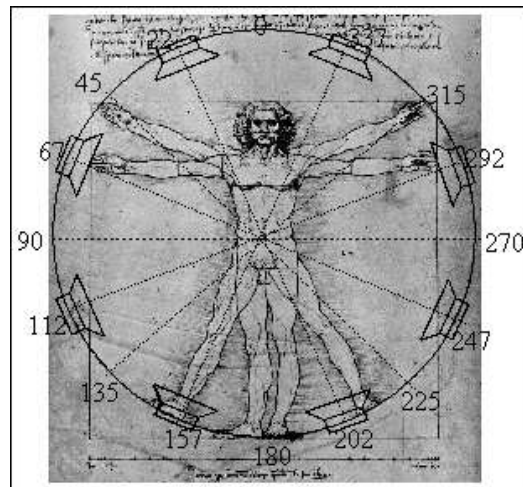


Ambience

Representation of spatial impression
through the simulation of
source image models
with five or eight loudspeakers



Thesis for the degree of mag.art.

Urban Schlemmer
Vienna, 11.03.2006

Thesis supervised by Prof. Ulrich Vette
second correction:
Dipl.Ing. Hermann Freiburger

Abstract

Enhanced representation of spatial impression and an enlarged listening area are a goal for 5.1-speaker reproduced music.

This thesis investigates how the directional reproduction of early reflexions with five or eight loudspeakers affects simulated spatial impression and the enlargement of the listening area.

A program is presented which implements a source image model. It considers the directivity of the source instruments and is implemented via discrete delays of the multitrack source material (as opposed to convolution-based implementation). Several early reflexion patterns have been applied to various pieces of music. The subjective results of this investigation are discussed. Also, for a quick demonstration, a DVD-audio has been produced.

Contents

Abstract.....	3
Introduction.....	6
Abbreviations.....	7
A. On the relevance of early reflexions for SI.....	8
I. Technical terms.....	8
II. On the perception of SI.....	11
III. Reproduction of reflexions with loudspeakers.....	13
B. Different experiments with reflexions.....	16
I. Delayed signals by use of a digital mixing console.....	16
II. Source-image-models of first order calculated	17
III. Experiments with reflexions of higher order in the 'Giardino del Suono'.....	18
IV. Discussion	20
C. Development of an algorithm to calculate source image models.....	21
I. Pre-assumptions.....	21
II. Values to be calculated.....	22
III. Theory of source image models.....	23
IV. Delimitation to auralization	28
V. Detailed description of the algorithm	29
VI. Integration into the studio-environment	41
D. Description of the demo-DVD.....	43
E. Summary	44
References.....	47
Appendix I - Documentation of the recordings	49
Appendix II - Changelog for program v.1.7.....	53
Appendix III - DVD contents and cover.....	63
Acknowledgement.....	64

Introduction

Often, the room is an essential part of the musical composition: many composers have written pieces for certain rooms. Sometimes the room has even influenced the style of the composition. However, an appropriate hall can not always be found nowadays for the performance.

Thus it is important to design the recording to fit the needs of the partitura. The sound engineer has a certain responsibility when registering and shaping music as an acoustical realisation of the score.

Listening experiments at the Institute of Electro-Acoustics (ELAK) in Vienna showed that reproducing a convincing spatial impression could be challenging.

In this thesis the stimulation of a room with musical instruments should be simulated by regarding their directivity. The directivity is strongly frequency-dependent. It shall be investigated if the reflexion-pattern created by these instruments in a room can be reproduced by loudspeakers.

In the first place reflexions are simulated by delays in a mixing console. Then a program is written by the author for calculating the early reflexion pattern. This pattern can be varied at runtime to observe the effect in subjective spatial impression.

Finally a DVD-audio is created. Several early reflexion patterns have been applied to various pieces of music to demonstrate the ability of the program to act as a mastering tool. The main purpose is to enlarge the listening area and to enhance SI as the overall sound quality of a recording is not altered by adding these reflexions.

Abbreviations

Abb.	dt.	engl.
ASW	empfundene räumliche Ausdehnung des Klangkörpers	Auditory Source Width, Apparent Source Width
DFT	Discrete Fourier Transformation	Discrete Fourier Transformation
DICC	Morimotos Messmethode der ICC	Morimoto's measure of the ICC
ER-Pattern	Erstreflexionsmuster	Early Reflexion Pattern
ESI	Räumlichkeit/Räumlichkeitseindruck	Early Spacial Impression
FFT	Fast Fourier Transformation	Fast Fourier Transformation
GUI	Grafical User Interface	Grafical User Interface
HRTF	Head Related Transfer Function	Head Related Transfer Function
IACC(Ando)	Ando's Messmethode der ICC	Interaural Cross Correlation Coefficient
IACC(ISO)	Messmethode der ICC nach ISO3382	measure of the ICC (ISO3382)
ICC	Interaurale Kreuzkorrelation	Interaural Cross Correlation
IID	Interaurale Intensitätsdifferenz	Interaural Intensity Difference
ILD	Interaurale Pegeldifferenz	Interaural Level Difference
ITD	Interaurale Laufzeitdifferenz	Interaural Time Difference
ITU		International Telecommunication Union
IR	Impulsantwort	Impulse Response
LEV	Umhüllung, die ein Hörer empfindet	Listener Envelopment
LS	Kanal hinten-links	Left Surround
RS	Kanal hinten-rechts	Right Surround
SI	Räumlichkeitseindruck	Spacial Impression
SPL	Schalldruckpegel	Sound Pressure Level
SSQ	Spiegelschallquelle	Source Image Model

A. On the relevance of early reflexions for SI

I. Technical terms

1. Definition of ESI

The German term 'Räumlichkeit' will be translated to Early Spatial Impression¹ (ESI).

The sound field in halls can be divided into two main parts: direct field and diffuse field. Lehmann [leh01] stated that the transition-time t_{gr} when it makes no longer sense to analyse discrete reflexions in a sound field - which will then be described by statistical terms - is approximately given by²:

$$t_{gr} = 2\sqrt{V} ; \tag{1.1}$$

V ... room volume in m^3
 t_{gr} ... transition time in ms

It also depends strongly on the absorption of the room. Typical transition-times are shown in table 1.

	rehearsal room	small theater	orchester studio	musik theater	Musikverein Vienna	Gasteig München	Notre Dame Paris
volume [m3]	1000	5000	9000	14000	15000	23000	30000
tH60 [s]	1.2	1.3	1.7	1.4	2.1	2.3	6.0
public	< 50	< 100	< 200	< 700	< 1500	< 2500	leer
tgr [ms]	55	120	190	170	230	300	600

Tabelle 1: Transition time [t_{gr}] of some performing spaces. tH60: reverberation time at 1kHz

The part of the sound field lying before the transition-time is referred to as direct field. ESI will be defined as every sensation caused by the direct field in this thesis. This includes perceptual representation of the geometry, absorption and magnitude of the room as well as localization, dimensions and directivity of the sound source. However, the author assumes that room-specific information is provided mainly by the ratio and attributes of ER compared to the late reverberant field. It is also well known that small rooms cause a very different sensation of ESI from big halls.

In the field of acoustics ESI is not clearly defined and the perception of ESI as a part of total SI is mostly subconscious. It is also worth mentioning that in nature ESI cannot be perceived separately.

1 SI is often described in terms of ASW and LEV. However, it is not clear what these terms exactly refer to regarding auditorial perception. Therefore correlation between these subjective terms and objective measures may be little convincing.

2 This transition time (transition period) may be of interest for the term 'envelopment'. Bradley [brad01] suggests a measure of lateral energy with a figure-of-eight microphone which may be related to the term 'envelopment'; It may be useful to define 'envelopment' dependent of the transition time, if a definition of such a highly subjective term is possible in any way. S.a. [kahl01][gold01]

2. Directional attributes of musical instruments

Meyer [meyer01] was the first to relate the directivity to musical acoustics. The works of Meyer are continued at the physikalisch-technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig, Germany. The PTB puts the directivity data of 13 instruments at disposal for this thesis. SPL was measured in a distance of 1 meter for 36×18 points in 6 octave-bands. The polar coordinates have a resolution of 10 degrees respectively.

Through directed radiation reflexions can have a significantly higher SPL as the direct sound in certain frequency bands.

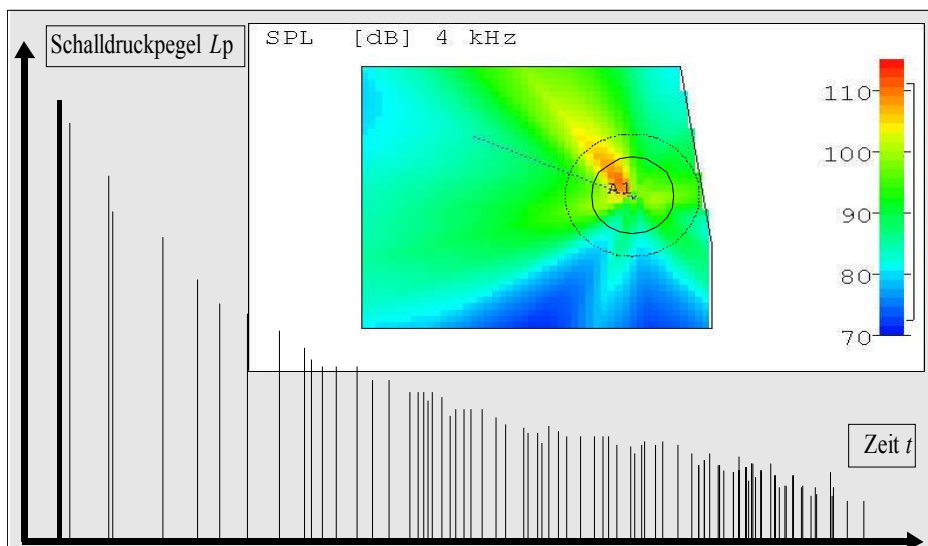


Abbildung 1: schematic impulse response (IR) and polar pattern of a flute at 4 kHz

3. Early reflexions in concert halls

Acoustics speak of a 'fingerprint' of the room referring to ER.

However, from the point of perception the decay time of the diffuse field and the level difference between the direct sound and the diffuse field may be perceptually important factors.

Both clarity C50, C80 and lateral fraction (L_f) refer to the ratio of the level of ER compared to the overall level of the sound field. This means that - generally speaking - a high level of ER is desirable in concert halls - at least if quick sequences of played tones should be recognizable for the listener. A description of these measures can be found in [fas01].

The question whether this is also true for reproduced sound fields will be investigated in this thesis.

Lateral reflexions facilitate the evaluation of distance and horizontal angle of the source and therefore support localization [blau01]. Lateral reflexions are supposed to be perceived as 'pleasant'. [blau02,p.82,fig.35],[ando02]

Beranek [bera01] finds that so called shoe-box-halls get positive remarks by the audience. This observation will be considered important for the simulation of ER in chap.C.

Compared to localization the aspects of psycho-acoustical relevance (especially the spectral attributes) of ER are poorly investigated³.

³ Griesinger investigated the psycho-acoustic relevance of ER in [grie03],[grie04],[grie05]. However, the circumstances of experiments are not described in such a manner that they can be repeated.

II. On the perception of SI

Auditory SI is often referred to as an increase or decrease of ASW. The term ASW refers to laboratory experiments. The first one to mention ASW was Helmut Haas in 1951. In his dissertation he calls it 'Eindruck von größerer räumlicher Ausdehnung' ('apparent source width'). [haas01,page 49] In most investigations the laboratory reflexion has the same or nearly the same frequency content as the direct sound. This may result in increased ASW. However, listening experiments made for this thesis show that this is not the case if the frequency response of the reflexion is different from the direct sound. In real sound fields the directivity of the source and absorption prevent the reflexions from having the same frequency response as the direct sound. It is rather a question of the source being perceived as 'enveloped by a room'. In this thesis this perceptual attribute - which is not further specified - will be called ESI.

It may be very likely that if we want to find out more about the perception of ER we have to consider that the quality changes rapidly with the quantity and therefore experiments with one or two simulated reflexions may not correlate very well with SI in real halls. Furthermore Mason [mason1] showed that the characteristics in time and frequency domain of the source material will have effects on SI.

Different auditory-brain models have been proposed. Blauert [blau02, p.63,fig.29] states that a cross-correlation mechanism exists that relates left and right ear signals in the brain as well as (frequency dependent) 'binaural level difference detection' and 'pattern detection'. New psychological investigations [gresch01,pp.77-81] show that the excitation of senses are grouped into streams. The cocktail-party effect shows that even different sounds can be grouped into different streams. Which of these streams will be more or less conscious, subconscious or even ignored (leading to no emotional response at the time of occurrence) is generally difficult to predict. If you hear your name from behind the room in the cocktail-party situation the perceptual stream assigned to background-noises will come to mind. These and other observations [gesch01,p.78] prove that unconscious or even ignored perceptual streams cannot be neglected. Therefore expert listeners who have special training in switching between these streams may not respond in the same way as the average concert hall visitor.

1. Precedence effect

Another example of perceptual grouping may be the precedence effect. Reflexions arriving shortly after the direct sound are not perceived as single 'auditory events' and the first arriving wave front is used to determine the horizontal angle of occurrence.[blau01][blau02][blau03] Even if the later arriving sound event has a higher level than the direct sound-event, the first arriving sound-event is used for localization (up to certain limiting-function). Haas has shown this for speech signals. [haas01]

Morimoto investigated the transition between the SPL where a 'disturbing echo' can be heard and the level where (desired) SI is perceived at a time of 80ms after the direct sound [mori01]. He stated that reflexions at the 'limit of the precedence effect' contribute to SI in a desirable way. The 'limit of the precedence effect' Morimoto refers to, is possibly based on investigations by Barron (1971) [barr01] as depicted in [blau02,p.82,fig.35].

Blauert showed that the precedence effect is relative. [blau03] Habituation can intensify the

precedence effect whereas 'unexpected' reflexions set it back, because these include new information about the environment.

2. Interaural Cross Correlation

As mentioned it is assumed that a crosscorrelation⁴ mechanism also exists in our brains.

An IACC value of around 0.38 seems to be judged as a good starting point for concert halls. [ando01][bera01][jecklin] There is an agreement in most if not all publications that the lower the IACC-value the higher is subjective ESI (as referred to as ASW and/or LEV in most investigations). A negative IACC-value has not been measured in concert halls.

For an survey of measurements of subjective spatial attributes please see [mason1,chap.1].

3. IACC, precedence effect and 'fluctuations'

Griesinger hypothesised 1997 that 'fluctuations' [grie01,p.6] in ITD and ILD are responsible for SI and related SI to different characteristics of the source signal. Mason [mason1,chap.2] measured these physical interferences over time in 2002.

Blauert described these fluctuations in [blau02,p.75ff].

Fluctuations in ITD are described by the IACC(t)-function in one-third-octave bands by Mason (recorded from a KEMAR head and torso simulator). Fluctuations in ILD are calculated directly from the one-third-octave-band-filtered interaural signals.

A small value of IACC is more likely produced with strong (lateral) reflexions. These would be near to the 'limit of the the precedence effect' to summing localization⁵ as depicted in [blau02,p.82]. Measured IACC of a binaural impulse response with an integration time of 0 ... 50 ms or more would also be the smaller the greater fluctuations in ILD occur.

However dependence of SI from the source-characteristics will not be predicted well with an IR-based measurement.

4 Crosscorrelation ist a mathematical definition of the similarity of two measures. With only one sound event in an anechoic environment the maximum of the IACC(t)-function tells the ITD.
S.a. <http://www.we.fh-osnabrueck.de/fbwe/vorlesung/edv2/node30.html>

5 Summing localization is a special case of the precedence effect when two sound events are perceived as one auditory event. The main question about summing localization is why (or how) measurable comb-filter effects are suppressed by the auditory brains.[thei01][blau02,p.49f]

III. Reproduction of reflexions with loudspeakers

1. On the superimposed soundfield of two, five, or eight loudspeakers

Although stereophonic microphone techniques are very well investigated, we do not know much about how SI is perceived through stereophonic technics.

Because of the precedence effect the angle of occurrence of reflexions is not evaluated by the hearing system whereas the change in IACC is - and it is dependent on the angle of occurrence. Regarding stereophonic reproduction the angle of occurrence is determined at 30/0 and 330/0 degrees. Thus the directional reproduction of ER has a certain inaccuracy. It seems to be more difficult to assign spacial attributes to a specific stereophonically reproduced sound field than it is when the sound field is reproduced with five or more speakers. One piece of circumstantial evidence for this may be that ESI can be produced by applying decaying delays every 11 ms in the left channel and every 13 ms in the right channel with stereophonic reproduction.

However, a similar technique does not work for multi-channel reproduction. There are other psycho-acoustical phenomena which help stereophonic reproduction of ESI. Blauert showed that altering specific frequency bands can cause the impression of sound-events coming from above or the rear of the listener. He called these bands 'direction-determinant' ('richtungsbestimmend'). [blau01,p.80ff] .

Panning of reflexions is out of the question because of the precedence effect. However, identical signals reproduced at the same time from the two rear channels may cause the IACC(t) to change in a comparable way as a reflexion from the rear wall would do if the head is assumed to stay in the sweet spot.

2. Hypothesis on the psycho-acoustical interaction of five or eight loudspeakers through the directional simulation of early reflexions

Some subjective preference tests concerning reflexions (e.g.[ando02]) are available and one might try to implement these results in a program for spacial enhancement.

However, this thesis tries to go a different way.

A source image model is used to predict both the SPL, temporal and directional appearance of a limited number of ER as well as the frequency spectrum. The horizontal angle of occurrence is used to map reflexions to the nearest loudspeaker available.

It is assumed that the directional simulation of early reflexions achieves an important contribution to a desired psycho-acoustical effect. 'Desired' means that the overlaying soundfield of five or eight loudspeakers re-creates certain spatial attributes of a natural soundfield that are essential for spatial hearing.

Moreover it turns out that taking advantage of the precedence effect is necessary to achieve a desired SPL for the rear channels in surround loudspeaker reproduction.

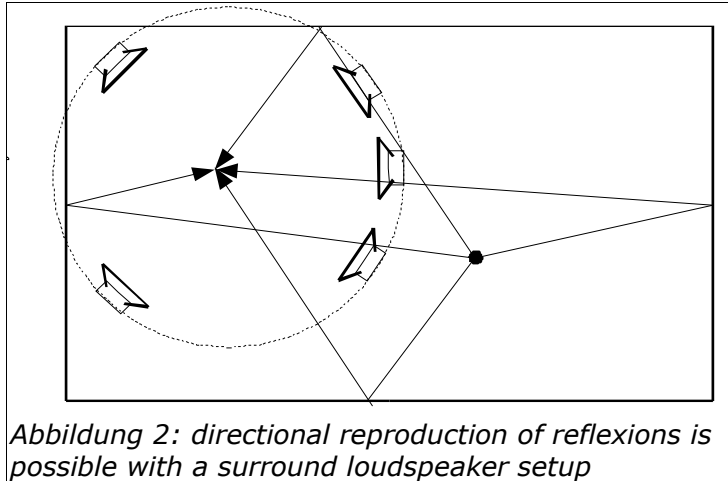


Abbildung 2: directional reproduction of reflexions is possible with a surround loudspeaker setup

The fault in the rectangular resolution may not be as great as one would presume. Assuming that 'fluctuations' (see A.II.3) are the most important factor for ESI, these changes over time may not be so far away from those measured in a concert hall. However these changes may not be similar when reproduced with two loudspeakers.

This thesis could be checked with IACC measures and measures of fluctuations like Mason does in [mason1], but these measures go beyond the purpose of this thesis. Nevertheless subjective listening tests with five students of the tonmeister-degree have been undertaken and further investigation is planned.

3. Loudspeaker-reproduction in small rooms

Loudspeaker-reproduction in small rooms cannot be neglected. On a first clue, anechoic rooms seem to be more suitable than listening rooms with a decent acoustic for this simulations. The IR of a small room is short compared to a concert hall. Eventually the convolution of these two IRs would not alter the hearing impression too much. In a bigger undumped studio satisfying results are difficult to achieve as listening tests have shown.

For this study a dumped listening room is assumed.

4. On the transmission of music

It has to be mentioned that visual and auditory SI cooperate and influence each other. McGurk has shown (McGurk-effect⁶) that auditory and visual perceptions are interacting partially as a audio-visual illusion⁷. This means that in the listening room - if we want to re-create the sensation of a concert - close elements and far elements of the soundfield can - if not should - be represented at the same time. Furthermore new investigations in the cocktailparty-effect [Cherry1] have shown, that sound from certain directions can be weighted by our brains. This

6 The McGurk-Effect may be experienced when a video of one phoneme's production is dubbed with a sound-recording of a different phoneme being spoken. Often, the perceived phoneme is a third, intermediate phoneme. [gurk01],[gras01].

7 See also [mack01,p.29]

Chapter A - On the relevance of early reflexions for SI

means that a signal can be perceived as less spacious than a microphone in the same place would record. It seems, we hear things how we want them to be heard and obviously measuring spatial attributes may be tricky.

These mechanisms do not work as well in reproduced sound (where the visual component of a concert hall is completely missing e.g.). Mackensen [mack01,p.39] states that '[...] the inability of the human hearing system always to localize and "pinpoint" a sound source, seems to be the basis of the aural sensation of *envelopment*'. If this is true reproducing well localizable auditory events and - at the same time - a feeling of envelopment would be contradictions - at least in loudspeaker-reproduced sound. Therefore, the components: direct sound, ESI and diffuse soundfield must be shaped independently by the sound engineer to re-create an illusion (comparable to the one in a concert).

Perfect reproduction of an existing soundfield is not what is asked for for a fascinating recording.

B. Different experiments with reflexions

I. Delayed signals by use of a digital mixing console

When recording classical music, reflexions are difficult to capture with microphones in such a manner that they can create ESI in a listening room. For this reason Prof. Vette experimented with delayed signals of a multitrack recording of Haydn's 'Sinfonie mit dem Paukenwirbel'.⁸ The delayed signal mainly contained the part of the first violins and was filtered so that a reflexion could be simulated. At first six reflexions were simulated as shown in figure 8a.

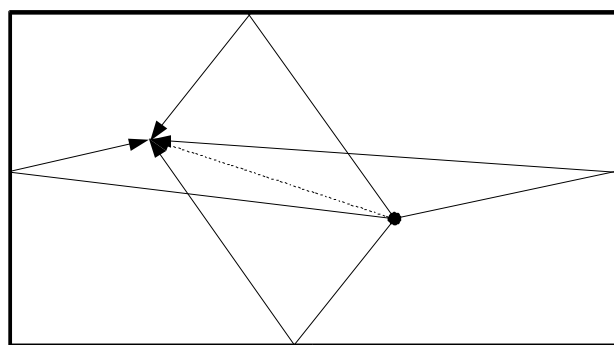


Abbildung 3a: estimation of reflexions of 1. order

	dly time	Zuordnung
(Boden)⁹	1.247 ms	Center
(Decke)	14.76 ms	LS-RS
Rechte Seitenwand	39.38 ms	RS
Linke Seitenwand	49.07 ms	LS
Rückwand	97.43 ms	LS-RS
Vorderseite	114.8 ms	Center

The result was surprising: these delays integrated the front and the rear speakers. It created a ESI that invited to relax and listen. Moreover the clarity of the recording increased. Morimoto [mori01] has similar findings.

At this point the development of a program was started. As most values could be calculated by a DSP, hopefully the depicted improvements in sound quality could be made available by automatic calculations.

⁸ Kleine Phil. Berlin, Camber Orchestra of Europe, Abbado, Tonmeister: Ulrich Vette. DG 1999

⁹ Floor- and ceiling-refelxions are depicted with a dotted line

II. Source-image-models of first order calculated

Within the first experiment with calculated delaytimes a simplified threedimensional source-image-model was used. The six values were then applied to a jazz duo with piano and saxophone which was recorded and mixed from 12 tracks by the author.

Table 2a shows the calculated values.

Reflexion	RE	LI	VO	HI	BO	DE
Zuordnung	R	L	L-R	L-R	L-R	L-R
sax [ms]	37.4	55.7	43.4	94.3	11.9	59.0
pno [ms]	54.9	60.2	51.9	11.6	16.3	71.3

Tabelle 2a: *calculated times and assignment to the loudspeakers. Panning of reflexions may be critical as summing localization may not take place because of the precedence effect. (->A. II.1)*

Although an improvement of ESI was recognizable, the desired level of the ER could not be reached because echos were perceptible. The instruments were close-miced in a medium hall.

III. Experiments with reflexions of higher order in the 'Giardino del Suono'

The echos in the preceding experiment resulted in the large timegaps between the delays. (see table 2a) To overcome this issue, a first algorithm was programmed (see chap. C), which calculated exact source-image-models of any depth (in a loop). Table 2b shows how the timegaps are closed.

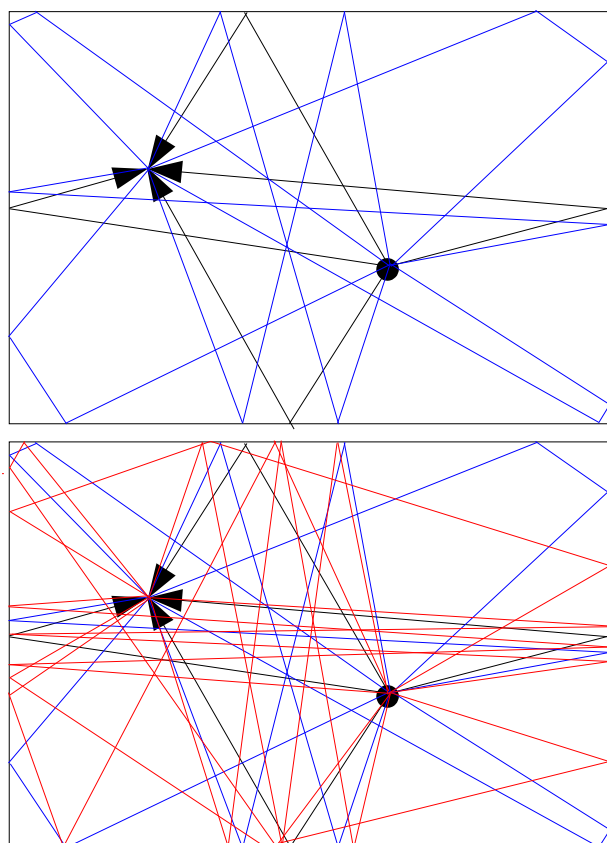


Abbildung 8b: increase of depth

	dly time	
1. Ordnung	1.247 ms	
1. Ordnung	14.76 ms	
	20.32 ms	2. Ordnung
	26.32 ms	2. Ordnung
	32.83 ms	3. Ordnung
1. Ordnung	39.38 ms	
	48.98 ms	2. Ordnung
1. Ordnung	49.07 ms	
	49.76 ms	2. Ordnung
	52.88 ms	3. Ordnung
	57.24 ms	3. Ordnung
	57.89 ms	2. Ordnung
	59.02 ms	3. Ordnung
	61.50 ms	3. Ordnung
1. Ordnung	97.43 ms	
	97.91 ms	2. Ordnung
	103.6 ms	2. Ordnung
	106.3 ms	3. Ordnung
	106.9 ms	2. Ordnung
	109.3 ms	3. Ordnung
1. Ordnung	114.8 ms	
	(...)	

Tabelle 2b: Werte 1., 2. und 3. Ordnung

The control room in the 'Giardino Del Suono'¹⁰ (created by students of Vienna) has eight loudspeakers (type MHSII¹¹) at its disposal, which can be freely positioned.

¹⁰ see <http://www.castelmur.ch>

¹¹ S. a. <http://www.mdw.ac.at/I101/iea/tm/scripts/jecklin/material/mhs2.pdf>

The ER-Pattern shown in table 2b was applied to several speaker positions:

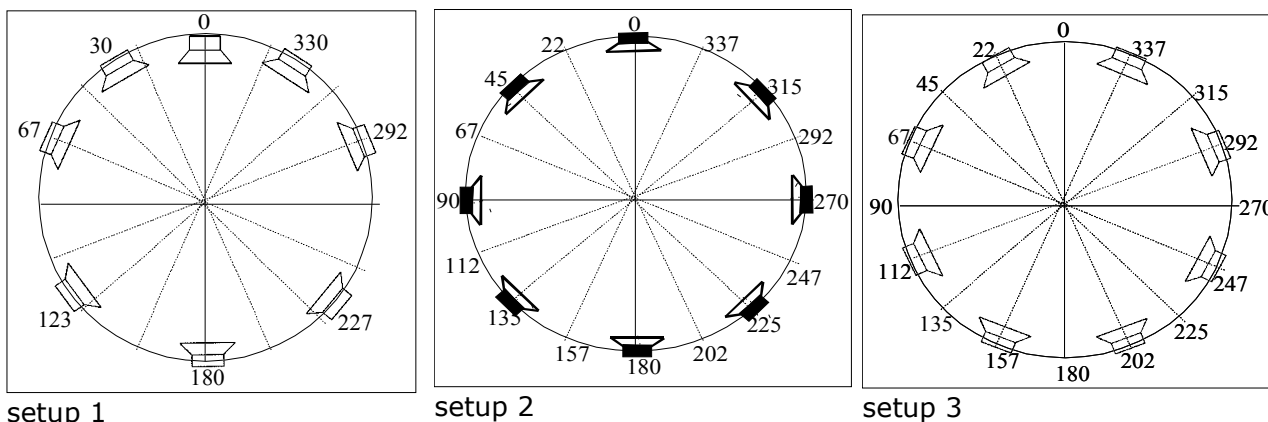


Abbildung 4: different LS-configurations in 'Giardino del Suono'. The listener looks towards 0-degrees by default.

For this test a recording of flute solo¹²(J.B. Bach, BWV 1013) was used, a mono mix from three microphones with a reverberation tail without ER. The directivity of the flute was considered and transcribed by a filterbank for each of the reflexions.

Besides the configurations shown in fig. 9, a five-speakers-ITU-setup was deployed. Setup 1 is preferred by the author. Also the speakers at 30/330 degrees can be elevated as the localization is most precise in this direction [mori02].

Disadvantages of setups 2 and 3:

- Speakers at 90/270 degrees were experienced as causing a certain 'pressure on the ears'. This corresponds to findings by Ando [ando02])
- In setup 3 the centre is missed (for solo-instruments located in this direction)
- The widely known stereo-arrangement at 30/330 degrees is missed

First impressions:

- Although the latest simulated reflexions had delaytimes of 160 ms and distances between reflexions appeared of 25 ms, no echos could be heard. This was astonishing, as in the preceding experiments with reflexions of first order echos could be heard.
- The effect is subtle and hardly conciously percieved.
- Single loudspeakers are not lokalized, even if one moves far outside the sweetspot.
- Less reverberation is needed in the mix.
- eight channels sound much better than five. Particularly speakers at the sides seem to be

¹² Studios der MDW, Birgit Herrmannseder, Flöte, Tonmeister: U. Schlemmer, 2003, Eigenverlag

important for the representation of lateral reflexions.

- The feeling of envelopment seems realistic and location-independent
- The surround-centre is important as you move around and turn around in the soundfield.
- If you turn around, the feeling to be 'misplaced' disappears. One enjoys the enlarged listening area - no need to stay in the sweetspot. You can walk around.
- It works best for one solo-instrument. Stereo-techniques can be tricky to integrate.

The most important insight is, however, that these reflexions or delayed signals are not being allowed to have the same frequency response. If none or the same filtering is used for all delays

- the image of the instrument is blurred
- SI sounds artificial
- when moving around combfilter-effects are audible. When the filterbank is activated the location of the instrument seems to focus in one place.

IV. Discussion

Although investigation of psychoacoustic questions is beyond the aim of this thesis a short assessment will be given.

As Franssen showed in 1960 after a successful localization, the recognized angle of incidence is assumed as long as a new evaluable localization-stimulus is given. This may be an explanation for the fact that localization remains stable even if one turns around 180 degrees. This requires no disturbing reflexions to occur when moving one's head. This would be the case if the ER-pattern can be assigned to a real room or if the ER-pattern has the same characteristics as in a real room. When a new localization stimulus occurs the acoustical situation in the new position is approved even if a localization is not possible due to the head being in an unfavourable position. The head movement therefore could act as a validation of the ER-pattern; in case the reflexions or delayed signals can be comprehensibly assigned to a natural room (or a remembered environment¹³), the previously occurred SI may be affirmed.

Another experience is, that with a static ER-pattern you can leave it away after a while and nothing seems to be missing. This is also because the pattern is being remembered and no new stimulus is given. Only when you move around, something is missing. This corresponds to the above, as when you move the previously stored pattern is compared to the actual situation for orientation purposes.[blau03]

Following Mackensen, spontane headmovements improve localization. [mack01] With two speakers, the evaluation of the ER-pattern may not be possible and the validation will fail. Even if we are used to it, everybody knows the feeling of being 'punished' for moving out of the sweetspot (with two speakers). In contrast to that it feels pleasant if the localization stays stable in spite of headmovements and walking around.

¹³ Mackensen mentions 'knowledge, memory and learning effects' as additional cues in localization [mack01,p.28]

C. Development of an algorithm to calculate source image models

[chapters dealing mainly with (mathematical) theory may be translated at a later time]

I. Pre-assumptions

14

From these listening experiments the following demands on the program to be developed evolve:

- The program may calculate reflexions of any order for a number of sources and listeners in a cubic room.
- The directivity of the sources should be accounted for.
- The dumping of walls should be accounted for as well as dissipation of air.
- The speaker-configuration shall not be limited by number or placement.
- Reflexions from certain directions may be muted.
- Reflexions in certain time ranges may be muted.
- The level of reflexions may be individually controllable.
- The ER-pattern may be animated. The calculations should be fast enough to move sources in realtime (e.g. by use of a joystick).

14 As convolution based realtime-algorithms need to be implemented via DFT (because of computational speed, see [pohl01]) some questions arise.

Although window functions are used time-uncertainties of the reversed DFT may be audible. In an experiment done by the author an offline-convolution algorithm was compared to a realtime-convolution algorithm [The program 'Sequoia' offers both options. 'Convolution' works offline whereas 'room simulator' works in realtime]. The results showed great differences (comparable to lossy audio compression algorithms) although, theoretically, no audible differences should occur. Therefore it was decided to implement the reproduction of the ER-pattern by the use of sampled delays and recursive filters. However, this observation needs to be investigated further.

II. Values to be calculated

Ausgangspunkt ist zunächst die Wegdifferenz zwischen dem Direktschall $\overline{P1P2}$ und der Reflexion. Aus dieser Wegdifferenz ergeben sich die beiden wichtigen Werte Verzögerungszeit und Schalldruckpegel.

Der Schalldruckpegel wird grundsätzlich frequenzabhängig betrachtet und zwar aufgeteilt in die sechs Bänder 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz.

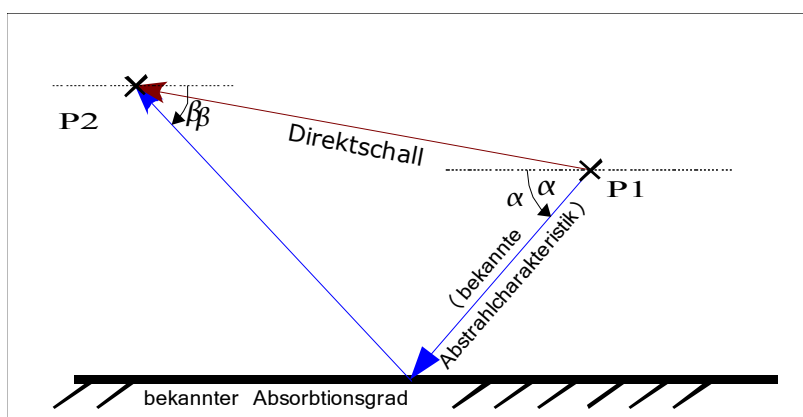


Abbildung 5

Der Ausfallswinkel α ermöglicht das Auslesen von sechs Pegelstützpunkten gemäß der Tabelle der Richtcharakteristik der Schallquelle. Diese wird von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig¹⁵ (PTB) für verschiedene Instrumente im Internet zur Verfügung gestellt. Hierbei wird die Bündelung durch die Abweichung des Schalldruckpegels im Vergleich zu einem Kugelstrahler angegeben. Für jedes der o.g. Frequenzbänder wurde diese Abweichung in 1m Abstand an 648 Punkten im Raum gemessen. Das entspricht einer Winkelauflösung von 10 Grad horizontal und vertikal.

Für den Reflexionspunkt erhält man sechs Dämpfungswerte für das vom Anwender gewählte Material der Wand. Eine EXCEL-Tabelle mit entsprechenden Schallabsorptionsgraden wird vom PTB zur Verfügung gestellt.

Die Dämpfung durch Luft wird ebenfalls in den sechs Bändern errechnet.

Addiert man in jedem der sechs Frequenzbänder die Pegelwerte der Richtcharakteristik, der Dämpfung durch Wandmaterial und der Dämpfung durch Luft, so erhält man sechs Stützpunkte einer Filterkennlinie. Diese wird durch ein digitales Filter mit 30 Koeffizienten umgesetzt. Detaillierte Eingriffsmöglichkeiten bis hin zum Filterdesign durch den Anwender sind möglich.

Der Einfallswinkel β der hier aus Blickrichtung des Hörers und in negativer Drehrichtung angetragen ist entscheidet schließlich aus welchem Lautsprecher dieser Rückwurf wiedergegeben werden soll. Die Wiedergabe einer Reflexion aus mehreren Lautsprechern ist nicht vorgesehen.

15 s. <http://www.ptb.de/de/org/1/17/173/richtchar.htm>

III. Theory of source image models

Basierend auf dem Ansatz Einfallswinkel = Ausfallswinkel kann eine Spiegelschallquelle an einem virtuellen Ort lokalisiert werden, die der Spiegelung des Schallsenders an der reflektierenden Wand entspricht.

Dabei geht man von zwei vereinfachenden Annahmen aus:

- Die reflektierende Fläche ist groß im Vergleich zur Wellenlänge.
- Eine Frequenzabhängige Streuung durch strukturierte Oberflächen findet nicht statt.

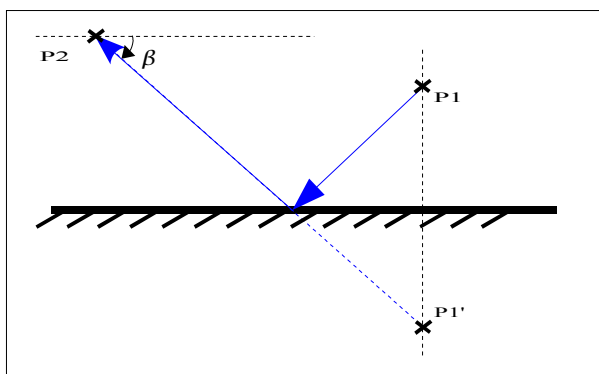


Abbildung 6: Spiegelung 1.Ordnung

P1: Schallquelle; P1': Spiegelschallquelle (SSQ); P2: Schallempfänger;

β : Einfallswinkel der Reflexion;

In Abbildung 2 ist dargestellt, wie sich die Lokalisation einer Spiegelschallquelle 1.Ordnung geometrisch erklärt.

Im Folgenden wird für die Schallquelle die Bezeichnung P1 verwendet; für die SSQ P1' und für den Schallempfänger P2. Im zweidimensionalen Raum wird der Einfallswinkel eines reflektierten Schallstrahls mit β bezeichnet; im dreidimensionalen Raum wird der Einfallswinkel horizontal (Azimuth) mit β_1 und vertikal (Elevation) mit β_2 bezeichnet¹⁶.

Spiegelschallquellen 2.Ordnung scheinen dementsprechend aus einer Richtung zu kommen, die einer 2-fachen Spiegelung des Schallsendepunktes – an je einer der reflektierenden Wände – entspricht. Bei Reflexionen höherer Ordnung werden nicht alle Teilstecken berechnet, sondern nur der resultierende Vektor. (s.a. Abbildung 10).

¹⁶ Zur Definition eines Kugelkoordinatensystems siehe (-> C.V.3.vii.a, S.35)

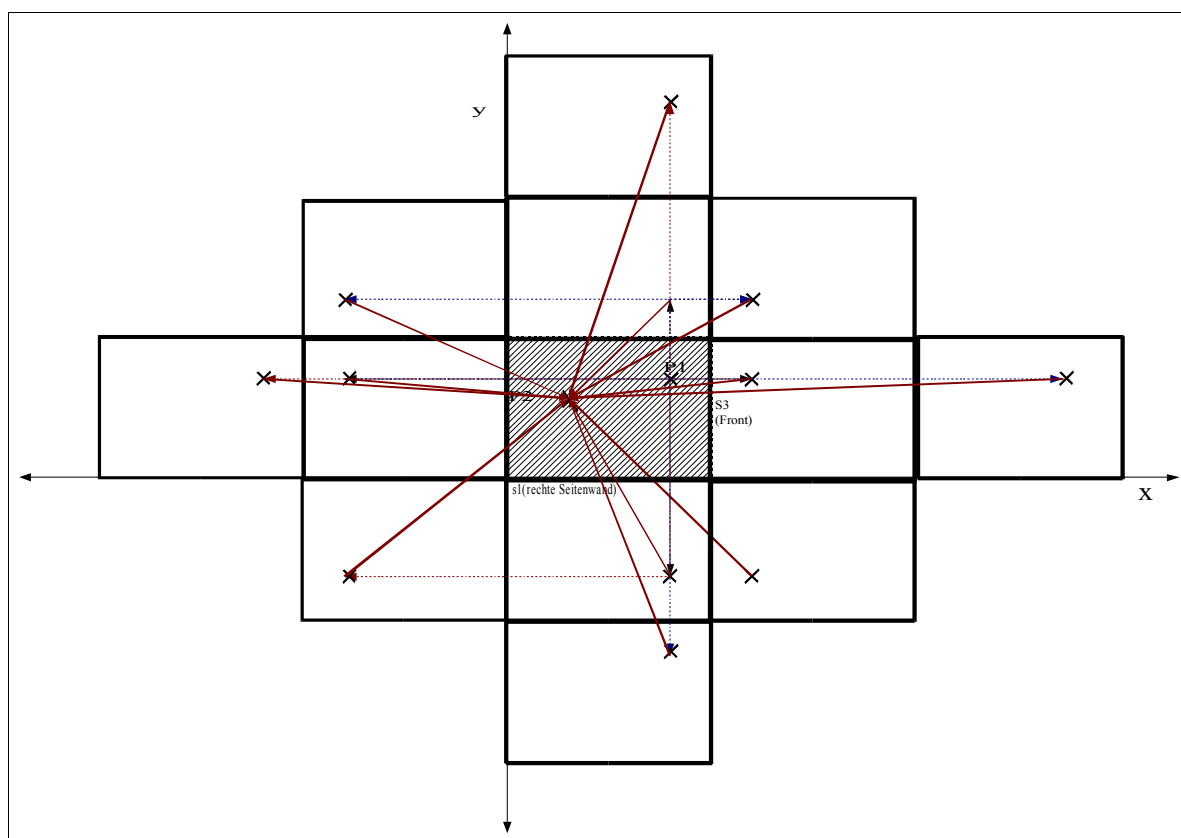


Abbildung 7: Acht Spiegelschallquellen 2. Ordnung und vier Spiegelschallquellen 1. Ordnung

1. Geometrical view

Damit ergeben sich die Werte Pegel, Verzögerungszeit und Schalleinfallswinkel β (β ist in diesem Fall negativ angetragen) direkt durch die Subtraktion des Ortsvektors des Referenzpunktes mit dem Ortsvektor der Spiegelschallquelle:

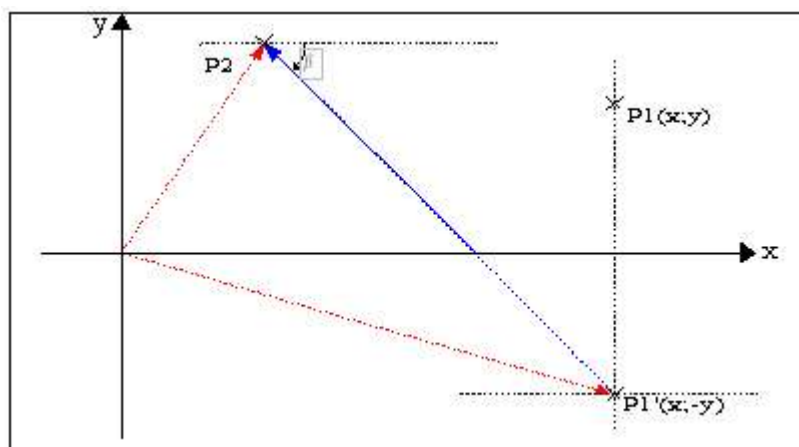


Abbildung 8: Ortsvektoren \vec{P}_2 , \vec{P}_1' und resultierender Vektor $\vec{SSQ} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1'$

2. Source image models in threedimensional space

Die Spiegelung an einer Ebene im dreidimensionalen Raum ist einfach zu beschreiben: Liegt die Spiegelfläche auf zwei Achsen des dreidimensionalen Koordinatensystems, so ist lediglich das Vorzeichen der dritten Koordinate umzukehren.

Alle Berechnungen erfolgen mittels Vektoren.

Der kubische Raum wird beschrieben durch die Koordinaten x_0, y_0, z_0 .

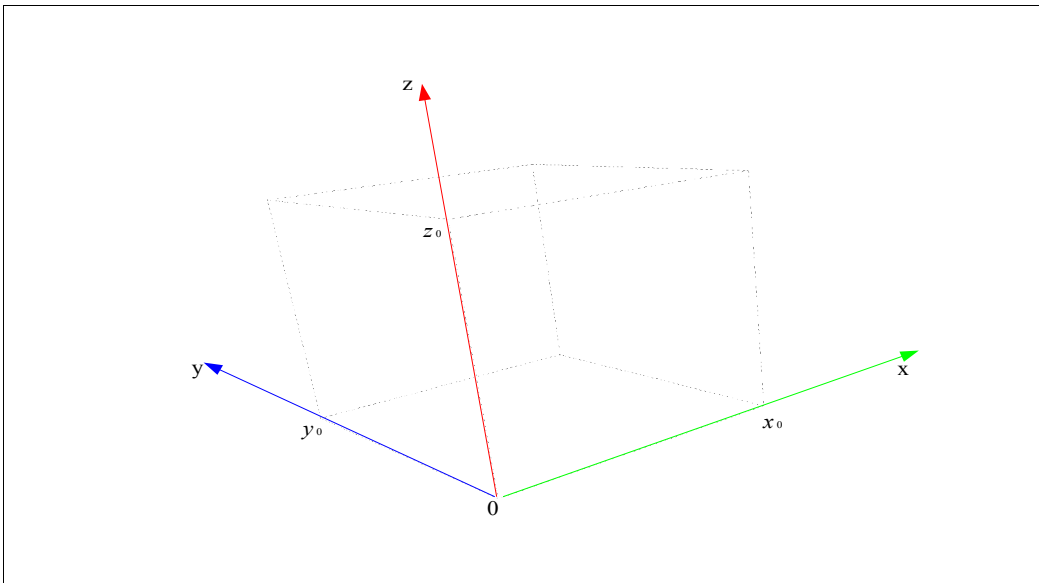


Abbildung 9: Darstellung eines Raums zur Veranschaulichung der Achsenlage

Der Boden liegt auf der Ebene $(x;y)$, die rechte Seitenwand auf der Ebene $(x;z)$ und die Rückwand auf der Ebene $(y;z)$.

$\vec{P}_1 \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$ sei der Ortsvektor einer Schallquelle und
 $\vec{P}_2 \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix}$ der Ortsvektor eines Schallempfängers.

3. Algebraische Formulierung

i) Spiegelung 1. Ordnung

Werden die Seitenwände rechts und links mit s1 und s2, Rückwand und Vorderseite mit s3 und s4, Boden und Decke mit s5 und s6 benannt und stehen alle in rechtem Winkel zueinander (Raum ist ein Quader), dann gilt:

$$\begin{aligned} \vec{P}_1 \rightarrow \vec{P}_1'(s_1) & \text{ mit den Koordinaten } \begin{pmatrix} x_1 \\ -y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} ; \\ \vec{P}_1 \rightarrow \vec{P}_1'(s_2) & \text{ mit den Koordinaten } \begin{pmatrix} x_1 \\ 2y_0 - y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} ; \\ \vec{P}_1 \rightarrow \vec{P}_1'(s_3) & \text{ mit den Koordinaten } \begin{pmatrix} -x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} ; \\ \vec{P}_1 \rightarrow \vec{P}_1'(s_4) & \text{ mit den Koordinaten } \begin{pmatrix} 2x_0 - x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} ; \\ \vec{P}_1 \rightarrow \vec{P}_1'(s_5) & \text{ mit den Koordinaten } \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -z_1 \end{pmatrix} ; \\ \vec{P}_1 \rightarrow \vec{P}_1'(s_6) & \text{ mit den Koordinaten } \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 2z_0 - z_1 \end{pmatrix} ; \end{aligned}$$

ii) Spiegelschallquellen 2. Ordnung

Jede der sechs Spiegelschallquellen 1.Ordnung kann nun ein weiteres Mal an den sechs Ebenen, die durch die Oberfläche des Quaders definiert werden gespiegelt werden. Das ergibt 36 mögliche Spiegelpunkte 2.ter Ordnung. Je eine Spiegelung führt zurück zum Ausgangspunkt; von den 30 verbleibenden fallen 12 geometrisch zusammen; so erhält man 18 Reflexionen 2.Ordnung.

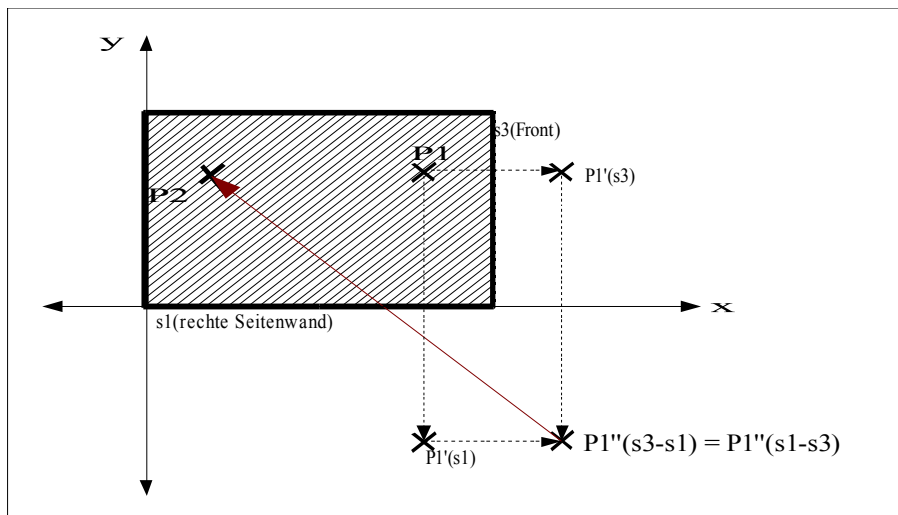


Abbildung 10: geom. zusammenfallende Punkte durch Spiegelung an rechtwinklig zueinander stehenden Wänden

$s1$: Ebene der Vorderwand; $s3$: Ebene der rechten Seitenwand;
 $P1''$: SSQ 2.Ordnung

iii) Spiegelschallquellen 3. Ordnung

Jede der 18 Spiegelschallquellen 2.Ordnung kann nun wieder an den sechs Ebenen, die durch die Oberfläche des Quaders definiert werden gespiegelt werden. Das ergibt $18 \cdot 6 = 108$ Spiegelschallquellen 3.Ordnung. Je eine Spiegelung führt wiederum zurück zu einem der 18 Ausgangspunkte; Von den 90 verbleibenden fallen 36 geometrisch zusammen. So erhält man 54 Reflexionen 3.Ordnung, von denen jedoch nur jene interessant sind, die zeitlich nicht im diffusen Schallfeld untergehen. Dies sind oftmals die acht Reflexionen an den Ecken des Quaders, die zeitlich vor den Reflexionen an Rückwand und Decke eintreffen. Besonders bei kleinen und mittelgroßen Räumen sind jedoch alle Informationen interessant.

iv) Spiegelschallquellen n-ter Ordnung

Die Anzahl der Spiegelungen N nimmt exponentiell mit der Ordnungszahl zu:

$$N = \sum 6^n ; \text{ mit der Ordnungszahl } n = 1, 2, 3, \dots$$

v) Rekursive Spiegelung

Die einzige Information die nicht durch die Spiegelung der Schallquelle erbracht werden kann ist der Schallausfallswinkel des Schallsenders. Hierzu wird der Referenzpunkt aus der Sicht der Schallquelle zurückgespiegelt. Aus dem Vektor $P2'-P1$ ergibt sich nun der gefragte Schallausfallswinkel¹⁷. (s.S.19, Abbildung 3)

17 Zur Definition eines Kugelkoordinatensystems siehe (-> C.V.3.vii.a, S.35)

IV. Delimitation to auralization

Dem ersten Anschein nach sieht es so aus, als würde hier eine simplifizierte Auralisation angestrebt. Dem ist jedoch nicht so, denn die *Auswahl* an Reflexionen und Parametern durch den Anwender soll über das Ergebnis entscheiden. Die errechneten Werte werden als Rohmaterial behandelt. Es sind auch bei weitem nicht nur realistische Einstellungen möglich.

Denn es geht um die Übertragung von Musik in eine spezielle Hörsituation, nämlich der Wiedergabe mit Lautsprechern. Die Schaffung einer Illusion ist gefragt, die ausgehend von der Partitur eine überzeugende Umsetzung darstellt.

Logik und Mathematik sollen nur der Ausgangspunkt der Überlegungen sein. Das entstehende überlagerte Schallfeld im Wiedergaberaum soll nach ästhetischen Kriterien überzeugen, nicht nach physikalischen.

Zahlreiche Beispiele zeigen, dass nicht nur physikalische Lösungsansätze – etwa intuitive – möglich sind. Der Vorgang des Hörens ist so vielschichtig, dass es viele Möglichkeiten zu einer 'akustischen Täuschung' gibt. Darüber, dass messbare Schallereignisse oftmals nicht (oder in keiner Weise) den wahrgenommen Hörereignissen entsprechen, gibt es viele Untersuchungen: Als Beispiele wären der McGurk-Effekt ebenso zu nennen wie der Franssen-Effekt oder auch der Haas-Effekt. So erklärt sich auch die Reduktion auf die kubische Raumgeometrie: Rückwürfe von kubischen Räumen scheinen für unseren Hörsinn leichter einer bestimmten Geometrie zuzuordnen zu sein, als solche aus komplexeren Räumen mit gekrümmten Flächen, Emporen, Balkonen, etc. Dies könnte auch ein Erklärungsansatz für die ähnlichen Untersuchungsergebnisse von Beranek [bera01] und Schroeder [schr01] sein.

Im Gegensatz zur Auralisation wird hier nicht der Anspruch vertreten, eine Reproduktion der akustischen Wirklichkeit zu liefern. Es geht um die Ergänzung einer bestehenden Aufnahme mit erwünschten Effekten. Das zu verhallende (oder besser zu 'verräumlichende') Signal ist zunächst unbekannt¹⁸. Daher ist darauf zu achten, dass eine möglichst breite Palette an Einstellmöglichkeiten erhalten bleibt.

Lediglich der Ausgangspunkt des vorgelegten Programms - der anschließend abstrahiert wird - ist physikalischen Ursprungs. Das vorgestellte Programm soll ein Werkzeug sein, um einer Aufnahme Rauminformationen hinzuzufügen, die bei der verwendeten Aufnahmetechnik unterrepräsentiert sind oder fehlen, aber z.B. an einem 'guten' Hörplatz in einem Konzertsaal vorhanden wären. Der Anwender ist aufgefordert ein der Aufnahme angepasstes Erstreflexionsmuster zu erstellen und ästhetisch zu gestalten.

Letztendlich geht es um die Schaffung der Illusion, nicht in einem Wohnzimmer, sondern in einem Konzertsaal zu sitzen. Dafür bieten Erkenntnisse aus Wahrnehmungspsychologie (Cocktailparty-Effekt [cher01], McGurk-Effekt) und Psychoakustik (Franssen-Effekt, Haas-Effekt) oftmals wichtigere Hinweise als die Betrachtung physikalischer Tatsachen allein.

¹⁸ Bei der Aufnahme mit Mikrofonen wird meistens Raumklang mitaufgezeichnet. Schalltote Aufnahmen aus einer bekannten Bezugsrichtung sind eher die Ausnahme.

V. Detailed description of the algorithm

MAX/MSP¹⁹ ist eine grafische Oberfläche, die es erlaubt mit vorgefertigten Modulen komplexe Algorithmen zu realisieren, ohne mit der zugrundeliegenden Programmiersprache 'C' direkt in Berührung zu kommen. MAX/MSP wurde in den 1980er Jahren am IRCAM²⁰ von Miller Puckette²¹ und anderen entwickelt und enthält bereits viele hochentwickelte Audio-Objekte ohne jedoch dem Anwender den Eingriff auf elementarster Ebene zu verwehren.

1. Konzept

Das Programm teilt sich in die Teile: User Interface, Parameterberechnung und Audio-I/O.

Ein schwieriger Teil war der Entwurf einer (grafischen) Benutzeroberfläche, denn ohne Anzeige- und Analyseinstrumente wären die komplexen Ergebnisse schwierig zu interpretieren. Das GUI (Grafical User Interface) kann mehrere Instanzen²² des Kernalgorithmus ansprechen und alle Parameter auf Wunsch abspeichern oder wiederherstellen.

Das GUI steuert die Parameterberechnung durch eine Skriptsprache. Das Hauptprogramm ist daher auch durch eine Kommandozeile bedienbar und ohne User Interface lauffähig.

Alle angezeigten Werte werden vor der Anzeige aus dem Modul 'Parameterberechnung' geholt. So ist sichergestellt, dass die angezeigten mit den gehörten Werten übereinstimmen.

Die Übergabe von Parametern an das Hauptprogramm ist zwingend an die Speicherung in der Presetliste gebunden.

Das Modul 'Core' benötigt als Basisinformation die Koordinaten des Raums, einer Schallquelle und eines Schallempfängers, um hieraus die Ortskoordinaten der Spiegelschallquellen zu errechnen.

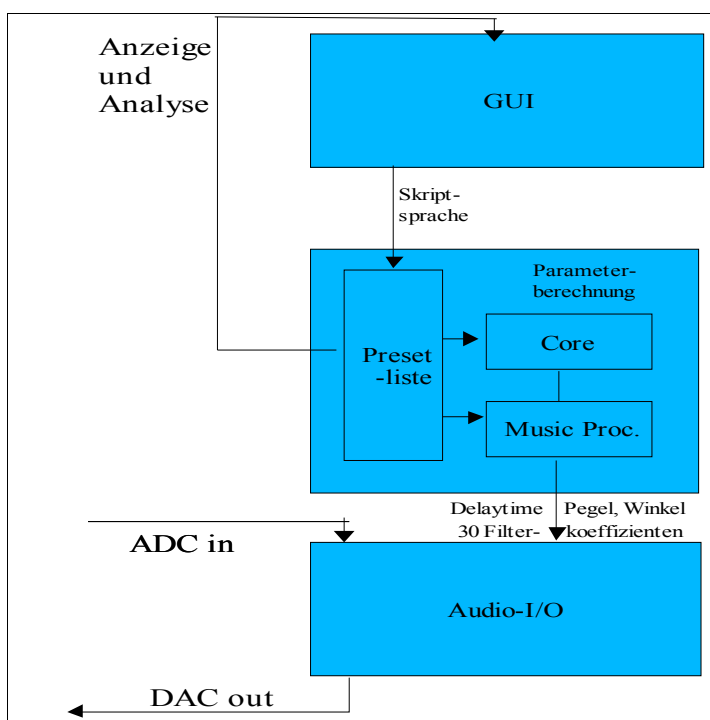


Abbildung 11: Übersicht der Hauptprogrammteile

19 <http://www.cycling74.com>

20 Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique in Paris, Frankreich, <http://www.ircam.fr>

21 Nachdem MAX/MSP von Cycling gekauft wurde, entwickelte M.Puckette die offene Plattform 'PD'. Siehe auch <http://crca.ucsd.edu/~msp/>.

22 Unter Instanz versteht man die mehrfache parallele Verarbeitung desselben Programms mit unterschiedlichen Parametern.

Chapter C - Development of an algorithm...

Diese werden im Modul 'Music Processing' weiterverarbeitet. Der Einfallswinkel wird hier ermittelt, sowie der Einfluss der Richtcharakteristik der Schallquelle. Weiters werden hier die psychoakustischen Parameter (s.u.) umgesetzt.

Das Modul Audio-I/O kommt mit sehr wenig Programmcode aus. Zur Darstellung einer Delayzelle wird nur ein Filter und ein Sampledelay benötigt. Dieser Code könnte in einer späteren Ausbaustufe auf einen DSP übertragen werden. Zur Ansteuerung werden seriell 30 Filterkoeffizienten, sowie die Delayzeit und der Pegel übertragen.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Übersicht der wichtigsten Rechenschritte:

Benutzer-eingabe (GUI)	1. Schritt (Core)	2. Schritt (Music Processing)	3. Schritt (Music Processing)	4. Schritt (Music Processing)	5. Schritt (Music Processing)
Raum, Absorptionsgrade P2	Volumen ²³ Diagonale Nachhallzeit	Übergangszeit <i>tgr</i>			Dämpfung des Schalls durch Wände
P1, Instrument	P1' (Spiegelung) History	Vektor P1'- P2 P2' (rekursive Spiegelung)	Weg, Pegel Delaytime	Einfallswinkel Dissipation Ausfallswinkel	Lautsprecheranpassung Frequenzgang in der abgestrahlten Richtung

Abbildung 12: Übersicht der Rechenschritte

P1: Schallquelle

P1': Spiegelschallquelle

P2: Schallempfänger

tgr: Übergangszeit (->A.I.1, S. 9 unten)

²³ Volumen, Diagonale, Nachhallzeit und Übergangszeit *tgr* dienen der Information des Anwenders und werden direkt im GUI gerechnet.

2. Core

Der hier als 'Core' bezeichnete Teil der Parameterberechnung liefert die Koordinaten der Ortsvektoren aller Reflexionen bis zu einer wählbaren Berechnungstiefe. Um bei mittlerer Raumgröße bis in einen Zeitbereich von 1000ms vorzustoßen werden durchschnittlich ca. 1500 Orte berechnet, von denen jedoch viele geometrisch zusammenfallen. Das ist erklärbar durch die Reduktion auf rechtwinklige Räume und stellt Beranek zufolge [bera01] keinen Nachteil dar. (->A.I.3)

'Individual Vektor' vergleicht die Ortskoordinaten und gibt - unter Bevorzugung niederer Ordnung - nur neu auftretende Spiegelschallquellen weiter.

Immer wenn die Spiegelung an allen 6 Wänden stattgefunden hat, wird der nächste Wert in einer Schleife zurückgeführt. Abbruchbedingung ist die maximale Anzahl an Wiederholungen, die der Anwender entweder direkt oder durch Vorgabe der Ordnungszahl festlegt.

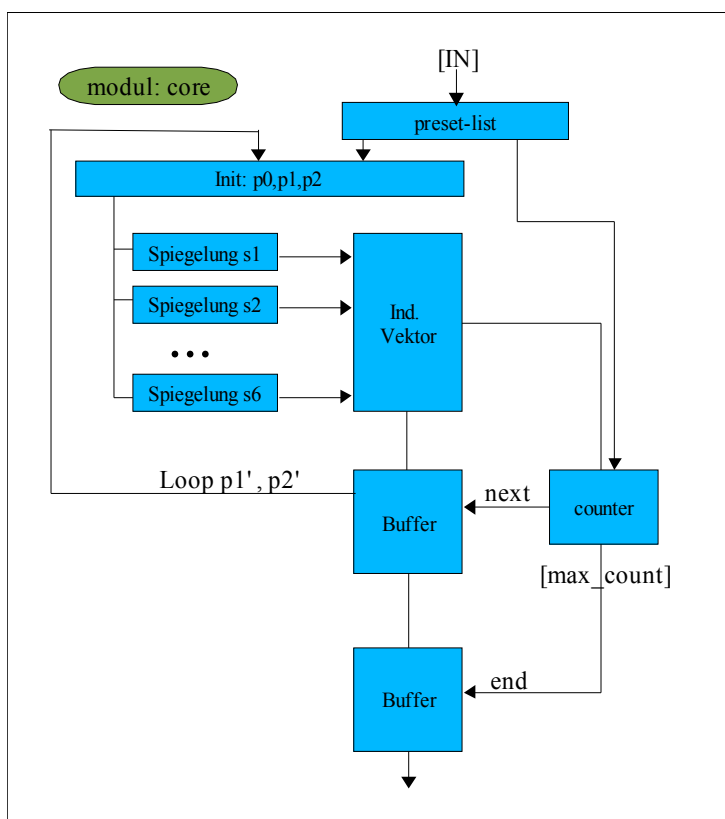


Abbildung 13: Core-Algorithmus

Ausserdem wird festgehalten, an welchen Wänden eine Reflexion stattgefunden hat. Die rekursive Spiegelung des Schallempfängers aus Sicht der Schallquelle ermöglicht mit diesen Daten die Bestimmung des Ausfallswinkels.

3. Modul Music-Processing

i) Ort-Zeit-Pegel

Zunächst werden die Ortsvektoren der Spiegelschallquellen $P1'$ und der Ausgangspunkt $P1$ zu folgenden Informationen verarbeitet:

- Vektor und Betrag des Direktschalls $P1 - P2$
- Differenz $P2 - P1'$ (Vektor der Spiegelschallquelle)

Nachdem diese Werte bekannt sind, ergibt sich der absolute Pegel der Reflexion direkt aus der Strecke die der Schall zurückgelegt hat (Betrag des Vektors $P1'-P2$). Zu berücksichtigen ist, dass auch der Direktschall einen Pegelabfall aufweist, also die Relation entscheidend ist. Die Verzögerungszeit ergibt sich aus der Wegdifferenz zwischen direktem und reflektiertem Schall.

ii) Winkelberechnung

Die Berechnung der Winkel erfordert die Umrechnung von Polar- in Kugelkoordinaten der folgenden Vektoren:

- $P2' - P1$ (Spiegelung der Hörerposition an der Reflexionsfläche zur Ermittlung des Schallausfallswinkels α , vgl. S. 19, Abbildung 3)
- $P1' - P2$ (Spiegelung der Schallquelle aus der Perspektive des Hörers für den Schalleinfallswinkels β)

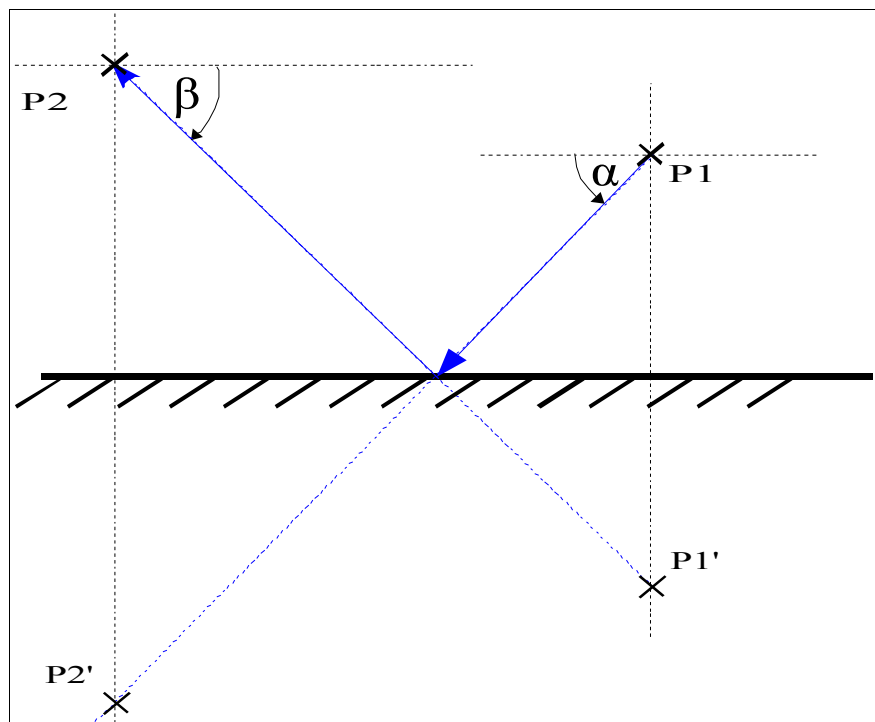


Abbildung 14: Die Spiegelung der Hörerposition $P2$ ermöglicht die Berechnung des Schallausfallswinkels α .

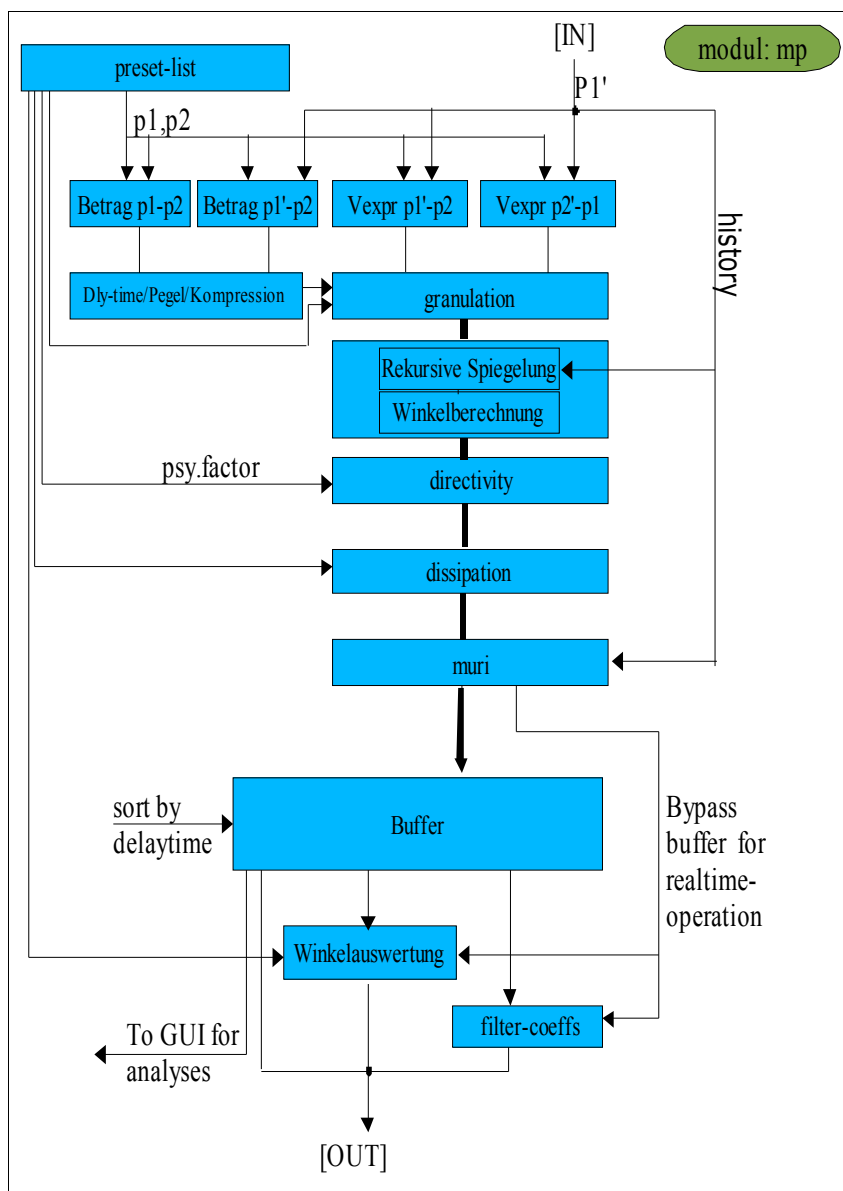


Abbildung 15: Modul 'Music processing'

Die verwendeten Daten zur Abstrahlcharakteristik verlangen

1. die Angabe eines Ausfallswinkels zwischen der z-Achse und des in die x-z-Ebene projizierten Vektors $P2' - P1$ und
2. die Angabe eines Ausfallswinkels zwischen der y-Achse und dem Vektor $P2' - P1$.

Für die Bestimmung der Ortskoordinate von $P2'$ wird die Folge der Spiegelungen von $P1'$ umgekehrt auf $P2$ angewandt. Damit ergibt sich der Schallausfallsvektor aus der 'Sicht' von $P1$.

Für die Auswertung des Einfallswinkels wird benötigt:

1. die Angabe des Winkels zwischen der y-Achse des in die x-y-Ebene projizierten Vektors $P1' - P2$ ('Spiegelschallquelle' - Hörer) für die Auswertung in der Horizontalebene und
2. die Angabe des Winkels zwischen der z-Achse und des in die x-z-Ebene projizierten Vektors $P1' - P2$ für die Auswertung in der Vertikalebene.

iii) Abstrahlcharakteristik von Instrumenten

Die Daten liegen vor im Format für CATT²⁴. Ein EXCEL-Makro konvertiert dieses Tabellenformat in eine für das MAX-Objekt 'coll' lesbare Form. Die Daten zur Richtcharakteristik sind für die Instrumente Cello, Contrabasso, Fagott, Floete, Horn, Oboe, Piano, Posaune, Singer-basso, Trompete, Tuba, Viola und Violine auf der Website des PTB Braunschweig verfügbar. Sie sind in die 6 Frequenzbereiche 125, 250, 500, 1.000, 2.000 und 4.000 Hz aufgeteilt und bieten in jedem Band 36*18 Stützpunkte eines definierten Kugelkoordinatensystems.

Wichtig ist die Kenntnis der Hauptbezugsachse; diese beschreibt die Festlegung, in welcher Raumrichtung die 0-Grad-Achse des Bezugssystems verläuft. Die Möglichkeit das gesamte Koordinatensystem vertikal und horizontal zu rotieren wurde integriert. Da jede Directivity-

²⁴ CATT ist ein Auralisationsprogramm.

Datei über Standard-Offsets verfügt, ist es möglich den virtuellen Spieler automatisch in Richtung des Zuhörers zu drehen.

Sind nun die Ausfallswinkel bekannt können die entsprechenden sechs Pegelstützpunkte aus der Tabelle ausgelesen werden. Es ist möglich über die Pegelwerte des Frequenzganges die Richtwirkung zu verstärken oder abzuschwächen.

iv) Dissipation

Die Luftdämpfung wird ebenfalls in den 6 Frequenzbändern berechnet und ist skalierbar²⁵.

v) Schallabsorptionsgrad der Reflexionsflächen

Im Modul 'Muri' ist eine Liste mit Schallabsorptionsgraden verschiedener Materialien gespeichert. Gemäß der 'History'-Auswertung wird die Dämpfung eines jeden Schallstrahls bei jeder dieser Reflexionen berechnet. Der Einfluss der Wände ist ebenfalls skalierbar.

vi) Erzeugung von Filterkoeffizienten

MAX/MSP bietet mit dem Objekt 'filtergraf~' einfache Möglichkeiten für digitales Filterdesign. Bis zu 64 Filter der allgemeinen Form $y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + a_2 x_{n-2} - b_1 y_{n-1} - b_2 y_{n-2}$ ²⁶ können kaskadiert und analysiert werden. Damit sind sehr komplexe Kennlinien möglich. Für die vorgegebene Aufgabe einer parametrischen Entzerrung in sechs Bändern werden sechs der oben beschriebenen Filter mit je 5 Koeffizienten versorgt. Anwenderseitig kann der Q-Faktor und die Trennfrequenz jedes Bandes eingestellt werden, während die Absenkung oder Anhebung in jedem Band vom Modul 'Music Processing' vorgeschlagen wird. Unter Verwendung der Befehlszeile ist sogar eine Beeinflussung jeder einzelnen Reflexion möglich. Last not least können mit der Befehlszeile Koeffizienten direkt an die Filter übergeben werden, ein für Entwickler gedachtes Feature.

25 Eine Onlineberechnung der Dissipation findet sich auf: <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-luft.htm>.

26 eine Einführung zum Thema 'recursive filters' findet sich in [dsp01][pohl01][watk01].

vii) Winkelauswertung

In diesem Teil der Berechnungen werden den Kugelkoordinaten Raumsegmente zugeordnet und diese wiederum einem Lautsprecher.

a. Definition eines kopfbezogenen Kugelkoordinatensystems

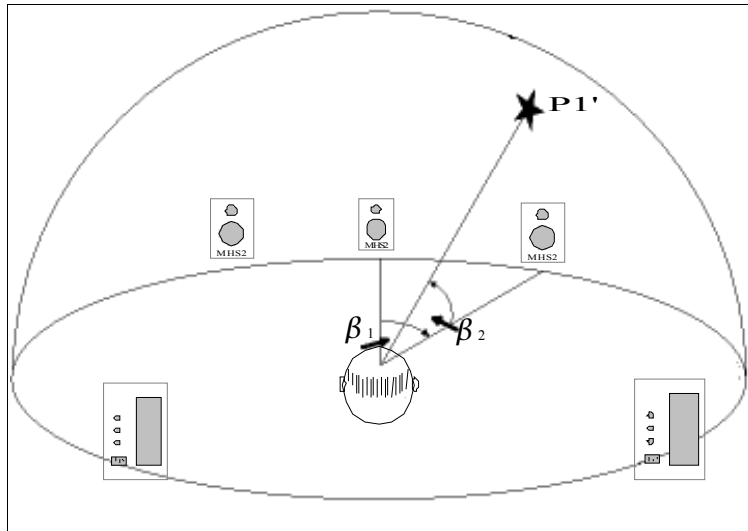


Abbildung 16: Kopfbezogenes Kugelkoordinatensystem

$P1'$: Spiegelschallquelle; $P2$: Hörer ; β_1 : Azimuth;
 β_2 :Elevation;

In Blickrichtung befindet sich die 0-Grad-Bezugsachse. Der horizontalen Winkel β_1 befindet sich zwischen der Bezugsachse und dem in die Horizontalebene projizierten Vektor $P1' - P2$. Der vertikale Winkel β_2 befindet sich zwischen dem in die Horizontalebene projizierten Vektor $P1' - P2$ und dem Vektor $P1' - P2$.

Die Angabe erfolgt in der Schreibweise Azimuth/Elevation also β_1/β_2 . Der mit dem Stern gekennzeichnete Schallstrahl hätte also ca. die Werte 330/45 Grad.

b. Zuordnung Schalleinfallswinkel -> Lautsprecher

Beim Laden einer neuen Instanz wird entschieden, wie fein das Raster der Winkelauswertung sein soll und wieviele Lautsprecher angesprochen werden. In aller Regel genügt eine der Lautsprecheranzahl entsprechende Rasterung; es sei denn bestimmte Winkelbereiche sollen ausgeblendet oder solo gehört werden.

Das Raster wird definiert durch eine Anzahl an horizontalen und vertikalen Unterteilungen. Folgende Anpassungen sind momentan verfügbar: Vertikal 1, 3 Unterteilungen, Horizontal 0, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 16 Unterteilungen. 'Null' bedeutet, dass der Winkelbereich ohne Rechenaufwand gemutet wird.

c. Selektive Wiedergabe einzelner Winkelbereiche

Einzelne Raumsegmente können stummgeschaltet werden, um z.B. nur Seitenwandreflexionen zu hören. Die Winkelauswertung ist ein Werkzeug um zu untersuchen wie Reflexionen aus bestimmten Winkeln auf unser Gehör wirken.

viii) Dichte der Verzögerungszeiten

a. Granulation

Das Modul 'Granulation' erlaubt, die Dichte der Verzögerungszeiten einzustellen. So kann beispielsweise bestimmt werden, dass statistisch alle 2.5 Millisekunden eine Reflexion auftritt. Hierbei werden Reflexionen niedrigerer Ordnung vor Reflexionen höherer Ordnung bevorzugt. Es gibt fünf Zeitbereiche, in denen die Dichte getrennt einstellbar ist.

b. Lookahead

Der Core-Algorithmus berechnet zuerst die Werte 1. Ordnung, dann 2.Ordnung, 3. Ordnung usw. aus.

Die Möglichkeit eine höhere Dichte selbst bei geringer Anzahl an Delays zu erreichen, besteht darin die Reflexionen höherer Ordnung, die später errechnet werden, aber eine niedrigere Verzögerungszeit aufweisen in der Liste aller Delays nach vorne zu kopieren. Dazu werden im Puffer die Werte nach dem Kriterium der Verzögerungszeit sortiert. Die Anzahl der zu sortierenden Reflexionen kann vom Anwender definiert werden.

4. Modul Audio I/O

Jedes zu verzögernde Signal kann mit sechs aufeinander folgenden Filtern verändert werden. (-> C.V.3.vi)

Ein Sampledelay-Modul sorgt für eine Verzögerung, ein Multiplikator für die Pegelanpassung.

Die Zahl der physikalisch ansteuerbaren Lautsprecher ist durch die Kanalanzahl des ASIO-Treibers limitiert. Um die CPU-Lastung zu minimieren gibt es Voreinstellungen für 5, 8 und 16 Kanäle.

Optimieren könnte man die Filterberechnung, indem die sechs Filtergleichungen durch ein Filter höherer Ordnung ausgedrückt werden.

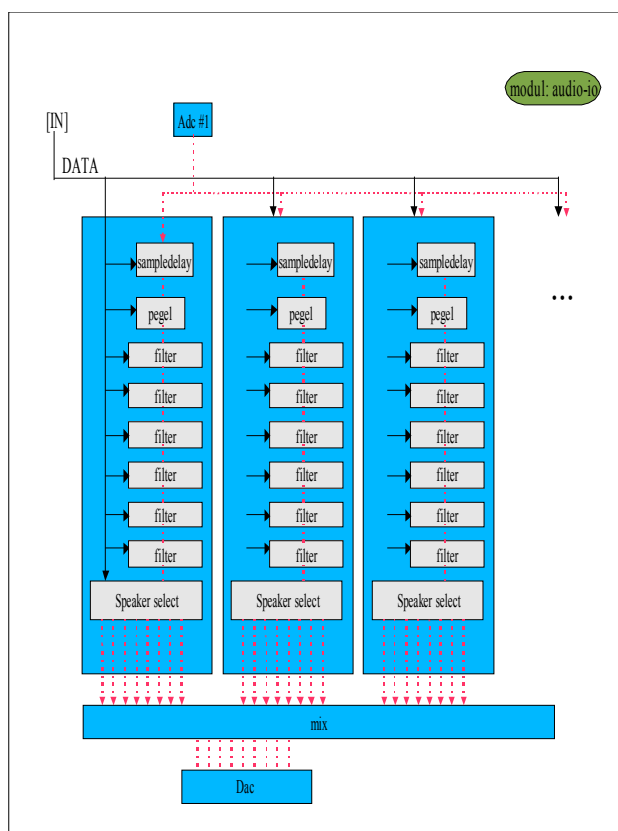


Abbildung 17: Delayzellen des Audio-I/O Moduls

5. User Interface

Das Userinterface steuert das Core-Modul, indem die Parameter in der Presetliste gespeichert werden und anschließend wieder aufgerufen werden können.

Durch die Verwendung von Schlüsselwörtern wird das Core-Modul scriptfähig. So ist die Bedienung des Core auch von einer Kommandozeile aus möglich.

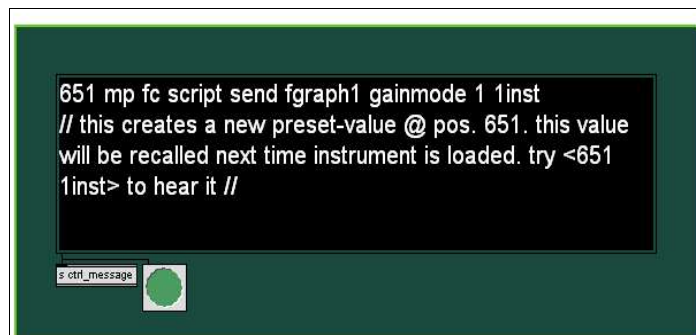


Abbildung 18: Kommandozeile

i) Input-Modul

Das Input-Modul bietet eine grafische Eingabemöglichkeit. Durch Klicken mit der Maus in einen schematisch dargestellten Raum, der zuvor in Dimension und Materialeigenschaft der Wände definiert wurde, wird die Hörposition und die Position der Quelle festgelegt. Ebenso kann die Richtcharakteristik der Schallquelle angegeben werden.

ii) Animation

Die Schallquelle kann linear oder kreisförmig bewegt werden. Die Berechnungen erfolgen hierbei in einem Zeitintervall von ca. 250 ms. Alle Parameter werden während der laufenden Audiotbearbeitung aktualisiert. Daraus resultiert ein ständig sich wandelnder ER-Pattern. In einem Artikel von Griesinger [grie01, S.2ff] wird auf die Bedeutung der dynamischen Änderung der interauralen Zeitdifferenz für die Wahrnehmung der Räumlichkeit hingewiesen.

iii) Globale Einstellungen

Das GUI kann mehrere Instanzen des Core-Algorithmus bedienen. Umgeschaltet wird mit dem Auswahlfeld 'Instrument-Select'. Darunter findet sich eine Info-Zeile, die die gerade geladenen Einstellungen anzeigt.



Abbildung 19: Auswahl der zu bedienenden Instanz

Instrumente oder auch nur einzelne Reflexionen können 'Solo' oder stumm geschaltet werden. Mute-Kombinationen werden in den Presetparametern abgelegt und beim Laden wiederhergestellt.

iv) Anzeige- und Analyseelemente

Für jedes Instrument wird der resultierende Pattern getrennt in einem Pegel-Zeit-Diagramm dargestellt. Wahlweise können auch alle Instrumente zusammen betrachtet werden.

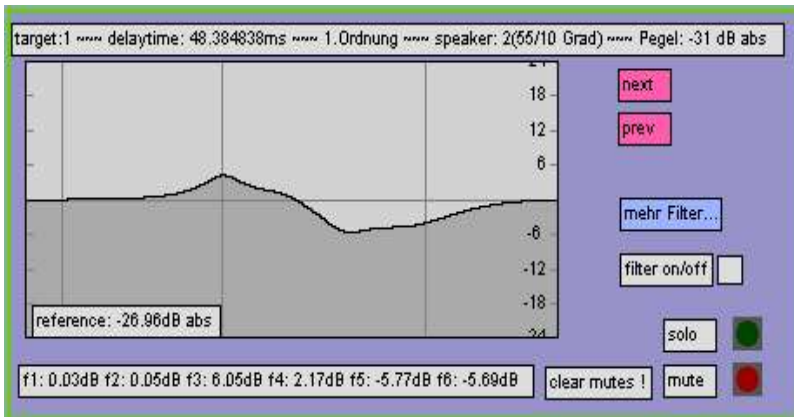


Abbildung 20: resultierende Filterkennlinie einer Reflexion. Im Beispiel beträgt der Einfallswinkel horizontal 55 Grad und vertikal 10 Grad. Dieser Bereich ist Lautsprecher 2 zugeordnet (Left Front).

Der Frequenzgang jeder einzelnen Reflexion wird in einem Filtergraf angezeigt. Die Infozeile darüber zeigt die Instanz der Delayline (S. 38, Abbildung 17), die Ordnungszahl, den Wiedergabelautsprecher, den Einfallswinkel und den Pegel in Bezug zum Eingangssignal.

Auf Wunsch lässt sich eine Winkelstatistik anzeigen, die beschreibt welcher Prozentsatz an Reflexionen aus welchem Lautsprecher wiedergegeben wird.

Die untere Zeile repräsentiert die Filtereinstellungen bei f1 125 Hz, f2 250 Hz, f3 500 Hz, f4 1000 Hz, f5 2000 Hz und f6 4000 Hz.

v) Lautsprecheranpassung

In dem Fenster 'Speakerconfig' wird die Zuordnung von Winkelbereichen zu Lautsprecherpositionen festgelegt. Die geladene Grundkonfiguration sieht eine Unterteilung sowohl in horizontale als auch vertikale Winkelbereiche vor. Wo die Trennlinie zwischen diesen Bereichen verläuft - ob nun z.B. dem Left Surround-LS ein horizontaler Bereich von 90...180 Grad oder von 75...180 Grad zugewiesen wird - kann in der Lautsprecheranpassung festgelegt werden.

Raumsegmente können stumm oder solo geschaltet werden.

vi) Load-Core Dialog

Für die Anpassung des Programms an die vorhanden Hardware ist eine Pluginstruktur vorgesehen. Diese wird beim Erstellen eines neuen Instruments geladen.

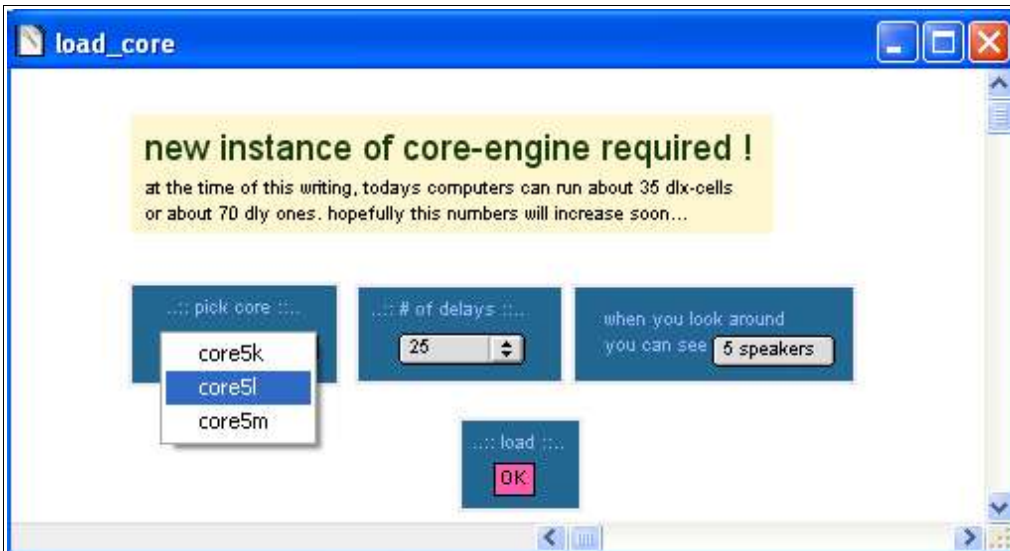


Abbildung 21: Load-Core Dialog: Der Entwickler kann sich für mehrere Kernels entscheiden. Er definiert welche Lautsprecheranpassung geladen werden soll und wieviele Delayzellen (S. 40, Abbildung 18) zu berechnen sind.

Die Anwendung des Programms wird in *Abschnitt D. 'Beispielmischungen'* dokumentiert.

VI. Integration into the studio-environment

An zwei Beispielen soll exemplarisch gezeigt werden, unter welchen Bedingungen die nachfolgenden Beispielproduktionen entstanden sind.

1. Konfiguration der DSP-Plattform

Die Scope DSP-Plattform verfügt in der momentanen Ausbaustufe über 8 Sharc-DSP's und 32 I/O's im ADAT-Format. Softwareseitig kommt ein Mischpult, 24 Delays, Filter und ein rekursiver Hallalgorithmus zum Einsatz.

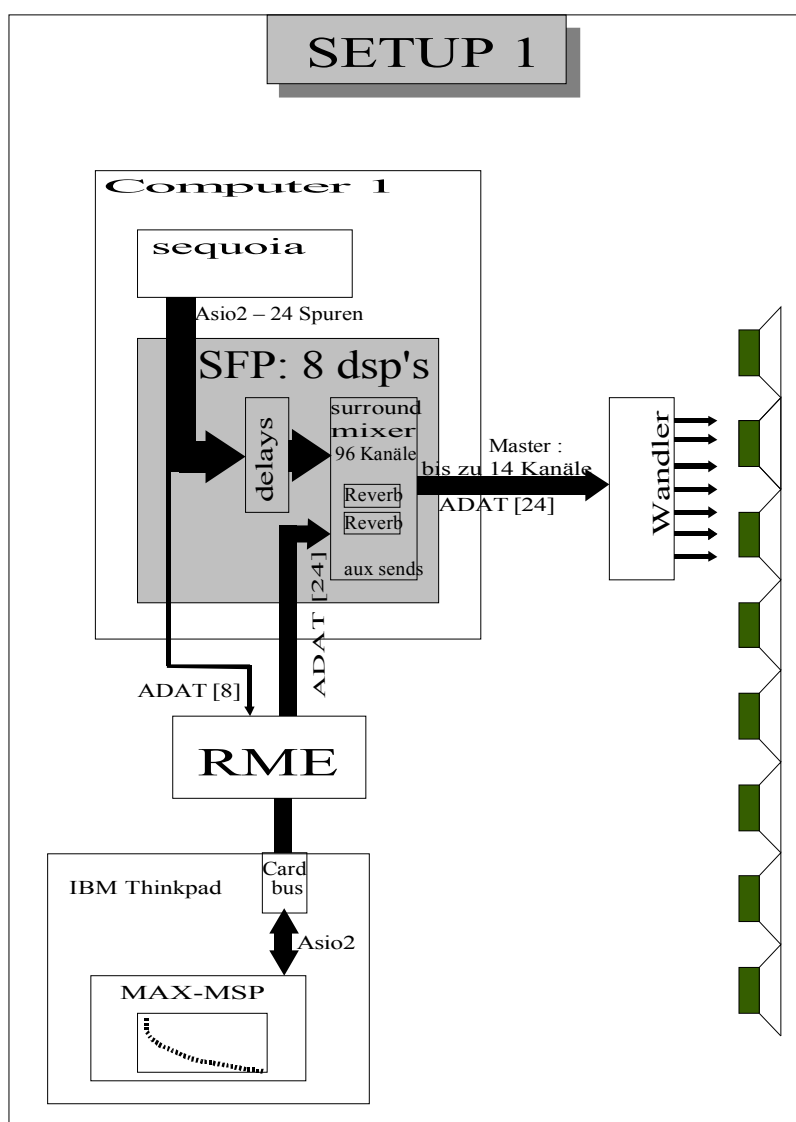


Abbildung 22:

Das HDR-Programm gibt 24 oder mehr Spuren über ASIO2-Treiber an die DSP-Plattform weiter. Diese werden zur Latenzkompensation verzögert bevor sie im internen Mixer auf 8 Busse gemischt werden.

Bis zu acht Spuren liegen unverzögert an einem ADAT-Ausgang an. Diese werden an einen zweiten Rechner - auf dem MAX/MSP läuft - durchgeschliffen.

Mit diesem Setup können selbst große Surroundmischungen mobil realisiert werden: Der 96-Kanal-Mixer auf den Creamware DSP-Karten macht es möglich.

Nimmt man den Stereobus und die 6 Auxwege mit dazu, kann auf bis zu 16 Busse gemischt werden. Zusätzlich können mehrere Halleffekte gerechnet werden.

Damit sind die Möglichkeiten jedoch nicht erschöpft. Kaskadiert man mehrere Software-Mixer kann die Anzahl der Lautsprecher auf 32 erhöht werden.

Abbildung 22

2. Latenzmessung

Ein Knackimpuls wird abgespielt. Dabei sind alle Delays auf Null gestellt. Das Signal durchläuft dann einerseits den Weg 'Computer 1 - Mischpult (Sony DMX) - Lautsprecher'.

Zweitens durchläuft das Signal folgende Kette: 'Computer 1 - Computer 2 - Mischpult (Sony DMX) - Lautsprecher'.

Nun wird die Latenz ermittelt. Diese beträgt bei Setup 3 2060 Samples.

In diesem Setup in Studio 2 des Instituts für Elektroakustik [ELAK] der Universität für Musik und darst. Kunst wurde die Möglichkeit zur Aufnahme der Mischung in den wiedergebenden Computer integriert.

Die DSP-Plattform ist Sync-Master, die beiden anderen Geräte werden über ADAT synchronisiert.

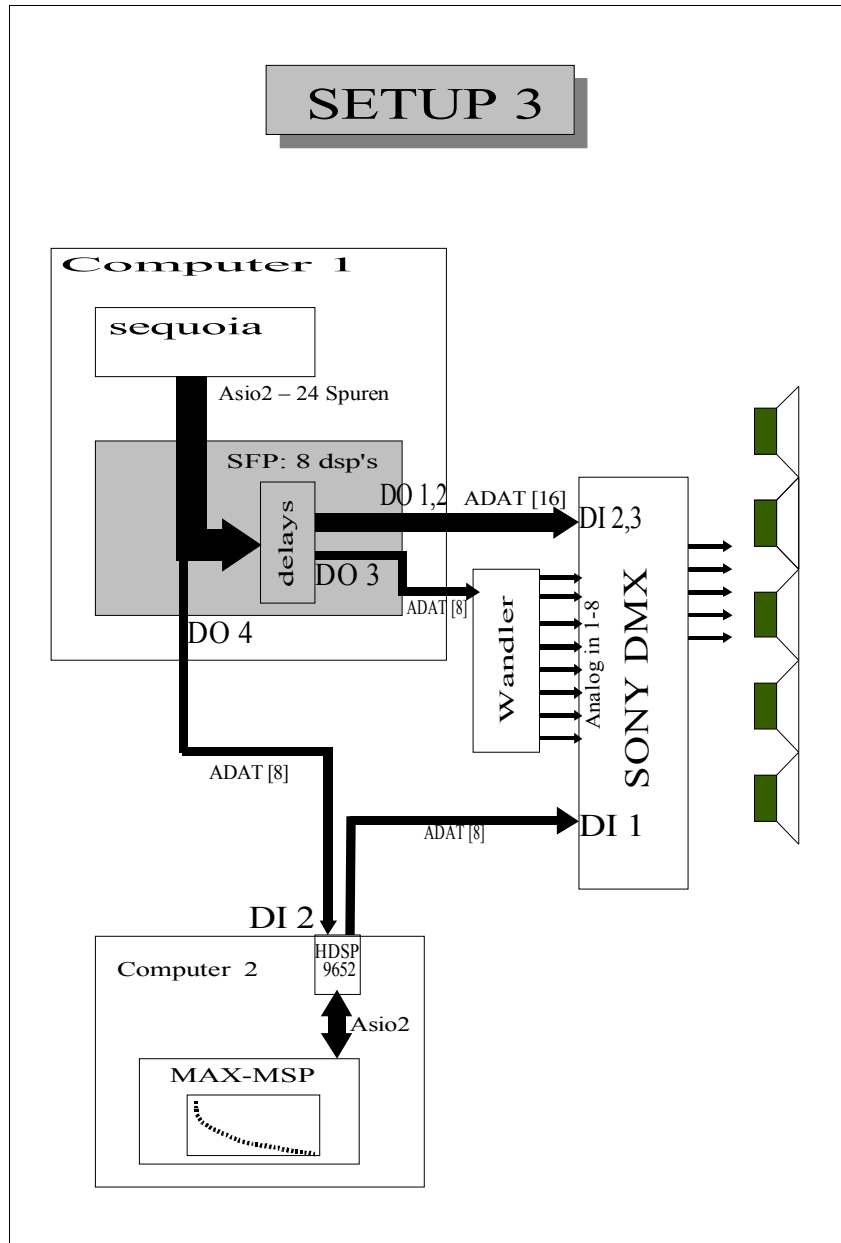


Abbildung 23: Konfiguration in Studio 2 mit Sony DMX Digitalpult

D. Description of the demo-DVD

I. Stereo ->Surround-Mastering: Miles Davis, Flamenco Scetches

In contradiction to the other examples this might be a possible practical solution. One of the reasons is that the the original 2-track remastering used consists of mono-tracks for every solist of the five-man-band.

For every instrument a different pattern was created, considering the directivity of the instrument. Two ER-pattern were applied, one for each channel. The right channel (except for Coltrains solo) consisted solely of bass frequencies. To find an acceptable pattern for Adderly was more difficult than for the others.

II. Four seasons (Vivaldi)

The problem here - as for the other recordings - was that no dry signal was available. No main-microfone was used for L/R. The ER-pattern may establish a link between the late reverberation (from the main microfone) and the direct sound.

III. Strauss, Pizzicato-Polka

This anechoic recording was used to demonstrate several different ER-patterns without late reverberation. The level of some reflexions from 120 to 600 ms have been significantly raised in tracks 10 to 13. The effect is a minimal improvement of subjective envelopment for this signal.

IV. Allegri - Miserere

There are three choires: the schola is left as is, the main choir had only lateral reflexions and the far-away-choir was recorded mono in the diffuse field. Again no dry signal was available.

V. Die Trüffelschweine - Dream In Blue

This is an electro-acoustic composition. Strong randomly filtered widely spread reflexions were used.

E. Summary

I. Subjective evaluation of the proceeding

Most of the findings in this thesis are subjective evaluations. Subsequent listening experiments may further investigate the subjective results. Nevertheless some observations may be of interest. The following refers to a 5-speaker-ITU-setup.

- With a mono recording, it seems possible to determine the location of the source as well as the position of the listener in the simulated room. It is assumed that the front/back SPL - ratio, the direct-to-reflexions-ratio and the left-right-ratio are important factors for this.
- An estimation of room size (length, width, height) may not be possible through ER alone.
- An animated pattern gives better results than a static pattern. It invites more to relaxed listening.
- Neither the manipulation of level, density or frequency have shown better results than the parameters calculated for a real room. Raising the level of some late ER gets slightly better remarks than calculated values.
- A high level of low frequencies (say 300...500 Hz) in some late reflexions (120 ... 600 ms) seem to support the feeling of envelopment. (IACC measures in this frequency band do not correspond to this perception as well as they might do in higher frequency bands).
- It seems very unlikely that echoes can be perceived in this simulated environment, even if the level of certain late (<120 ms) reflexions is altered to +10 dB compared to the direct sound. High frequency components (<3000 Hz), however, from the back can be disturbing. Impulsive signals are much more likely to be perceived as echoes.
- The directivity of instruments can be differentiated: five out of six subjects could determine, which directivity of the anechoic pizzicato polka referred to a violin (compared to piano). (track # 8/9 of the demo DVD) The localization with the wrong directivity-pattern becomes more diffuse. When a trombone-pattern is applied to a flute, there is simply the change in direct-to-reflexion-ratio which can be heard clearly. Even the expectation [mack01,p.28ff] of the listener seems to play a certain role: a flute 'needs' more ESI.
- Reflexions >50 ms can lead to colouration. However, these colourations seem to be perceived as less disturbing, if the whole pattern is played back. Maybe we can accept certain colourations if these can be perceived as belonging to a specific room.
- If a reflexion >10 ms comes from the same direction as the source (reflexion from the floor) and it has a different frequency response, it is not perceived as disturbing a priori.
- Listening to all reflexions is preferred to listening only to lateral reflexions. This means that the small changes in IACC produced by reflexions near the medial plane cannot be neglected.
- When listening to ER reflexions alone with 60 delays up to a maximum of 1000 ms, a sense of reverberation is perceived. The estimated reverberation time is longer than 1000 ms. Maybe we can draw a conclusion from Rt15 to Rt30 and from Rt30 to rt 60.
- When walking around localization in the three front-channels stays stable. The room impression is similar, too. Surround-speakers are not being solely localized up to a distance of 50 cm, even if the front/back-ratio is less than -6 dB.

Chapter E - Summary

- There seem to be 'good sounding' and 'bad sounding' places in the virtual room. Sometimes moving the virtual listener a bit (50 cm i.e.) alters the ESI dramatically.
- When adding reflexions to an existing recording, optimal results are obtained by matching the ER-pattern with the recorded room. Even for close-miced (dry recorded) instruments this may be important. Thus 'overriding' a small recording studio with a bigger acoustical environment is always difficult.
- A dry signal is better suited for being fed into the algorithm than the wet signal being usually available in a multitrack recording. Sometimes only six reflexions sound better than a more complex pattern.
- If a stereo microphone technique is used to represent the direct sound ($t=0$), adding reflexions may result in an unnatural, uncomfortable sound image. The described simulation of source image models converges the listening situation with loudspeakers to the listening situation in a real room. summing localization does not correspond to the listening situation in a real room. The author assumes that summing localization (e.g. suppressing comb filter effects) is a different task for our brain, other than concentrating on the SI caused by reflexions. The sound engineer may focus on the one or the other principle. An example of this are piano solo recordings where a stereo-technique has to stay in the foreground and reflexions must be added very carefully. This may also be a reason why stereo techniques are not easily expandable to surround formats. One solution to this incompatibility may be to delay the stereo signal compared to the first reflexion from the centre. For as little as 4 ms the listening experience is relaxed. From 16 ... 45 ms the impression of lateral reflexions increases, resulting in greater ESI without compromising the stereo-image (if the level is about +10 dB compared to the reflexions).

II. Conclusion

The simulation of source image models can be a valuable complement or extension of ESI for music recordings. Clarity and a subjective feeling of envelopment are supported.

The precedence effect is used to enlarge the listening area so that a high SPL in the rear speakers can be obtained with the localization staying stable in the front. Even when the listener advances towards the speakers the haas-effect [haas01] accounts for the sound event being localized in the front.

Eight loudspeakers greatly improve ESI compared to five. A setup for eight speakers has been suggested in chap. B.II.3. By directionally simulating reflexions a similar interference pattern is being evolved at the ear channels as in a real room. The more precise the lateral angle of the speaker corresponds to the lateral angle of the reflexion to be reproduced, the more accurate the frequency dependent interferences are evolved. With eight speakers compared to five the accuracy of angle-resolution improves about 8:5 or 60%.

Directivity of music instruments is an important factor for the perceived ESI. Auditory level of reflexions and colour differs greatly from the direct sound. The SPL of the first reflexion from the frontwall of a horn e.g. will be higher than the direct sound. This is desired and intended. The 'indirect' sound of a horn belongs to that instrument, just like a strong reflexion from the ceiling belongs to a string section. Lateral reflexions from a flute may have more high frequency components than the direct sound and therefore may sound more spacious than an oboe. [mey01] It is presumed that strong late lateral reflexions contribute to a feeling of envelopment²⁷. These strong reflexions are originating from the directivity pattern of many instruments.

III. Further development

The first impressions of the presented program raise further questions which need to be investigated further:

- How many loudspeakers are sufficient ?
- Does placing speakers in the elevated positions improve SI ?
- How is envelopment perceived and which spatial attributes should ER have in order to create a certain psycho-acoustical effect ?
- If preferred ER-patterns are found in loudspeaker reproduction, can they be applied to concert hall acoustics ?

At last, a computer program could be developed with the aim of spacial enhancement of performing spaces, loudspeaker reproduction in cars, conference halls or to act as mastering tool for music productions.

27 S. a. [mori01], S. 2, Abb.3., S. 5f und [grie03] S. 3ff.

References

- [ando01]: Ando, Y. Concert Hall Acoustics (1985) Springer-Verlag, Berlin
- [ando02]: Ando, Y. Subjective preference in relation to objective parameters of music sound fields with a single echo (1977) J. Acoust. Soc. Am., 62/1436ff
- [barr01]: Barron, M. Spatial Impression due to Early Lateral Reflections in Concert Halls (1981) J. Sound and Vibration 77/211ff
- [bera01]: Beranek, L.L., Concert and Opera Halls - How they Sound (1992) Acoustical Society of America, NY
- [blau01]: Blauert, J., Räumliches Hören (1972) Hirzel-Verlag, Stuttgart
- [blau02]: Blauert, J., Räumliches Hören - 1. Nachschrift - Neue Ergebnisse und Trends seit 1972 (1985) ditto
- [blau03]: Blauert, J., Räumliches Hören - 2. Nachschrift - Neue Ergebnisse und Trends seit 1982 (1997) ditto
- [blau04]: Blauert, J., Zur Trägheit des Richtungshörens bei Laufzeit- und Intensitätsstereophonie (1970) Acustica 23/287ff
- [blau05]: Blauert, J., On the Lag of Lateralization Caused by Interaural Time and Intensity Differences (1972) Audiology 11/265ff
- [brad01]: Bradley, J.S. and Souloudre G.A., Objective measures of Listener Envelopment (1995) J. Acoust Soc. Am. 98/2590ff
- [cherry1]: Cherry, E. C., Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. (1953) Journal of the Acoustical Society of America 25/975ff
- [dsp01]: Smith, W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, (1997) <http://www.dspguide.com/download/>
- [esse01]: Essert R. Progress in concert hall design (1997) EBU Tech. Review 1997
- [fas01]: Fasold, W. und Veres, E. Schallschutz und Raumakustik in der Praxis (1987) Verlag Bauwesen
- [frans1]: Franssen, N. Some considerations of the mechanism of direction hearing (1960) Dissertation Techn. Hochschule Delft, DK 1960
- [gold01]: Gold, M.A., Subjective evaluation of spatial impression: the importance of lateralization (1994) Proc. of the Sabine Conference, MIT, S.263f
- [gras01]: Grassegger, H., McGurk effect in German and Hungarian listeners (1995) International Congress of Phonetics Sciences Stockholm 4/210
- [gresch01]: Gresch, H.U., Unsichtbare Ketten (2003) <http://http://www.trance.psy-knowhow.de/>

- [grie01]: Griesinger, D. The psychoacoustics of apparent source width, spaceousness and envelopment in performance spaces (1997) Acta Acustica 83/721ff
- [grie02]: Griesinger, D. Binaural Measures of Spatial Impression and Running Reverberance (1992) AES Preprint 3292
- [grie03]: Griesinger, D. Recent experiences with electronic acoustical enhancement in concert halls, opera houses, and outdoor venues (2000) www.std.com/~griesingr/asa_2000.pdf
- [grie04]: Griesinger, D. Recent experiences with electronic acoustical enhancement in concert halls and opera houses (1998) ditto .../icsv.pdf S.2-9
- [grie05]: Griesinger, D. Envelopment and Small Room Acoustics (2000) AES 2000 LA ditto .../laaes2.pdf
- [gurk01]: McGurk, H. und MacDonald, J. Hearing Lips and seeing voices (1976) Nature 246/746ff s.a. Perception and Psychophysics 24/253ff
- [haas01]: Haas, H., Über den Einfluss eines Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache (1951) Dissertation, Acustica 1/49ff
- [jecklin]: Jecklin, J. Vorlesungsunterlagen musikalische Akustik (2004) <http://www.derton.at>
- [kahl01]: Kahle, E., Validation d'un modele objectif de la perception de la qualite acoustique dans un ensemble de salles de concerts et d'operas (1995) Dissertation IRCAM Paris 1995
- [leh01]: Lehmann, P. Über die Ermittlung raumakustischer Kriterien und deren Zusammenhang mit subjektiven Beurteilungen der Hörsamkeit (1976) Dissertation, TU Berlin
- [mack01]: Mackensen, P. Auditive Localization (2004) Dissertation TU Berlin 2004
- [mason1]: Mason, R. Elicitation and measurement of auditory spatial attributes in reproduced sound (2002) Dissertation Univ. of Surrey
- [mey01]: Mayer, J., Akustik und musikalische Aufführungspraxis, (1995) Hirzel Stuttgart
- [mori01]: Morimoto, M., The Relation Between Spatial Impression And The Precedence Effect (1995) 15th ICA Norway 1995
- [mori02]: Morimoto, M., Iida, K., and Sakagami, K. The role of reflections from behind the listener in spatial impression (2001) Applied Acoustics 62/109ff
- [pohl01]: Pohlman, K.C. Principles Of Digital Audio (2000) MIT Univ.Press
- [schr01]: Schröder, M.R., Gottlieb, D. und Siebrasse, K.F. Comparative study of european concert halls (1974) J. Acoustic Soc. Am. 56/1195ff
- [thei01]: Theile, J., Über die Lokalisation im Überlagerten Schallfeld (1976) Dissertation TU Berlin 1976
- [watk01]: Watkinson, J. The Art of Digital Audio (1998) MIT Univ.Press

Appendix I - *Documentation of the recordings*

ad. D.I:

Miles Davis: Kind of Blue, 1959, Columbia-Records. CD-Remastering: Michael Cuscuna 1997

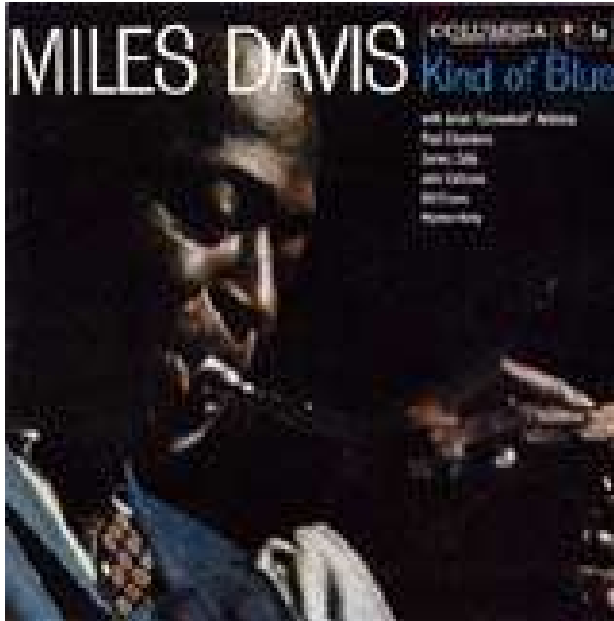


Abbildung 24

mit

Julian 'Cannonball' Adderly - Alto Saxophone

Paul Chambers - Bass

James Cobb - Drums

John Coltrain - Tenor Saxophone

Bill Evans - Piano (#1,#3,#4,#5)

Wynton Kelly - Piano (#2)

Appendix I - Documentation of the recordings

ad. D.II Vivaldi - Vier Jahreszeiten - recording engineer: N.N.

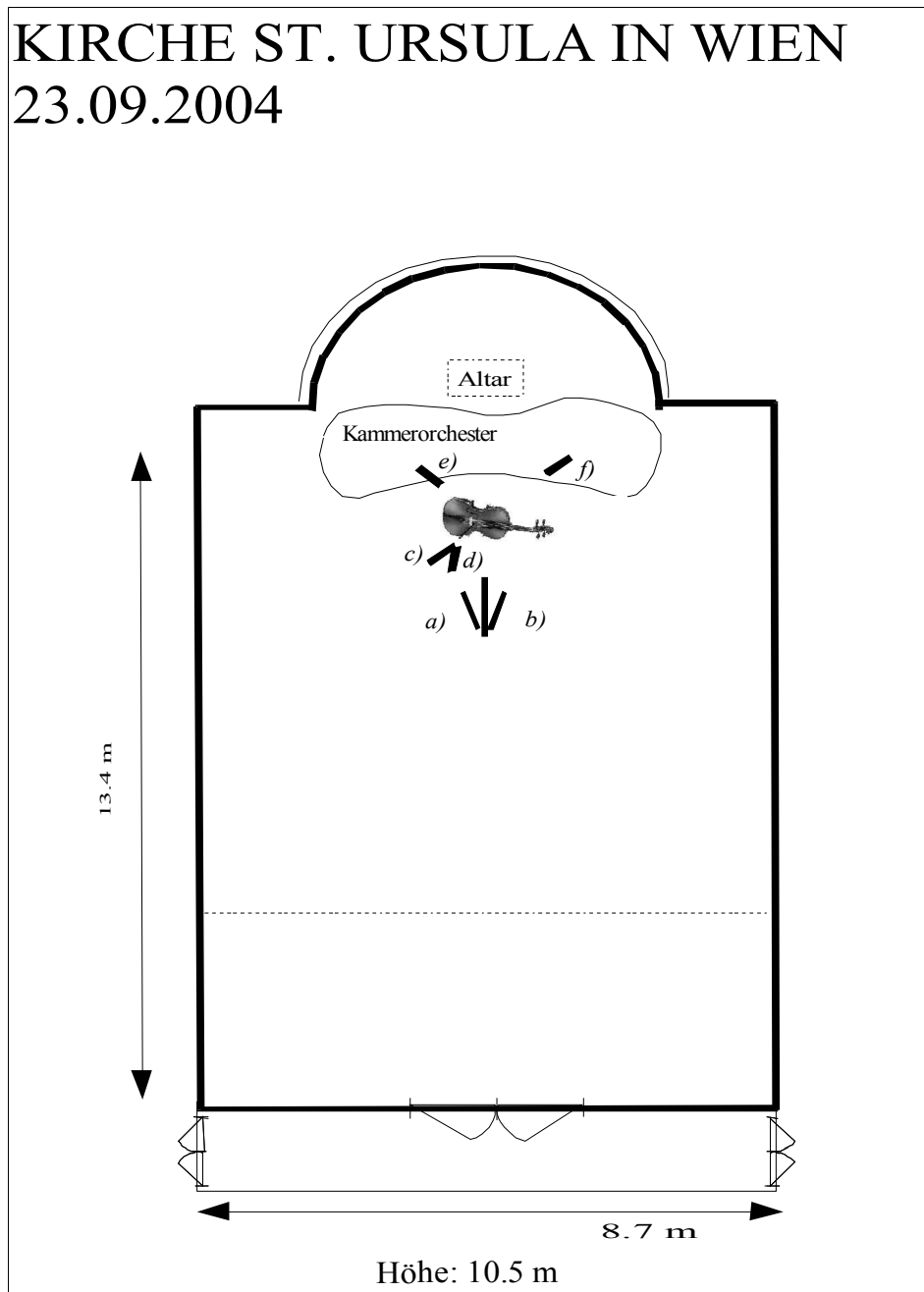


Abbildung 25:

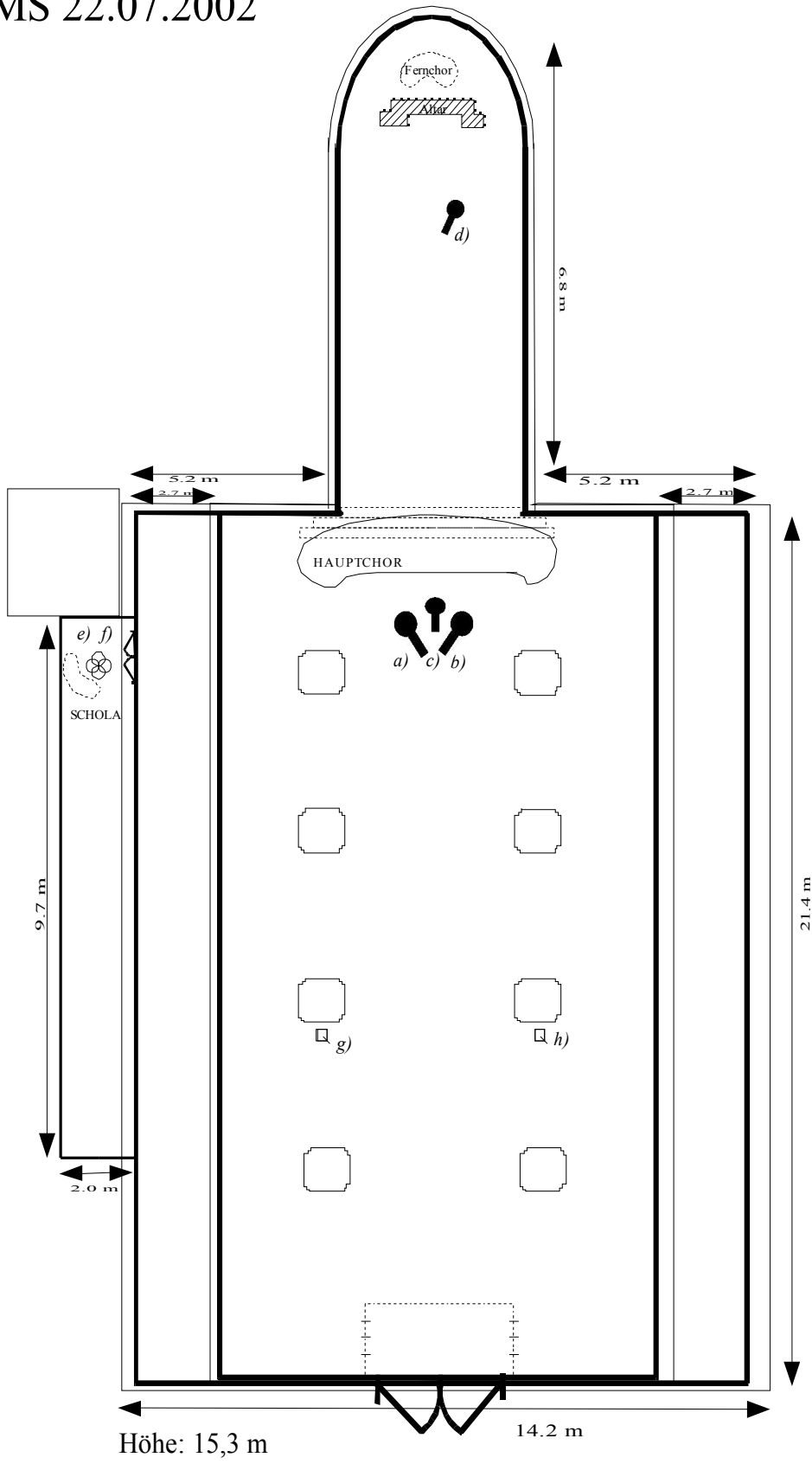
- a) dpa 4006
- b) ditto (Jecklin-Scheibe)
- c) Neumann KM140
- d) ditto
- e) ditto
- f) ditto

Appendix I - *Documentation of the recordings*

ad D. III: *Anechoic recording from the Dennon CD*

ad D. V: *Die Trüffelschweine - R. Bruzek, piano + processing,
U. Schlemmer - saxophone & surr.mastering*

DOMINIKANERKIRCHE
KREMS 22.07.2002



ad E.IV

Allegri - Miserere

Abbildung 26:

- a) Neumann KM140
- b) ditto (ORTF)
- c) dpa 4006
- d) U87(Niere)
- e) Audio Technika Acht
- f) ditto (Blümlein)
- h) Schöps BLM
- i) ditto

Tonmeister:

Wuppie Mohaupt &
Urban Schlemmer

Appendix II - Changelog for program v.1.7

Version 0.1

=====

12/04/2005

- *basicmath.mbx*: mathematische Umformungen und Raumakustik-Berechnungen
- *filterdesign.mbx*: Testhören der MAX-Filter

19/04/2005

- *qubic.mbx*: näherungsweise Berechnung Reflexionen 1.Ordnung in kubischen Räumen (Hier Berechnete Werte werden in der Produktion Swantje/Barbara 04/2005 eingesetzt)
- *table1.mbx*: Versuch einer grafischen Eingabe mit table-Objekt
- *hallll.mbx*: einfachster Hallalgorithmus bestehend aus einer Delayline und zwei Allpassfiltern
- *audio-io.mbx*: Delaymatrix für 6x8 Delayzellen

Version 0.2

=====

14/05/2005

- *input_mudule_new2.mbx*: erlaubt grafische Eingabe mittels function-Objekt
- *delayline2.pat*: delayzelle zur Einbindung in das poly~-Objekt

02/06/2005

- Gliederung in 3 Module: Input (GUI), Berechnung, Audio-Output
- *input_mudule_new5.mbx*: überträgt automatisch Daten an Delayberechnung, beliebige Anzahl von Schallquellen /Schallempfängern können eingegeben werden.

11/06/2005

- *delayz-in-echtzeit!!!.mbx*: implementiere echte dreidimensionale Spiegelschallquellentheorie.

Diese werden in einem Loop berechnet der beliebige Berechnungstiefe, sowie beliebige Anzahl schallquellen/Schallempfänger erlaubt. Besonderheit: Bewegungen im Raum sind dank Echtzeitaktualisierung möglich! Bei jeder Spiegelung können die Wandeigenschaften als Filterkoeffizienten mitgespeichert werden. Durch virtuelle Drehung des Raumes werden keine redundanten Raumpunkte erfasst. größter Nachteil: bei dieser Methode geht die Information über den Schallausfallswinkel verloren!

- *filterdesign003.mbx*: sechs kaskadierte biquad~IIR-Filter mit grafischer Einstellmöglichkeit für die Delayzelle
- *winkel3.mbx*: gibt den Winkel eines Vektors im Gradmaß (0...360) an

14/07/2005

- *audio-io-50.mbx*: das poly~-Objekt wird verwendet um eine beliebige Zahl von Delayzellen zu initialisieren. Jede Zelle beinhaltet die Auswertung des Einfallswinkels, sechs biquad~s, Berechnung des Pegels aus der Schallentfernung und Selektion des zu bearbeitenden Eingangskanals (instrument!)
- *audio-io-80.mbx*: Anpassung an 8 Lautsprecher laut LTU-Norm

Version 0.3

=====

27/07/2005

- *delayz-in-echtzeit!!!6.mbx*: Das Problem, dass Winkel nicht mehr zurückverfolgt

Appendix II - Changelog

werden können wird durch einen Rückschritt gelöst: auf die Drehung wird verzichtet, alle - also auch redundante - Reflexionen werden gerechnet. In einem zweiten schritt werden vorläufig all jene doppelten Werte ausgefiltert, die die gleiche Verzögerungszeit bewirken würden.

- Gliederung in vier Module: GUI, Delay-Core, Music Processing, Audio-IO
- music processing.mbx: Winkel und Pegel werden hier gerechnet

24/07/2005

- erste Übertragung auf den stationären Rechner um 8- und 16-kanalige Surroundausgabe im Giardino del Suono testzuhören. Das Ergebnis ist überzeugend, jedoch stellt sich heraus dass einige Berechnungen nicht stimmen. Zudem dauert die Erzeugung der Koeffizienten bei laufender Audioausgabe zu lange für Echtzeitanwendung. Der Testrechner schafft lediglich 25-30 Instanzen einer Delayzelle, aber bei einem Realtime-interpretier wie MAX/MSP sollte man nicht zuviel erwarten...

- Echtzeitoptimierung: die Filter werden auf Creamware-DSPs ausgelagert. Testweise Reduzierung auf 1 Schallquelle und 1 Schallempfänger
- Inputmodul mit thispatcher-Skalierung
- graficx.pat: grafische Darstellung des ER-Pattern

Version 0.4

=====

11/08/2005

- delay-core1.mxb: Redesign der SSQ-Berechnungen: im Core-Algorithmus werden nur noch die Spiegelschallquellen berechnet, nicht wie bisher auch Verzögerungszeiten. Alles weitere findet im Modul 'Music Processing' statt. Geometrisch zusammenfallende SSQs werden eindeutig durch einen Individual Vector (IV) ausgefiltert. Damit wird in Zukunft auch wieder Echtzeitaktualisierung möglich!

12/08/2005

- music-processing02-one-time1: Gleichzeitig erscheinende Reflexionen können ausgeblendet werden mit Selektion der minimalen Separation
- graficx.pat: grafische Anzeige des ER-Musters erstellt. Skalierbar und abspeicherbar.

15/08/2005

- audio-io-20: automatisches Panning für Direktschall (pan-law) implementiert, wet/dry-regler, integer durch float ersetzt.
- music processing03.mbx: graficx-Draw-Mode implementiert! ER können gezeichnet und gleich angehört werden!

Version 0.5

=====

Appendix II - Changelog

16/08/2005

- *music processing04.mbx*: Richtcharakteristik der Musikinstrumente wird ab jetzt unterstützt. Automatische Generierung von 30 Filterkoeffizienten für jede SSQ.
- *audio-io-20f*: sechs biquads pro Delayinstanz samt Ansteuerung addiert.
- Import von CATT-directivity-Dateien durch Exel-Makro !!! (Thx to Bernhard Schlemmer)

17/08/2005

- *music processing05.mbx*: Dissipation und Wandeigenschaften (alpha-Koeffizienten) werden bei jeder Spiegelung in Filter eingerechnet. Skalierung der Parameter, Möglichkeit gleichzeitige Reflexionen einzublenden/auszublenden.
- *delay-core2.mxb*: History wird mit festgehalten.

18/08/2005

- *music processing05.mbx*: grafische Anzeige der Filterung jeder einzelnen Reflexion. Sortierung nach Delayzeit. Jetzt beliebig viele Wandeigenschaften darstellbar.

20/08/2005

- *music processing09.mbx*: Ablauf sicherer gemacht durch mehr Synchronisationspunkte. Dichte des ER-Pattern nun einstellbar Parameter 'Granulation'). Pegel-Kompression für ER addiert. Winkelberechnung auf Azimuth erweitert. Automatische Parameterübergabe von einem Modul zum nächsten. Filterdesign in Echtzeit möglich: Parameteränderungen (Q-Faktor, Filtertyp etc) sofort hörbar und einstellbar. Überprüfung aller Parameter. Möglichkeit der Skalierung des Einflusses von Wand, Dissipation, Directivity. Grafische Darstellung der wichtigsten Parameter in einem Fenster für Filterdesign integriert.

21/08/2005

- *music processing10.mbx*: Winkelberechnung für CATT angepasst

Version 0.6

=====

24/08/2005

- *music processing12.mbx*: Winkelberechnung aktualisiert, Fehler verbessert. Patcher Filterdesign mit GUI. Patcher Winkelstatistik.
- *delay-core3.mxb*: Zur Ausfallswinkel-Berechnung wird nun die inverse Spiegelung verwendet. Berechnungen bis 4. Ordnung (1500 Werte) getestet.
- *audio-io*: folgende Anpassungen erstellt: 2.0, 5.0 ITU, 8.0_giardino, 8.0_schlemmer, 16.0_giardino

--->> 8-Kanal im Giardino del Suono getestet und mit 5-Kanal verglichen!

Appendix II - Changelog

Version 0.7

=====

12/09/2005

- delay-core4.mxb: Berechnung auf mehrere Schallquellen/Schallempfänger erweitert.

ECHTZEITFÄHIGKEIT nun mit der Einschränkung, dass Reflexion höherer Ordnung diejenigen niedrigerer Ordnung überschreiben verfügbar. Ein Pentium 3GHz braucht ca. 3sec. für 5000 Berechnungen. Das bedeutet in der Praxis eine Berechnungstiefe

8.Ordnung bei 4 Kombinationsmöglichkeiten Musiker-Mikrofon. (Etwa Streichquartett, 1 Zuhörer). Die Limits liegen jedoch ganz woanders: Lediglich 50 Instanzen einer Delay-Filterzelle können geladen werden auf diesem PC (Studio 2, Pentium 3.0GHz). Der MAC schafft vielleicht mehr, wer weis - aber wie auch immer: eine Portierung auf DSP wäre WIRKLICH interessant. Bis zu 3.Ordnung sollte Echtzeitaktualisierung kein Thema sein, zumindest, wenn für die Parameterberechnung ein eigener Rechner verwendet wird.

13/09/2005

- delay-core5.mxb: Automatisierte Berechnung beliebig vieler SQ/SE-Kombinationen.

Differenzierung doppelter Werte (höhere Ordnung überschreibt nicht mehr niedrigere Ordnung). Dadurch Einschränkung der notwendigen Berechnungen auf ein Minimum.

Tilgung jeglicher Delays im Programmablauf, d.h. schnellstmögliche Bearbeitung! UZI vereinfacht den Algorithmus, da Stop-Bedingung des Loops entfällt.

14/09/2005

- music-processing15.mbx: Der gleiche Algorithmus, der auch schon im delay-core5 zum Einsatz kommt sorgt nun dafür dass nur relevante (d.h. ein Mal vorkommende) Werte weiterberechnet werden. Das lästige coll->sortieren->dump-coll2-dump entfällt!

15/09/2005

- delay-core6.mxb: Irrweg. Versuch mehrere Instrumente in einem processing-Algorithmus zu rechnen.

Version 0.8

=====

16/09/2005

- core-proc-poly01.mxb: Die Berechnung mehrerer Instrumente erfolgt nun in je einem 'Slot', der in einem Patch die komplette Einheit aus Delay-Core, Music-Processing und Audio-Output vereint. Dazu wurden alle grafischen und Anzeigeelemente aus den Patches entfernt sowie die meisten send-receive-Befehle. Mehrere solcher Slots können parallel geöffnet werden. (ev. mit poly~, sogar automatisiert) Die grafischen Elemente kommen ins neu zu schaffende GUI.

17/09/2005

- input module8-1.mxb: Ansteuerung für core-proc-poly01.mxb angepasst (vereinfacht) und um Anzeigen erweitert.

18/09/2005

- core-poly.mxb.mbx: die Öffnung mehrerer Slots geschieht nun - nach Tests in St.2* -

Appendix II - Changelog

mittels poly~objekt, dadurch werden Änderungen am Core-Algorithmus sofort auf alle Instanzen angewandt. Die 'schnelle' Berechnung aller Werte hatte einen Stackoverflow zur Folge. Problem wurde durch Einfügen von 'coll buffer' gelöst. Dadurch minimale (100ms) Verzögerung zwischen Ein- und Ausgabe. (Zuerst werden im - hochstabilen - Core alle SSQs berechnet; wenn diese Berechnung abgeschlossen ist werden die resultierenden Werte: Verzögerungszeit, Winkel, Pegel und Filtereinstellungen gerechnet.

** MAX/MSP kann dankenswerter Weise mehrere Audio-Outputs in unterschiedlichen Patches doppelt belegen, ohne dass Knackser o.Ä. entstehen*

Version 0.9

=====

19/09/2005

*- GUIv01.mxb: Arbeit am User-Interface begonnen.
- urban-ref-core-01.mxb: Fehler mit coll behoben. In St.2 auf Funktion geprüft.
Files nach Crash recovered.*

20/09/2005

*- GUI_v2.mbx: Skriptsprache zur Steuerung von urban-ref-core-01.mxb entwickelt.
- core1y.pat: Skripting über thispatcher implementiert. Bis in die letzte Instanz können einzelne Parameter angesteuert (und auch abgespeichert) werden. Theoretisch sind über 1000 Werte zugänglich.*

21/09/2005

- GUI_v2.mbx: Filterdarstellung, Graficx und Winkelstatistik von music-processing-15.mbx übernommen. Coll settings speichert die Skriptbefehle (Expert-modus) bzw. veranlasst die Ausgabe geänderter, bereits vorhandener Skripte (User-modus). Auf diese Weise kann der Funktionsumfang des GUI dynamisch wachsen. Es ist auch möglich dass sich Anwender ihr User-Interface selbst erstellen. Bei einer Berechnungstiefe 2.Ordnung und fünf Instrumenten mit zwei Schallempfängern kommt man auf einen Wert von über 10.000 änderbaren Werten.

Version 1.0 alpha

=====

02/10/2005

*- GUI_v3-41.mbx: Problem mit Max-Crash eingegrenzt und kontrolliert. Skriptbefehle implementiert. Weitere Analysemodule programmiert.
- urban-ref-core-01.mxb: Audiosignale werden durchgeschliffen, wie bei einem Effektgerät üblich. Parameter zur Latenzkompensation eingefügt. Hierbei tritt das 'Problem' auf dass keine negativen Delayzeiten realisierbar sind;*

Appendix II - Changelog

Idealerweise würde Latenzkompensation in der Zuspieldapplikation erfolgen, dann wären alle Möglichkeiten offen für dieses Programm hier, oder man verzichtet auf Directgestaltung und sehr frühe Reflexionen (fände ich schade), oder aber man zieht in Betracht viele Spuren durchzuschleifen. Dies war Anfangs geplant, dazu wäre jedoch Audiohardware der Superlative gefragt. (29 Spuren bei 24-Tracks und 5.0-Ausgabe)

Ein anderer Weg wäre die automatische Latenzkompensation der VST2-Schnittstelle zu nutzen und ein Plug-In zu schaffen. Davon halte ich nicht viel weil die Programmumgebung zu schlecht kontrolliert werden kann.

05/10/2005

*- GUI_v3-48.mbx: Bug im Input-module (Automatische Raumskalierung) gefixed.
- core1zzz.pat: developer core. Granulation verfeinert. Möglichkeit von Look-ahead integriert: Das Programm schaut, welche Reflexionen 3. und 4.Ordnung in den darzustellenden Bereich fallen und somit bei Verwendung weniger Instanzen (das ist momentan die Realität) eingebracht werden können. Parameter zum Einstellen dieser Funktion integriert.*

Weitere Einflussnahme auf die Dichte in verschiedenen Bereichen ist geplant: etwa Fokus auf 0...50 ms (Ambience-Anwendung) und/oder 120...180 ms (Umhüllungseffekt) oder auch auf den Seitenschall bei 80 ms.

Viel Zeit mit Debugging verbracht. Ab jetzt werden die Audioeigenschaften verstärkt im Studio getestet und Filterdesign steht auch wieder auf dem Programm ('gestimmtes Filtern'). schließlich könnte noch Ohrkurvenpanning ins Modul 'Sengpiel' aufgenommen werden und auch die Richtcharakteristik des Direktschalls berücksichtigt werden.

Zur Übertragung auf DSP-Devel-Plattform Matlab-DSP-Library mit Simulink getestet. Wäre in ca. 6 Monaten zu schaffen, soll aber nicht mehr teil der Diplomarbeit sein. Lediglich der Kern-algorithmus (das sind wenige Zeilen Code!) müsste in C++ compiliert werden. Dazu bietet Matlab mit dem DSP-Blockset weitreichende grafische Unterstützung an. Die Ansteuerung könnte weiterhin in Max geschehen und ist ja schon fertig. Lediglich eine Schnittstelle zum DSP-Board müsste noch gefunden werden. Von der Datenrate her wäre sogar MIDI ausreichend...

Version 1.1 alpha

=====

12/10/2005

- urban-ref-core-02.mxb: aus den Directivity-Daten wird nun zusätzlich der

Appendix II - Changelog

Bündelungsgrad (engl. Distance Factor, \2) errechnet und in die entfernungsabhängige Pegelberechnung eingebracht. Zugleich werden die Filter auf 0dB kalibriert, d.h. die Summe der Anhebungen und Absenkungen ist gleich groß.

14/10/2005

- urban-ref-core-02.mxb: Bug in Catt-Datei gefixt (Vorzeichenfehler).
- winkel4.pat: Bug in Schallausfallswinkelberechnung (Ausfallswinkel aus Sicht des Spielers für CATT) gefixt. (Führte zu spiegelverkehrter Darstellung des Instruments).

15/10/2005

- urban-ref-core-02.mxb: Rotation des CATT-Directivity-Pattern integriert. Bug in der Dir.-Ansteuerung gefixed.
- GUI_v3-55.mbx: Richtung des Direktschalls ist jetzt automatisch Bezugspunkt für die Richtcharakteristik. Das bedeutet: im Abstand von 1 Meter ist der Frequenzgang in Bezugsrichtung linear (mehr nicht). Schallquelle kann beliebig horizontal und vertikal gedreht werden. Die Standartbezugsrichtung - die eine völlig andere ist als bei CATT - wird mitsamt den Korrekturdaten in der Directivity-Tabelle eines jeden Instrumentes festgehalten.
- convert-catt01.mxb: berechnet die Standartabweichung eines Frequenzbandes und schreibt den Wert in die Directivity-Tabelle. Die Standartabweichung wird zur Berechnung des Distance Factor benötigt.

19/10/2005 Verschiedene psychoakustische Korrekturwerte integriert. Der Wichtigste betrifft das Phasenverhalten des Filters. Ein anderer kompensiert den Verdeckungseffekt. Erster Einsatz bei POP-Produktion. Sensationell. Man kann die Werte so einstellen, dass der Raum nicht mehr unbedingt natürlich klingt. Und das ist u.U. das interessanteste daran. (Psychoakustik enhancer).

31/10/2005

- GUI_v03-99.mxb: Writeback der meisten Parameter im Single-Slot-Modus integriert. Möglichkeit verschiedene Räume für die Slots zu wählen mit dem Hintergedanken, die Dichte des Pattern so zu beeinflussen. (kleiner für Ambience, größer für Umhüllung)
- core2l.pat: coll für presets nun in core. Problematik des Writeback, wenn mehrere Slots durch ein GUI bedient werden sollen. Speicherung der Instrument-Parameter funktioniert. Für flüssige Bedienung muss aber Writeback sicher funktionieren, zusammen mit dem dynamischen laden von Slots. Dazu sind Umgestaltungen in der Presetverwaltung nötig.

Version 1.2 alpha

=====

01/11/2005

- core3a.pat: GUI lädt Slots über pcontrol. das hat entscheidende Vorteile. So können die Slots über Variablen direkt beim laden initialisiert werden.

Appendix II - Changelog

- GUIv04-26: Speicherung von Presets ist nun ausgereift. Etliche Parameter nur zur Displaysteuerung integriert. Preset-list umfasst nun <<1000 Speicherplätze.

- mp 15.pat: lästige probleme mit coll-numm
erierung gelöst durch zl join,rot.

10/11/2005

- core3g.pat: flatterechos individuell ausschließen.

11/11/2005

- core3h.pat: granu2 ... drei zeitbereiche individuell kontrollieren

12/11/2005

- core4.pat: winkelberechnung aus delayline raus und in core übernommen
(effizienter). Winkelanpassung regelbar.

Version 1.3 alpha

=====

15/11/2005

- core5a/delayline4-50.pat: delay~ durch tapin~/tapout~ ersetzt. das kostet nur die
hälfte der Rechenleistung

- delayline4-50-5bi.pat: testweise den letzten biquad~ entfernt. im 125Hz-Band tut
sich eh so gut wie nix.

22/11/2005

- GUI_v04-29: solo-funktion überarbeitet.

- core5b: muri komplett neu gemacht, dissipation überarbeitet. funbuff ohne Namen
(IV: selbe Orte bei versch. Inst. mögl.)

- core5c: lookahead überarbeitet, echtzeitmodus nun default, winkel-umsetzung an den
schluss gestellt.

- winkelanpassung 80s gemacht

23/11/2005

- core5d: tapout und poly funktioniert nicht, leider.

24/11/2005

- core5emil: Rückschritt wegen problemen mit tapin/tapout und poly zu delay~.
wahrscheinlich die sauberere Lösung, da tapout ms->samples irgendwie anders rundet.
jedenfalls klingt es etwas anders. (idee: Rundung als parameter einbauen...)

Version 1.4 alpha

=====

24/11/2005

- - core5f: massive umgestaltung. poly durch route ersetzt. Überall sind Änderungen

Appendix II - Changelog

und Anpassungen nötig, vor allem auch im GUI. und das alles nur, weil die Rechenleistung knapp ist.

- core5g: #2delays sorgt for "plug-in-struktur". mp hat nur noch 1 Ausgang.
- core5h: adc~ raus aus subpatch, mute, mute all, solo neu gemacht.include direct schalter(granu2). dlx.pat: variante mit delay~-objekt. (tapout rundet auf millisekunden, da bin ich mir ziemlich sicher.) mp: target 0 nun möglich .(vereinfachung).

12/12/2005

- gui_v05-07: komplette Neugestaltung des user interface. stringentes bedienkonzept: nur 1 slot kann gleichzeitig bedient werden. input-modul neu gemacht, etc etc. endlich sind ALLE parameter mit einem knopfdruck abspeicherbar, aber es war ein langer weg bis dorthin.

14/12/2005

- core5i: lautsprecherkonfig über #3speaker.pat (plug-in-Struktur). muri-ansteuerung über tp.
- gui_v05-12: writeback über 'coll #1preset -> refer' vereinfacht. solo/cut für den neuen core gemacht.

22/12/2005

- gui_v05-29: mute/solo neu gemacht, input komplett überarbeitet, etc etc etc
 - core: 6delays-x,6delays-y mit toall-verkabelung, core ebenfalls
- Testversion an Felix geschickt, aber kein Feedback! schade.

Version 1.5 alpha

=====

25/12/2005

- GUI_v06: das (sinnlose) preset-objekt entfernt (überfällig!!) und writeback ganz aus dem core heraus realisiert ohne (!) daten zwischen den Modulen transferieren zu müssen. ('refer' macht's möglich).
- input-modul noch weiter vereinfacht (Übersicht zu bewahren erforderte Vereinfachung)
- init-process mit coll def-preset erheblich ausgeweitet (sehr viele automatisch ablaufende Aktionen) und ausführlich im Programm dokumentiert. (Notwendigkeit da Fehlersuche ansonsten unmöglich).
- Im Gottwaldsaal Präsentation vorbereitet und erste 24-Kanal-Mischung (Rossini Messe)
- nicht benötigte delayzellen (ja das gibts, seit 70 zellen und mehr laufen...)

Appendix II - Changelog

werden automatisch gemutet

- Arbeit an Default-Einstellungen für die Instrumente begonnen

20/01/2006

Winkelauswertung: Lautsprecheranpassungen erstellt für 2,3,4,5,7,8,10 Lautsprecher.

In der Winkelabfrage 'IF' durch '>' und 'route' ersetzt (schneller).

24/01/2006

- core5l: Nach Besprechung mit Vette/Müller: die winkelauswertung erheblich erweitert: vertikale und horizontale Raumsegmente können gemutet werden, erstmals werden vertikale Winkel berücksichtigt (endlich!). Das Kugelkoordinatensystem wird in 'Schichten' eingeteilt, die einzeln gemutet werden können. (z.B. Boden, Decke). Was jetzt noch fehlt ist die Untersuchung der Frequency Domain. (Was erzählt D.G. da eigentlich?)

25/01/2006

- core5m: muri neu gemacht (auswertung der alpha-koeffs)
- GUI_v06: Nachhallzeit wird abgeschätzt (sabine). Übergang zum diffusen schallfeld wird abgeschätzt.

28/01/2006

- core5m: winkelberechnung optimiert,
- GUI: Berechnung p2-Raumecken (um Schalleinfall von bestimmten Wänden zu selektieren)

29/01/2006

- core5m: neue history für rekursive Spiegelung eingeführt

Version 1.6 beta

=====

15/02/2006

- core5m und GUI_v06: neues Konzept für die Winkelauswertung. Beim Laden des Kernels (Kernel=Core+MP+Audio-IO) entscheidet der Anwender, wie fein die Winkelauflösung sein soll, unabhängig von der LS-Anzahl. Plugin-Struktur dafür und neue GUI-Objekte. Die Anzahl der Parameter in der Preset-list übersteigt 10.000 Werte.

29/02/2006

- GUI_v06: Lautstärke einer Reflexion mittels Slider manipulierbar. Automatische Aktualisierung der ER-Anzeige.

Appendix III - DVD contents and cover

24.02.2006					Date:
CD Title: DEMO - DVD DA SCHLEMMER					
UPC/EAN Code:					
T	I	Position	Length	Title	
01	00	Pause	00:00:00		
	01	Track	00:02:00	05:28:19	Flamenco Scetches - ohne Ref.
02	01	Track	09:30:19	05:09:18	Flamenco Scetches - mit Ref.
03	01	Track	11:39:37	02:08:23	Vier Jahreszeiten - ohne Ref.
04	01	Track	13:47:60	01:07:64	Vier Jahreszeiten - mit Ref.
05	01	Track	14:55:49	01:29:54	Applaus mit/ohne Ref. A/B-geschnitten
06	01	Track	16:25:28	00:50:62	Pizzicato-Polka orig. (schalltot)
07	01	Track	17:16:15	00:48:57	Pizzicato-Polka - 2x25 Ref.
08	01	Track	18:04:72	00:47:10	ditto - 60 Ref. mit Piano-Richtcharakteristik
09	01	Track	18:52:07	00:47:10	ditto - 60 Ref. mit Violine-Richtcharakteristik
10	01	Track	19:39:17	00:46:52	ditto - 60 Ref. +20dB bei 120-160ms hinten
11	01	Track	20:25:69	00:48:47	ditto - 60 Ref. +20dB bei 80-160ms hinten
12	01	Track	21:14:41	00:47:27	ditto - 60 Ref. +20dB bei 235-600ms hinten
13	01	Track	22:01:68	00:53:53	ditto - 60 Ref. +25 bis +30dB bei 235-600m auch vorne (Nur ausgewählte Reflexionen wurden im Pegel erhöht, ca. alle 5-10ms)
14,16,18	Trk.		22:55:46	04:28:53	Alleгри - ohne Ref.
15,17,19	Trk.		23:24:24	04:57:05	Alleгри - mit Ref. + Raummikrofon
20	01	Track	28:21:29	04:08:68	Dream in blue - ohne Ref.
21	01	Track	36:21:29	04:08:68	Dream in blue - mit Ref. + Eventide
	02	CD End	40:30:22		
Total length: 40:30:22					
Total length without pauses: 40:28:22					



Acknowledgement

Ich möchte mich bedanken bei allen Lehrenden, namentlich bei:

Prof. Axel Seidelmann
Prof. Johann-Nikolaus Matthes
Karl-Heinz Müller
Hermann Freiberger
Violaine deLarminat
Prof. Erdugrul Sevsay
Prof. Jürg Jecklin
Ulrike Sych
Tudor Saveanu
Joseph Schütz

Ich möchte mich auch bei folgenden Studenten und Freunden bedanken, ohne die die meisten Projekte nicht möglich gewesen wären:

Philipp Treiber
Felix Dreher
David Menke
Dorothee Badent
Volker Werner
Flo Widhalm
Gaile Miksyte
Hanne Stenzel

Besonders bedanken möchte ich mich bei
Dr.-Ing. Klaus Wogram und seinem Team vom PTB für die
Bereitstellung der Daten zur Richtcharakteristik