Frequenz sind direkt proportional zur Schalldämmung. Das sieht man auch an der Formel für das Schalldämmmaß:³⁴

$$R = 20 * \log(f * m') - 45,4dB$$

R...Schalldämmmaß in dB

f...Frequenz in Herz

m'...flächenbezogene Masse der Wand in kg/m²

Baut man zwei Wände nebeneinander, wie im Falle einer Raum-in-Raum-Konstruktion, so ist es wichtig, dass beide Wände nicht die gleich Dicke haben. Jede Wand hat einen Einbruch der Schalldämmung bei der Biegewellenresonanz, welche dickenabhängig ist.

Zweischalige Bauteile wie beim Trockenbau üblich, sind eine Art Feder-Masse-System. Die zwischen den beiden Wänden im Ständerwerk eingeschlossene Luft, wirkt als Feder und hat einen starken Dämmungseinbruch im Bereich der Resonanzfrequenz dieses Systems. Abhilfe schafft hierbei ein relativ großer Abstand um die Resonanzfrequenz tief genug zu halten und eine hohe Eigenmasse der Schalen durch doppelte Beplankung. Auch hier sollte man wegen der Biegewellenresonanz darauf achten, unterschiedliche Beplankungsstärken zu verwenden.

³⁴ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie 2. Auflage, S. 64

Der komplette Aufnahmeraum muss elastisch gelagert sein. Es darf an keiner Stelle eine starre Verbindung vorliegen. Der Boden ist ein schwimmender Estrich welcher auf Sylomer gelagert ist. Wichtig beim Verlegen des Fußbodenbelags auf dem Estrich ist es, keinen Trittschall unter das Parkett zu legen, sondern das Parkett flächig zu verkleben. Andernfalls erzeugt man sich mit dem Fußboden einen großen Plattenschwinger welcher jegliche Schallenergie seiner Eigenfrequenz eliminiert. Darauf errichtet, werden die Wände des Aufnahme Raumes, welche ebenso schwimmend auf dem Estrich gelagert werden. Sockel- und Randleisten dürfen den Boden und die Wände nicht starr verbinden. Auch Kabeldurchführungen müssen abgedichtet und elastisch sein. In Wände eingelassene Dosen und Schalter sind zu vermeiden und wie im Außenbereich üblich, auf der Wandoberfläche zu montieren. Die abgehangene Decke, wird über elastische Gummi- oder Federdeckenabhängler eingelassen. Hierbei sollten bereits Befestigungsmöglichkeiten für Deckensegel oder andere Akustik Elemente vorgesehen sein und auch die geplante indirekte Beleuchtung integriert sein. In dieser Bauphase muss parallel die Installation der Leitungen für die Klimaanlage erfolgen. Für diesen Einsatzzweck gibt es spezielle Rohrschalldämpfer. Es gibt unzählige Dinge, auf die beim Bau einer Raum-in-Raum-Konstruktion geachtet werden muss. Es ist sehr wichtig in der Bauphase immer wieder Rücksprache mit der Baufirma zu halten und auf alle Schritte des Ausbaus ein Auge zu haben.

3.3 Regieräume

Die akustische Optimierung soll am Beispiel des Aufnahme Raumes gezeigt werden. Das Verfahren ist genauso analog auf Regie 1 und 2 anwendbar. Die Unterschiede bestehen in der angestrebten Nachhallzeit und in der Positionierung der Elemente. Im Regieraum ist es wichtig, das ITG Gap einzuhalten. Nach dem Eintreffen des Direktsignals am Abhörplatz sollte innerhalb der ersten 10 ms keine erste Reflektion dahin gelangen. Hilfreich um das ITG Gap zu erzeugen sind schräge Wände hinter der Abhöre oder Absorber welche die Reflexionen abschwächen.³⁵

Die reflektierenden Wände müssen groß genug sein, um auch tiefe Frequenzen zu reflektieren und diese sich nicht auf Grund ihrer großen Wellenlänge um die Reflexionsfläche herumbeugen können.

Da um eine geringe Nachhallzeit zu erreichen Absorber installiert werden müssen, sollten diese bestenfalls in kritischen Bereichen bezüglich erster Reflektionen angebracht werden. Um auch etwaige Flatterechos zwischen Boden und Decke zu vermeiden, sind schräg angestellte Deckenabsorber oder Deckensegel hilfreich. Oft werden erste Reflektionen über seitliche Wände bedacht aber nicht die über die Decke. Die so genannte Spiegelmethode hilft kritische Punkte ausfindig zu machen. Dazu wird vom Abhörplatz aus beobachtet wie ein Helfer einen Spiegel vor die Wand hält. Kann man in diesem Spiegel den Lautsprecher sehen, so könnte diese Wand kritische Reflexionen zurückwerfen, welche innerhalb des ITG Gaps liegen. Glasscheiben, vor allem die hinter den Abhörmonitoren um den Blick in den Aufnahme Raum zu lassen, sollten schräg installiert werden. Das hilft nicht nur gegen Staubansammlung innerhalb der doppelten Scheibenkonstruktion, sondern reflektiert den Schall je nach Anstellung (A- oder V-förmig) nach oben oder unten.

Neben absorptiven Elementen gibt es Diffusoren. Diese absorbieren zwar keinen Schall, ermöglichen aber eine positive, gleichverteilte Zerstreung der Reflexionen. Diffusoren verändern somit nicht die Nachhallzeit eines Raumes und können aus allen schallharten Materialien gefertigt sein. Auch ein Bücherregal ist im Grunde ein Diffusor.

³⁵ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie 2. Auflage, S. 100

„Sehr wirkungsvolle Diffusor-Varianten sind die Maximalfolgen-Diffusoren nach Manfred Schroeder (*Schroeder 1975, v. Heesen 1976*). Der binäre Maximalfolgen-Diffusor beruht auf der Anordnung von Streuelementen nach dem Prinzip einer binären Pseudo-Zufallszahlenfolge, wie sie auch als Messsignal zur Systemanalyse eingesetzt wird (engl. maximum length sequence, MLS).“³⁶

3.4 Aufnahmeraum

Bei einer Deckenhöhe von 3,5 m und einer Raumfläche von 46,9 m², ergibt sich im Aufnahmeraum ein Raumvolumen von 164,15 m³. Die Gesamtoberfläche des Raumes nach Addition aller Einzelflächen beträgt 188,95 m². Geht man nun von dem Aufnahmeraum ohne akustische Modifikationen aus so ergeben sich die in Anhang 1 ersichtlichen Nachhallzeiten. Es wird klar, dass die Werte weit über dem liegen, was ein gutes Arbeiten ermöglicht und eine gute Aufnahmequalität liefert. Da Gipskarton bei 125 Hz ein stark ausgeprägtes Absorptionsmaximum besitzt, und im rohen Zustand große Flächen des Raumes noch eine Gipskartonoberfläche haben, erkennt man einen extrem auffälligen Abfall in der Nachhallzeit bei genau dieser Frequenz.

Nachhallzeiten müssen immer im Kontext von Frequenzbereichen betrachtet werden, da die Absorption unterschiedlicher Materialien ebenfalls frequenzabhängig ist. Die Berechnung dieser, erfolgte mit der Formel nach Sabine sowie mit der Formel nach Eyring. Diese Werte sind theoretisch und beziehen sich auf einen völlig leeren Raum unter optimalen Bedingungen. Als nächstes wurde mit der Tabelle in Anhang 3, welche Absorptionsgrade verschiedener Einbauten und Akustikmodule in Abhängigkeit von Frequenzen aufzeigt, eine beispielhafte Optimierung vorgenommen. In Anhang 2 sieht man in Folge dessen eine deutliche Verbesserung der Werte und es wird nahezu der angestrebte Toleranzbereich eingehalten.

Diese Auflistung soll als Rechenbeispiel dienen. Da aus dem vorherigen Studio bereits Breitbandabsorber vorhanden sind, welche auch weiter Verwendung finden sollen, wird eine Nachhallmessung unter realen Bedingungen und nach Aufstellung der Absorber als Grundlage für die finale Auslegung dienen. Diese Werte sind aktuell noch nicht bekannt. Auch das tatsächliche Raumvolumen kann sich bei so einem komplexen Bau

³⁶ Görne, Thomas (2011), S. 95

wie einer Raum-in-Raum-Konstruktion noch einmal verändern. Die Werte für Raumvolumen und Oberfläche sind also nur als theoretische Anhaltspunkte zu betrachten und helfen, eine Vorstellung dafür zu bekommen wie viele akustische Einbauten in etwa nötig sein werden. Gerade für die finanzielle Planung als auch die zeitliche Planung des Ausbaus hat das eine große Bedeutung.

Auch nach der akustischen Optimierung sollte eine Messung durchgeführt werden. Darin zeigt sich, ob die Raumantwort die gewünschten Grenzen nicht überschreitet und ob die Modifizierungen wirkungsvoll waren, oder ob in bestimmten Bereichen oder Frequenzgängen noch Handlungsbedarf besteht.

Zur Darstellung und Auswertung der Messungen bieten Messsysteme verschiedene Optionen. Häufig beginnt die Messung mit einer Impulsantwort. Darin sieht man über einen zeitlichen Verlauf die Schallenergie dargestellt. Die resultierende Kurve wird auch „Energy Time Curve“ genannt. Ein gut optimierter Raum hat hierbei einen starken Abfall der Energie nach dem Eintreffen des Direktsignals. Auch das vorher beschriebene ITG Gap lässt sich aus dieser Darstellung ablesen. Eine weitere Messung ist die der Nachhallzeit. Dazu wird wieder die Impulsantwort gemessen, jedoch über einen ausreichend langen Zeitraum. Das Messsystem erstellt dabei eine Mittelwertkurve und der Betrag des Anstiegs dieser Mittelwertkurve ist die Nachhallzeit. Eine komplexere Darstellung sind Wasserfalldiagramme. Das sind dreidimensionale Diagramme, die gleichzeitig Auskunft über Pegel, Frequenz und Zeit geben. Manche Messsysteme können auch das Wasserfalldiagramm in definierten Bereichen auswerten und somit Nachhallzeiten in Terzbändern darstellen. Man kann hier leicht erkennen, wie der Raum in verschiedenen Frequenzbereichen nachklingt. Die Firma Goldline bietet beispielsweise ein System bestehend aus omni-direktionalem Messmikrofon, Vorverstärker und Auswertungssoftware zur raumakustischen Optimierung und Messung an.³⁷

³⁷ Vgl. Friesecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie 2. Auflage, S.138 ff.

4 Netzwerkspeicher

Eine Audiovernetzung in Form einer Kreuzschiene macht in der Größenordnung des geplanten Studios wenig Sinn. Geplant ist es, Regie 1 als Hauptregieraum mit direkter Anbindung an den Aufnahmeraum über ein mehradriges Multicore Kabel zu nutzen. Regie 2 hingegen benötigt keine direkte Anbindung. Hier sollen vor allem Editing Prozesse ablaufen können und Gitarrenaufnahmen stattfinden. Ein Interface mit 2 Preamps ist für diesen Anwendungszweck völlig ausreichend. Das RME ADI 2 oder das Focusrite Clarett 2Pre wären dafür geeignete Geräte. Die Vernetzung der Regieräume soll in Form von einem Datennetzwerk passieren.

4.1 Vorteile von Netzwerkspeicherlösungen

Bei einer Netzwerkspeicherlösung gibt es für eine Studioanwendung zwei mögliche Nutzungsformen. Die erste besteht darin, den Netzwerkspeicher als Backup System zu verwenden und relevante logische oder physische Datenträger in definierten zeitlichen Intervallen dahin zu kopieren. Die zweite Möglichkeit ist es, direkt vom Netzwerkspeicher aus zu arbeiten. Das erfordert eine hohe Bandbreite und ist dementsprechend teurer. Hersteller wie Terrablock oder Ardis Technologys mit DDP (Dynamic Drive Pool) bieten solche SAN Lösungen an.

Zuerst soll auf die Ethernet SAN Technologie am Beispiel von DDP eingegangen werden. DDP arbeitet mit dem blockbasierten iSCSI Protokoll. Die Netzwerkstruktur wird über ein oder mehrere Netzkabel miteinander verbunden. Im Gegensatz zur normalen Bündelung, hat die „Multiple Connection per Session“ Methode eine Bandbreitenerhöhung zur Folge. Koppelt man beispielsweise zwei 1 GbE-Ports, so erweitert man die Bandbreite von 100 auf 180 MB/s. Die Steuerung und Überwachung eines DDPs, erfolgt über ein web GUI. Hier werden Zugriffsrechte eingestellt, Wartungsarbeiten durchgeführt oder fehlerhafte Festplatten angezeigt. Im Gegensatz zu herkömmlichen SAN Lösungen, ist DDP für nicht IT-Spezialisten entwickelt worden. Die Einrichtung des Systems ist laut Hersteller und einschlägiger Online Foren kinderleicht

und die Wartung ebenso. Die Speicherkapazität kann jederzeit problemlos erweitert werden.³⁸

Im DDP8D base System, können 8 3,5“ HDDs oder 16 2,5“ HDDs oder SSDs verbaut werden. Die Hardware Komponenten bestehen aus einem Mainboard mit Intel Xeon CPU, 2x4 GB ECC RAM, einer RaidCard, 2 Onboard 1GbE ports und einer redundanten Stromversorgung. Die geschätzte Leistung liegt bei 620W.³⁹

Nutzer von DDP sind vor allem große Postproduktionsunternehmen und Fernseh- und Rundfunksender wie Discovery, CNN, RTL, ZDF, NDR oder der NASA.⁴⁰

Geht man nun von einer Arbeitsweise aus, in der die Daten nicht lokal, sondern im SAN gespeichert werden, so hat man den Vorteil, dass alle Rechner im Netzwerk auf die Daten und somit Projekte zugreifen können. Erweitert man sein DDP mit schnelleren PCIe Netzwerkkarten, sind sogar Videobearbeitungen in 4K mit 10bit Farbtiefe und 40 fps möglich, was einer Bandbreite von 1920 Mbyte/s entspricht.⁴¹ Man muss jedoch bedenken, dass neben der sehr teuren Anschaffung, auch sehr hohe laufende Kosten entstehen. Das System müsste zu jeder Zeit arbeiten und würde erheblich mehr Strom verbrauchen als ein NAS, welches sich einmal täglich einschaltet und Backups von ausgewählten Festplatten erstellt.

An dieser Stelle muss man sich fragen, ob der extreme finanzielle Mehraufwand für den speziellen Anwendungsfall sinnvoll ist. Da die Anzahl der zugreifenden PCs sehr gering ist und Audio Projekte vergleichsweise kleine Dateigrößen haben, ist die Zeiterparnis vermutlich zu gering um den Aufwand zu rechtfertigen. Kopiert man ein schon recht umfangreiches Albumprojekt von angenommen 20 Gbyte auf eine externe USB 3 HDD oder auf ein NAS welches zu Backup- und Austausch Zwecken im Netzwerk integriert ist, so beträgt der Zeitaufwand je nach Anzahl der Files nur wenige Minuten. Da dieser Dateiaustausch zwischen Arbeitsplatz 1 und 2 nicht oft notwendig ist, kann das Verschieben der Projekte händisch über Austauschlaufwerke stattfinden.

³⁸ DDP (Hrsg.): <http://ddpsan-deutschland.de/technologie/ethernet-san>, Zugriff am 03.01.2017

³⁹ DDP (Hrsg.): <http://ddpsan-deutschland.de/products/43-ddp8d-base-system-2u>, Zugriff am 03.01.2017

⁴⁰ DDP (Hrsg.): <http://ddpsan-deutschland.de/support-vertrieb/faq>, Zugriff am 03.01.2017

⁴¹ DDP (Hrsg.): <http://ddpsan-deutschland.de/>, Zugriff am 03.01.2017

4.2 Das kann Network Attached Storage – NAS

NAS Systeme gibt es in sehr unterschiedlichen Ausführungen. Je nach benötigter Leistung und Ausstattung, gibt es sie in kleinen Einheiten für zwei 2,5“ Festplatten, bis hin zu großen 12-Einschub-Geräten. Synology bietet sogar ein Gerät für 24 Laufwerke an, welches sich aber bereits im 5-stelligen Preisbereich ansiedelt. Das allgemeine Konzept eines NAS, ist aber vom Einsteiger bis High End Gerät das gleiche. Die Verwaltung des Linux basierten Fileservers passiert über eine Webbrowser Oberfläche. Angeschlossen wird der NAS über Netzwerkkabel im lokalen Netzwerk und liefert somit einen viel schnelleren Zugriff auf die Daten als Cloudsysteme. Selbst beim Ausfall der Internetverbindung, kann problemlos auf alle gespeicherten Inhalte zugegriffen werden. Auch das Schreiben auf ein NAS geht deutlich schneller als auf einen Online Speicher, da die Bandbreite nur durch die Ethernetverbindung, den Chipsatz des NAS-Controllers und die Geschwindigkeit der Platten sowie des gewählten RAID Verbundes bestimmt wird. Bei Online Speichern, ist man vom meisten mittelmäßig bis schlechtem Upload der DSL Verbindung abhängig. Schaut man sich die bestenfalls zu erwartenden Leistungswerte von DSL Verbindungen an, so wird schnell klar, dass selbst Einstiegsmodelle im NAS Bereich deutlich bessere Werte liefern. Vor allem für regelmäßige Backups kann ein langsamer Upload problematisch werden und die Rechner müssten immer über Nacht laufen.⁴²

Technik	Tarif	Downloadrate	MB/s Down	Uploadrate	MB/s Up
DSL	DSL 2000	1048	0,13	256	0,03
DSL	DSL 6000	6016	0,73	576	0,07
DSL2+	DSL 16000	16000	1,95	1024	0,13
SDSL	SDSL 2000	2048	0,25	2048	0,25
VDSL	VDSL 25.000	25000	3,05	5000	0,61
VDSL	VDSL 50.000	50000	6,10	10000	1,22
Vectoring	VDSL 100.000	100000	12,21	40000	5,00
Kabel	Kabel 100.000	100000	12,21	5000	0,61
FTTH	Fiber 100.000	100000	12,21	50000	6,10
Kabel	Kabel 150.000	150000	14,65	5000	0,61
FTTH	Fiber 200.000	200000	24,40	100000	12,20

Abbildung 12: Vergleich von Uploadraten verschiedener DSL Stufen⁴³

⁴² Vgl. Windeck, Christof (Hrsg.): Das kann NAS, 2015, c't Magazin, Heft 16, S. 77 f.

⁴³ VDSL Tarif-Vergleich (Hrsg.): Upload Speed, <http://www.vdsl-tarifvergleich.de/vdsl-speed/upload.html>, Zugriff am 01.02.2017

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass sensible Daten nicht über das Internet an Rechenzentralen verschiedener Drittanbieter verschickt werden müssten und keine monatlichen Cloudkosten entstehen.

Die Firmware, also das Betriebssystem des NAS, ist ein herstellerspezifisches Linux. Für eine möglichst leichte Bedienung, steuert man dieses über ein Webbrowser Interface. Mit Firmwareupdates können Funktionen hinzugefügt und Sicherheitslücken geschlossen werden. Bei der Auswahl der Platten, sollte man bei nicht allzu großem Speicherbedarf auf 2,5“ HDDs setzen, da deren Stromverbrauch deutlich geringer ist und Gigabit Ethernet (GbE) ohnehin nur 110 MByte pro Sekunde übertragen kann. Diese maximale Geschwindigkeit wird außerdem nur mit sehr großen Dateien ausgenutzt. Der Router sollte auch unbedingt GbE unterstützen, da mit Fast Ethernet, welches gerade einmal 100 Mbit/s schafft, auch nur 12 MByte/s Übertragungsgeschwindigkeit möglich wären. Ein NAS mit zu schwachem Prozessor oder zu wenig RAM, kommt bei einer hohen Zahl an Zugriffen oder höheren RAID Leveln, wie etwa RAID 5, vor allem beim Schreiben an seine Grenzen. Auch Firmware Plug Ins benötigen Rechenleistung. Hochpreisigere NAS bieten oft zwei Ethernet Ports an, die sich Bündeln lassen und damit schnellere Zugriffe ermöglichen. Die im Netzwerkspeicher integrierten Volumes enthalten so genannte Shares. Das sind in der Browser Benutzeroberfläche eingetragene Zugriffsrechte und Freigaben.⁴⁴

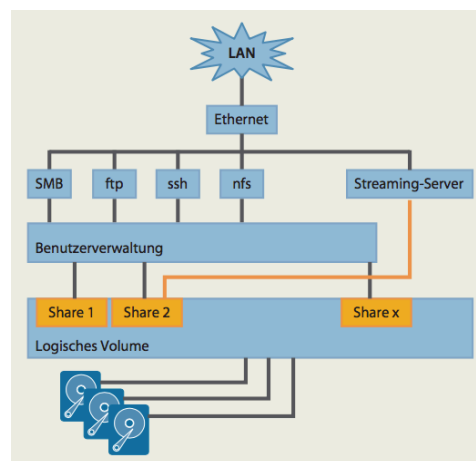


Abbildung 13: Innenleben eines NAS⁴⁵

⁴⁴ Vgl. Windeck, Christof (Hrsg.): Das kann NAS, 2015, c't Magazin, Heft 16, S. 77 ff.

⁴⁵ Windeck, Christof (Hrsg.): Das kann NAS, 2015, c't Magazin, Heft 16, S. 79

Zur Installation eines NAS, ruft man nach richtiger Verkabelung im Browser die IP Adresse des Netzwerkgerätes auf. Diese kann im Router abgefragt werden. Manche Hersteller bieten eine automatische RAID Konfiguration in Abhängigkeit der installierten Festplatten an. Beispielsweise migrieren manche Systeme bei einer Installation einer dritten Festplatte automatisch von RAID 1 auf RAID 5 und stellen somit mehr Redundanz her. Weiterhin ist oft ein Austausch gegen größere Laufwerke möglich, indem die Datenträger nacheinander ausgetauscht und migriert werden.

Über den Ausfall einer Platte informieren meistens LEDs am NAS. Da man dies je nach Aufstellungsort mehr oder weniger leicht übersehen kann, bieten manche Hersteller Benachrichtigungen per E-Mail an. Eine kompatible Ersatzplatte für ein schnelles RAID Rebuild sollte zu jeder Zeit bereitliegen. Für ein Höchstmaß an Sicherheit, sollte die Firmware eines NAS stets aktuell sein oder sich automatisch updaten. Funktionen die einen Zugriff auf das NAS über das Internet von außen zulassen, wie etwa Zugriffe über das Smartphone, sollten mit Vorsicht behandelt werden. Daten die unbedingt unterwegs benötigt werden, sollten besser cloudbasiert bei einem externen Anbieter gelagert werden um wichtige Backups und sensible Daten von alltäglichen, flüchtigen Daten zu trennen und kein Risiko einzugehen. Auch der Support und die Pflege von Apps die für den mobilen Datenzugriff benötigt werden, ist sehr unterschiedlich. Eine App die seit vielen Monaten nicht geupdatet wird, birgt Gefahren von Angreifern geknackt zu werden. Gängige Cloud Applikationen wie Dropbox, iCloud oder Google Drive sind zudem viel besser in mobile Betriebssysteme und andere Apps integriert und können somit einen viel größeren und sichereren Funktionsumfang bieten als eine private Cloud, die das NAS in dem Fall dann darstellt.

Da die Linux Firmware Versionen von Hersteller zu Hersteller variieren, bietet auch nicht jedes NAS jedes Plug In. Benötigt man spezielle Sonderfunktionen, so sollte man im Vorfeld wissen, ob das dafür nötige Plug In auch für das gekaufte Hardware Gerät zur Verfügung steht. Beispielsweise die „Hyper Backup“ Funktion, die für Online Synchronisation zweier NAS Geräte von Synology zur Verfügung steht, kann bei einem anderen Hersteller anders benannt sein, andere Funktionen haben oder eventuell in so einer Weise gar nicht zur Verfügung stehen. Hierbei ist außerdem zu beachten, dass bei der Kommunikation mehrerer Netzwerkspeicher, besser alle vom selben Hersteller stammen sollten um bestmögliche Kompatibilität sicherzustellen.⁴⁶

⁴⁶ Vgl. Windeck, Christof (Hrsg.): Das kann NAS, 2015, c't Magazin, Heft 16, S. 77 ff.

4.3 Festplatten im RAID Verbund und benötigte Kapazität

Zu Archivierungs- und Austauschzwecken soll also ein NAS eingebunden werden. Das Studio wird zwar mit WLAN ausgestattet sein, die Rechner in den Regien und das NAS sollen jedoch nicht online sein oder das NAS betreffend nicht zu jeder Zeit. Diese Entscheidung wurde auf Grund von Datensicherheit, Lizenz- und Treiberproblemen bei automatischen Windowsupdates und Virenschutz getroffen. Notwendige Downloads oder Dongle-Aktivierungen können über private Laptops passieren. Es muss also ein eigenes studiointernes Netzwerk für den Datenaustausch installiert werden. In den letzten drei bis vier Jahren wurden im bestehenden Studio rund 4 TB für Audioproduktionen benötigt. Hiervon ausgeschlossen sind Softwareinstrumente und deren Libraries oder Programme, Betriebssysteme und Plug-Ins. Diese sind pro PC auf dedizierten Laufwerken zu installieren.

Ein NAS mit 10-20 TB sollte bei einer ausreichenden Redundanz für den Anfang genügen. Der Festplattenverbund wird als RAID konfiguriert. Ein RAID erhöht die Datensicherheit oder die Performance oder beides. Das hängt von Konfigurationslevel ab.⁴⁷

RAIDs unterscheidet man in Hardware RAIDs, Software RAIDs und Host RAIDs. Ein NAS beispielsweise ist ein Hardware RAID, denn es besitzt einen eigenen Mikroprozessor welcher als RAID Controller fungiert. Er verteilt die Daten auf die installierten Platten und berechnet selbstständig die Prüfsummen. Dies ist die beste Form eines RAIDs, denn der Prozessor im PC muss keine Rechenleistung für Controller Funktionen bereitstellen. Der Zugriff auf so ein System ist für den Anwender nicht zu unterscheiden von einem Zugriff auf eine einzelne Festplatte. Ein Hardware RAID kann in der Regel alle gängigen RAID Level realisieren.

Ein Software RAID wird von spezieller Software oder dem Betriebssystem erstellt. Die CPU des Rechners übernimmt hier die Controller Aufgaben. Hier sind je nach Betriebssystem sehr wenige RAID Level möglich. Linux ist das einzige Betriebssystem was neben RAID 0 und 1 noch andere Konfigurationen nativ unterstützt.

⁴⁷ Vgl. Elektronik Kompendium (Hrsg.): RAID, <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/com/1001011.htm>, Zugriff am 20.01.2017

Als Host RAID bezeichnet man Systeme mit RAID Adaptern oder Motherboards die RAID Funktionen anbieten. Auch hier werden aufwändige Prozesse von der CPU übernommen, was diese stark belastet. Host und Software RAIDs sind billiger als richtige Hardware RAIDs, bieten aber auch geringeren Schutz vor Hardwaredefekten und verlangsamen den Rechner.⁴⁸

Die Auswahl des richtigen RAID Levels ergibt sich aus den Anforderungen. Wie viel Festplattenkapazität der installierten Einheiten soll nutzbar sein, welche Geschwindigkeit wird benötigt und wie hoch soll die Datensicherheit sein.⁴⁹

Produktmerkmal	RAID 0	RAID 1	RAID 5	RAID 6	RAID 10
Mindestanzahl an HDDs	2	2	3	4 (5 bei 3ware)	4
Datensicherheit	keine	Ausfall eines Laufwerks	Ausfall eines Laufwerks	Ausfall von zwei Laufwerken	Ausfall von einem Laufwerk pro Sub-Array
Kapazitätsausnutzung	100%	50%	67% - 94%	50% - 88%	50%
Typische Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Hochleistungsfähige Workstations • Datenprotokollierung • Echtzeitdatenverarbeitung • sich oft verändernde oder flüchtige Daten 	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebssystem • Transaktions-Datenbanken 	<ul style="list-style-type: none"> • Data-Warehousing, • Web-Serving, • Archivierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenarchiv • Backup to Disk • hochverfügbare Lösungen • Server mit hohen Kapazitätsanforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Datenbanken • Anwendungsserver

Abbildung 14: Vergleich von RAID Leveln⁵⁰

⁴⁸ Vgl. Elektronik Kompendium (Hrsg.): RAID, <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/com/1001011.htm>, Zugriff am 20.01.2017

⁴⁹ Vgl. Thomas Krenn (Hrsg.): Auswahl eines geeigneten RAID Level für bestimmte Anwendungsgebiete https://www.thomas-krenn.com/de/wiki/Auswahl_eines_geeigneten_RAID-Level_f%C3%BCr_bestimmte_Anwendungsgebiete, Zugriff am 22.02.2017

⁵⁰ Thomas Krenn (Hrsg.): Auswahl eines geeigneten RAID Level für bestimmte Anwendungsgebiete https://www.thomas-krenn.com/de/wiki/Auswahl_eines_geeigneten_RAID-Level_f%C3%BCr_bestimmte_Anwendungsgebiete, Zugriff am 22.02.2017

Neben den genannten Leveln gibt es noch das JBOD System. Dieses wird häufig fälschlicherweise als RAID Verbund betrachtet, hat damit aber nichts gemein. JBOD steht für „just a bunch of disks“ und genau so ist auch dessen Funktionsweise. Es werden zwei oder mehr Festplatten zu einem Verbund zusammengeschlossen. Die Kapazität ergibt sich aus der Summe der Einzelkapazitäten. Es gibt keine Steigerung der Performance oder Redundanz. Fällt hier eine der Festplatten aus, so ist das komplette JBOD Laufwerk defekt. Es wird hierfür kein RAID Controller benötigt.⁵¹

4.4 Direktleitung, räumliche Trennung und Redundanz

Die Redundanz innerhalb eines NAS hilft beim Ausfall einer oder mehrerer Festplatten Daten wiederherzustellen. Ist jedoch das komplette NAS in Gefahr, etwa bei Diebstahl, Stromausfällen, Überspannungen, Gebäudebrand oder anderer höherer Gewalt, so nützt das beste RAID System nichts. Eine räumliche Trennung der Datenbackups kann hingegen auch in den genannten Fällen für Datenerhalt sorgen. Geht man davon aus, dass sich in definierten Zeitabschnitten die Arbeitslaufwerke der Rechner auf das im Studio befindliche NAS spiegeln, so hat man ein relativ sicheres System bezüglich Hardwaredefekten.

Erweitert man dieses System um ein weiteres NAS, welches täglich oder wöchentlich nachts Backups des studiointernen NAS anlegt und über das Internet verbunden an einem anderen Standort steht, so ist man auch gegen weitere Einflüsse abgesichert. Auch ein versehentliches Löschen von Daten kann in gewisser Weise verhindert werden, da moderne NAS Firmwares ähnlich dem Apple „Time Machine“ Konzept, einen zeitlichen Backup Verlauf anlegen und nur veränderte Daten als neues Backup anlegen. So kann je nach Kapazität des zweiten NAS, Tage, Wochen oder Monate im Backup Verlauf zurückgegangen werden um auch gelöschte Daten wiederherzustellen.

Der NAS Hersteller Synology bietet in seiner aktuellen Firmware 6.0 eine Funktion mit dem Namen „Hyper Backup“, welche es auch ermöglicht über VPN eine Direktleitung

⁵¹ IT Wissen (Hrsg.): JBOD, <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/just-a-bunch-of-disks-JBOD-JBOD-System.html>, Zugriff am 22.02.2017

über das Internet zu einem zweiten NAS einzurichten. Auch hier können wieder Backup Zeitpläne erstellt werden und eine vollautomatische Synchronisierung eingerichtet werden.⁵²

Eine Cloud Backup Lösung, wie es sie von zahlreichen Herstellern gibt, kostet je nach benötigter Kapazität und wird meist pro GByte abgerechnet. Verglichen mit einem zeitgesteuerten zweiten NAS welches erweiterbar ist und nur nachts zu Backupzwecken laufen muss, ist diese Option auf lange Sicht sehr teuer. Entscheidet man sich nur aktuelle nicht archivierte Projekte Online zu speichern, so kann man auch über so eine Lösung nachdenken. Der Cloudanbieter Dropbox bietet 500 GB Online Speicher für 499 Euro jährlich an. Verglichen mit einer 10-20x so großen redundanten NAS Lösung, die man im Fall eines Datenverlustes als optisches Gerät sofort herbeiholen kann, ist der Onlinespeicher Preis am aktuellen Markt für so große benötigte Dateimengen noch zu groß.

⁵² Synology (Hrsg.): Software Specs, https://www.synology.com/en-global/dsm/6.0/software_spec/dsm#nas_server_backup, Zugriff am 22.02.2017

5 Schlussbetrachtung

Abschließend lässt sich sagen, dass die angestrebten Anforderungen in den neuen Räumlichkeiten zumindest in der Theorie sehr gut umsetzbar sind. Die Bedingung dafür wäre jedoch ein Komplettumbau der gemieteten Fläche, welcher im Februar 2017 starten soll. Da der Zeitpunkt der hier entstandenen Auslegung noch vor Baubeginn liegt, konnten viele Erkenntnisse gewonnen werden, die zu einer optimaleren Gestaltung des neuen Studiokomplexes und seiner Infrastruktur geführt haben. Durch die großen zur Verfügung stehenden Raumvolumina und vor allem die hohe resultierenden Deckenhöhe, können sehr geeignete Raumproportionen erzielt werden. Ein Statiker wird zum Zeitpunkt dieser Arbeit noch einmal alle relevanten Punkte wie Deckenlasten überprüfen.

Der technische Markt für Audioequipment aber auch für Netzwerkgeräte ist so groß aufgestellt, dass es für beinahe jeden Konfigurationswunsch eine Vielzahl passender Geräte gibt. Selbst spätere Erweiterungen sind dadurch sehr unproblematisch. Eine Entwicklung in noch performantere und besser erweiterbare Systeme, ist bei technischen Produkten dieser Art nicht zu bremsen. Die größte Herausforderung war es, aus der scheinbar unendlichen Anzahl von Geräten und Softwarekombinationen eine stabile und verlässliche Zusammenstellung zu finden. Diese Arbeit will keinesfalls behaupten die perfekte Konfiguration für das gewählte Szenario zu bieten. Jedes Setup hat Nachteile die allerdings nicht im Konflikt mit den zu Beginn gestellten Anforderungen stehen sollten. Vor allem hat jedes Setup Fehler und Eigenheiten die man nicht aus Datenblättern oder Herstellerbroschüren erkennen kann. Aus diesem Grund wurde das über viele Jahre erprobte System nicht ersetzt, sondern sinnvoll erweitert. Hier sind dem Autor und seinem Geschäftspartner die wichtigsten Kinderkrankheiten bekannt und es wurden bereits in der Vergangenheit Wege gefunden mit diesen umzugehen.

Gerade wenn man mit einem straffen Budget rechnen muss, ist es oft hilfreich gewesen Erfahrungsberichte in Online Foren und Social Media Gruppen zu lesen, um Fehler zu vermeiden, die sich andernfalls sicherlich durch selbst ausprobieren und Unwissenheit eingestellt hätten.

Auch die Netzwerkspeicherlösung mit einer zusätzlichen redundanten Internetdirektleitung hat sich im Rahmen dieser Arbeit als sehr praktikable Methode herausgestellt, Daten sogar im Extremfall sicher zu erhalten. Außerdem hält diese Methode Platz auf

den Arbeitsplatten der Rechner frei. Man kann nun also abgeschlossene Projekte entspannt archivieren und Platz für neue Projekte machen, da die Daten mehrfach hardware- und softwareseitig geschützt und räumlich getrennt aufbewahrt werden.

Wichtig bei der Gestaltung der eingesetzten Technik war eine möglichst mit allen Workstations kompatible Lösung. Mit einer Thunderbolt oder Firewire Schnittstelle zur Technik des Studios, ist es auch externen Tontechnikern möglich, beispielsweise mit ihrem Laptop in ihrer gewohnten Softwareumgebung in den Räumlichkeiten zur Miete zu arbeiten. Schlimmstenfalls sind hierfür ein Adapter und eine Treiberinstallation notwendig. Die Möglichkeit, durch Vermieten des Studios bei eigener Abwesenheit passives Einkommen zu erzeugen, stellt eine weitere positive Weiterentwicklung dar, welche erst durch den neu geplanten Studiokomplex möglich wird.

Die Möglichkeiten im Studiobetrieb, können durch Expansion der Räume und die technischen Erweiterungen, die im Rahmen dieser Arbeit angeführt werden, weitreichend vergrößert werden und geben dem Studioangebot völlig neue Facetten. Die Live-Aufnahme einer ganzen Band wäre im aktuell bestehenden Setup nicht denkbar gewesen. Im neuen Tonstudio sollten Aufgaben dieser Größenordnung mit Leichtigkeit umsetzbar sein.

Literaturverzeichnis

Buchquellen:

Dickreiter, Michael et.al.(2008): Handbuch der Tonstudioteknik 7. Auflage München

Görne, Thomas (2011): Tontechnik. 3., neu bearbeitete Auflage, Hamburg

Friesecke, Andreas (2014): Die Audio-Enzyklopädie (De Gruyter Reference). 2. verb. Auflage, München

Onlinequellen und Magazinquellen:

Duden (Hrsg.): <http://www.duden.de/rechtschreibung/Orchester> (Zugriff am 01.02.2017)

Bring Me The Horizon – Oli Sykes on Sempiternal vocal recordings (2013)
<https://www.youtube.com/watch?v=oPprGJeKjBc>, Zugriff am 28.01.2017

Thomann (Hrsg.): Neumann KU 100.
https://www.thomann.de/de/neumann_ku100.htm?ref=prod_rel_333356_0, Zugriff am 01.02.2017

Audio Technology (Hrsg.): Binaural Recording. <http://www.audiotechnology.com.au/wp/wp-content/uploads/2015/03/binaural-recording-575x382.jpg>, Zugriff am 08.01.2017

Neumann (Hrsg.): Kunstkopf Mikrofon KU 100.
https://www.neumann.com/?lang=de&id=current_microphones&cid=ku100_description, Zugriff am 29.01.2017

Kemper (Hrsg.): Rack Front, https://www.kemper-amps.com/images/themes/2-1/products_rack-front.jpg?v5, Zugriff am 01.02.2017

Focusrite (Hrsg.): Liquid Saffire 56, https://focusrite.de/sites/default/files/resources/image/elevatedright_0.jpg, Zugriff am 01.02.2017

- Focusrite (Hrsg.): Liquid Saffire 56 Bedienungsanleitung, <https://d3se566zfvnmhf.cloudfront.net/sites/default/files/downloads/7092/userguidels56de0.pdf>, Zugriff am 01.02.2017
- Adam (Hrsg.): Die S-Serie, <https://www.adam-audio.com/de/news/branche/s-serie/>, Zugriff am 01.02.2017
- Adam (Hrsg.): Die AX-Serie, <https://www.adam-audio.com/en/ax-series/a7x/>, Zugriff am 01.02.2017
- Apple (Hrsg.): Mac Pro, <http://www.apple.com/de/mac-pro/specs/>, Zugriff am 01.02.2017
- BeQuiet! (Hrsg.): Dark Rock Pro 3, <http://www.bequiet.com/de/cpucooler/482>, Zugriff am 01.02.2017
- Justiz-Online (Hrsg.): § 32 BauO LSA – Erster und zweiter Rettungsweg, http://www.lexsoft.de/cgi-bin/lexsoft/justizportal_nrw.cgi?xid=1538385,33, Zugriff am 25.01.2017
- DDP (Hrsg.): <http://ddpsan-deutschland.de/>, Zugriff am 03.01.2017
- VDSL Tarif-Vergleich (Hrsg.): Upload Speed, <http://www.vdsl-tarifvergleich.de/vdsl-speed/upload.html>, Zugriff am 01.02.2017
- Thomas Krenn (Hrsg.): Auswahl eines geeigneten RAID Level für bestimmte Anwendungsgebiete https://www.thomas-krenn.com/de/wiki/Auswahl_eines_geeigneten_RAID-Level_f%C3%BCr_bestimmte_Anwendungsgebiete, Zugriff am 22.02.2017
- Elektronik Kompendium (Hrsg.): RAID, <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/com/1001011.htm>, Zugriff am 20.01.2017
- IT Wissen (Hrsg.): JBOD, <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/just-a-bunch-of-disks-JBOD-JBOD-System.html>, Zugriff am 22.02.2017
- Synology (Hrsg.): Software Specs, https://www.synology.com/en-global/dsm/6.0/software_spec/dsm#nas_server_backup, Zugriff am 22.02.2017
- Windeck, Christof (Hrsg.): Das kann NAS, 2015, c't Magazin, Heft 16

Anhang 1

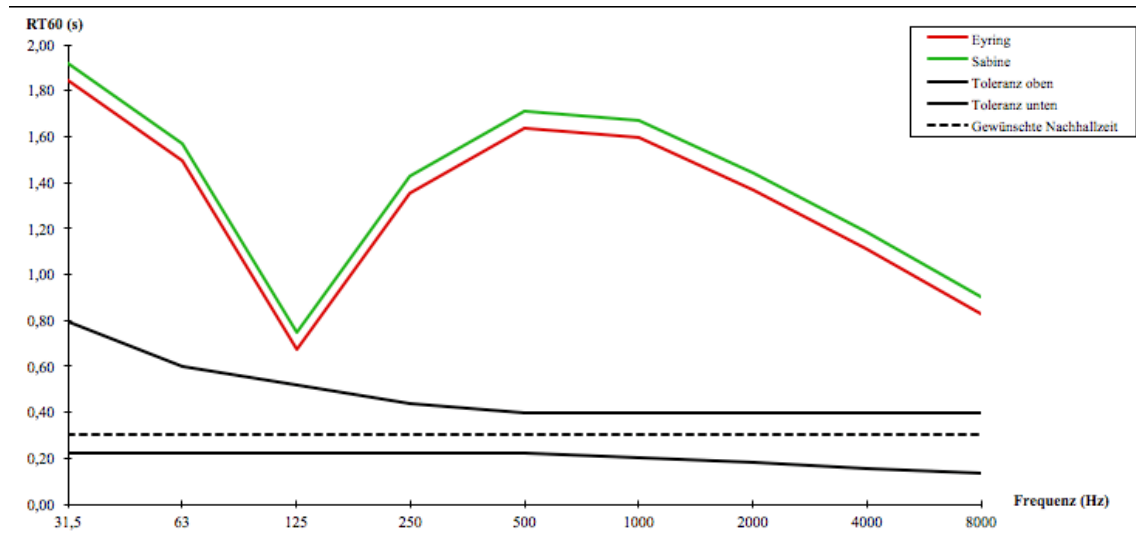
Nachhallzeit Aufnahmeraum ohne Akustikelemente

Berechnung der Nachhallzeit in Abhängigkeit der vorhandenen Materialien
OHNE Akustikelemente

Raumgrößen	
Gesamtoberfläche: S	188,95 m ²
Volumen: V	164,15 m ³

Frequenz (Hz)		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Gewünschte Nachhallzeit (s)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Gewünschte obere Grenze (s)		0,80	0,60	0,52	0,44	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Gewünschte untere Grenze (s)		0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14

Flächen										
Parkett	Absorptionsgrad	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
Fläche 1 (m ²)	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89
Decke Gipskarton	Absorptionsgrad	0,10	0,12	0,25	0,12	0,10	0,10	0,12	0,15	0,20
Fläche 2 (m ²)	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89
Glastüren und Scheibe	Absorptionsgrad	0,01	0,01	0,12	0,10	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02
Fläche 3 (m ²)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Wände aus Gipskarton	Absorptionsgrad	0,10	0,12	0,25	0,12	0,10	0,10	0,12	0,15	0,20
Fläche 4 (m ²)	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
Gesamte absorptive Fläche		13,94	17,08	35,84	18,74	15,66	16,05	18,57	22,59	29,75
Gemittelter Absorptionskoeffizient		0,07	0,09	0,19	0,10	0,08	0,08	0,10	0,12	0,16
Nachhallzeit Sabine: (s)		1,92	1,57	0,75	1,43	1,71	1,67	1,44	1,18	0,90
Nachhallzeit Eyring: (s)		1,85	1,49	0,67	1,36	1,64	1,59	1,37	1,11	0,83



Anhang 2

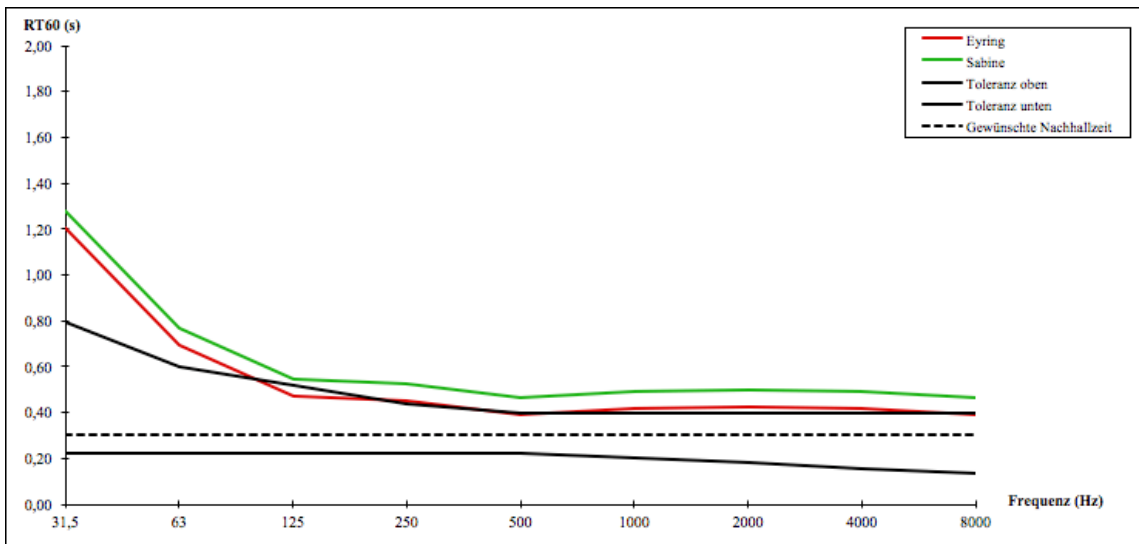
Nachhallzeit Aufnahmeraum mit Akustikelementen

Berechnung der Nachhallzeit in Abhängigkeit der vorhandenen Materialien MIT Akustikelementen

Raumgrößen	
Gesamtoberfläche: S	188,95 m ²
Volumen: V	164,15 m ³

Frequenz (Hz)		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Gewünschte Nachhallzeit (s)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Gewünschte obere Grenze (s)		0,80	0,60	0,52	0,44	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Gewünschte untere Grenze (s)		0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14

Flächen										
Parkett	Absorptionsgrad	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
Fläche 1 (m ²)	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89	46,89
Decke Gipskarton	Absorptionsgrad	0,10	0,12	0,25	0,12	0,10	0,10	0,12	0,15	0,20
Fläche 2 (m ²)	18,89	18,89	18,89	18,89	18,89	18,89	18,89	18,89	18,89	18,89
Glastüren und Scheibe	Absorptionsgrad	0,01	0,01	0,12	0,10	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02
Fläche 3 (m ²)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Wände aus Gipskarton	Absorptionsgrad	0,10	0,12	0,25	0,12	0,10	0,10	0,12	0,15	0,20
Fläche 4 (m ²)	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Bassfalle 65 cm mit Mineralwolle	Absorptionsgrad	0,70	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fläche 5 (m ²)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Schlitz-/Lochplattenschwinger	Absorptionsgrad	0,05	0,10	0,20	0,50	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05
Fläche 6 (m ²)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Deckenbreitbandabsorber 100mm	Absorptionsgrad	0,05	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00	1,00
Fläche 7 (m ²)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Helmholtzresonator	Absorptionsgrad	0,30	0,90	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fläche 8 (m ²)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10



Anhang 3

Absorptionsgrade

Frequenz (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Wandmaterialien									
Beton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Mauerwerk, glatt	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
Leichtbauwand (Gipskarton auf Metallständerw)	0,10	0,12	0,25	0,12	0,10	0,10	0,12	0,15	0,20
Fenster, Spiegel	0,01	0,01	0,12	0,10	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02
Tür (Holz, lackiert)	0,03	0,05	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Boden									
Teppichboden bis ca. 5mm	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,20	0,30	0,40	0,50
Teppichboden ab 5mm	0,02	0,02	0,03	0,06	0,10	0,30	0,50	0,60	0,70
Linoleum	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
Parkett oder Dielen festaufliegend	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
Marmorboden, Fliesen	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
Beton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Einbauten									
Dünner Vorhang	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
Schwerer Vorhang gerüsch	0,05	0,10	0,15	0,45	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00
Mineralwolle 20mm	0,01	0,02	0,05	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00
Mineralwolle 50mm	0,02	0,05	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00
Mineralwolle 100mm	0,05	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00	1,00
Mineralwolle 200mm	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
Bassfalle (650mm Mineralwolle)	0,70	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Bassfalle (650mm) mit Folie	0,70	0,80	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
Stühle									
Polsterstuhl (leer)	0,15	0,30	0,50	0,65	0,80	0,85	0,80	0,70	0,60
Polsterstuhl (besetzt)	0,20	0,40	0,60	0,75	0,90	0,95	0,95	0,85	0,80
Holzstühle /-bänke (leer)	0,03	0,07	0,15	0,20	0,22	0,40	0,35	0,30	0,28
Holzstühle /-bänke (besetzt)	0,25	0,40	0,55	0,60	0,75	0,85	0,80	0,85	0,80
Akustikmodule (Theoretische Betrachtung)									
Diffusor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plattenschwinger (125Hz)	0,20	0,50	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05	0,05	0,05
Schlitz- / Lochplattenschwinger (500Hz)	0,05	0,10	0,20	0,50	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05
Heimholztresonator (63Hz)	0,30	0,90	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Vorname Nachname