

# “Mer losse d’r Dom en Kölle” (?!)

Weltpremiere einer WFS Live-Übertragung

Stefan Weinzierl  
Frank Melchior  
Hans Schlosser  
Jörn Nettingsmeier



---

# Übersicht

- Einführung
- Grundlagen und Aufnahmetechnik
- Mikrofonierung im Detail
- Technische Realisation der Aufnahme
- Übertragung
- Mischung und Wiedergabe in Berlin
- Hörbeispiele (7.1)

# Olivier Messiaen: *Livre du Saint Sacrement*

## Akustische Live-Resynthese eines Orgelkonzerts aus dem Hohen Dom zu Köln in der TU Berlin

Fachgebiet Audiokommunikation der TU Berlin



Netzwerk  
Neue Musik

ein Förderprojekt der  
**KULTURSTIFTUNG  
DES  
BUNDES**

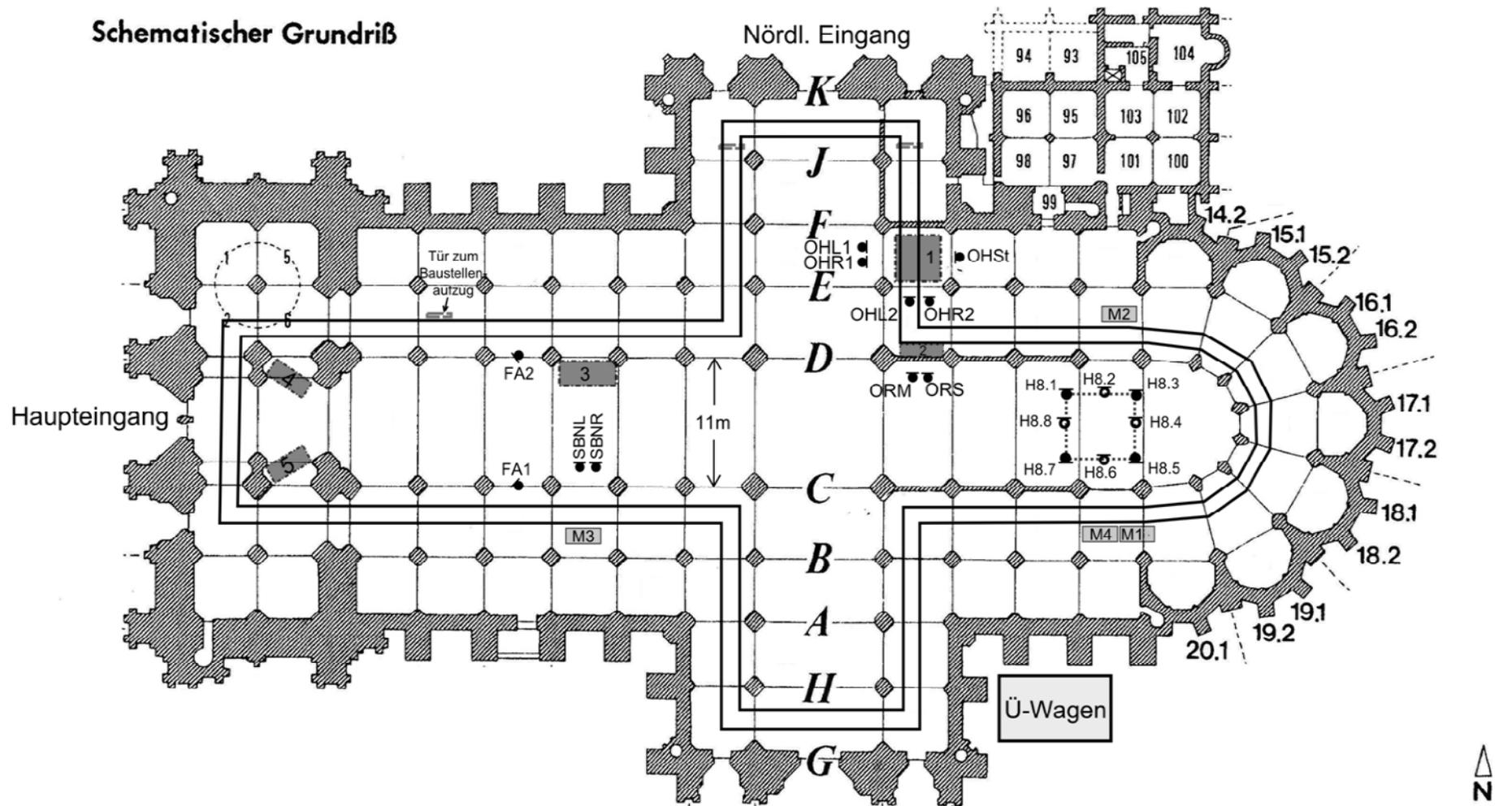
**DA  
AD**

**inventionen 2008**  
Musik für mehr als einen Lautsprecher

**DEGEM**

# Kölner Dom

## Schematischer Grundriß



Legende:



Hauptorgel



Schwalbennest-  
orgel



Fanfarenregister 2



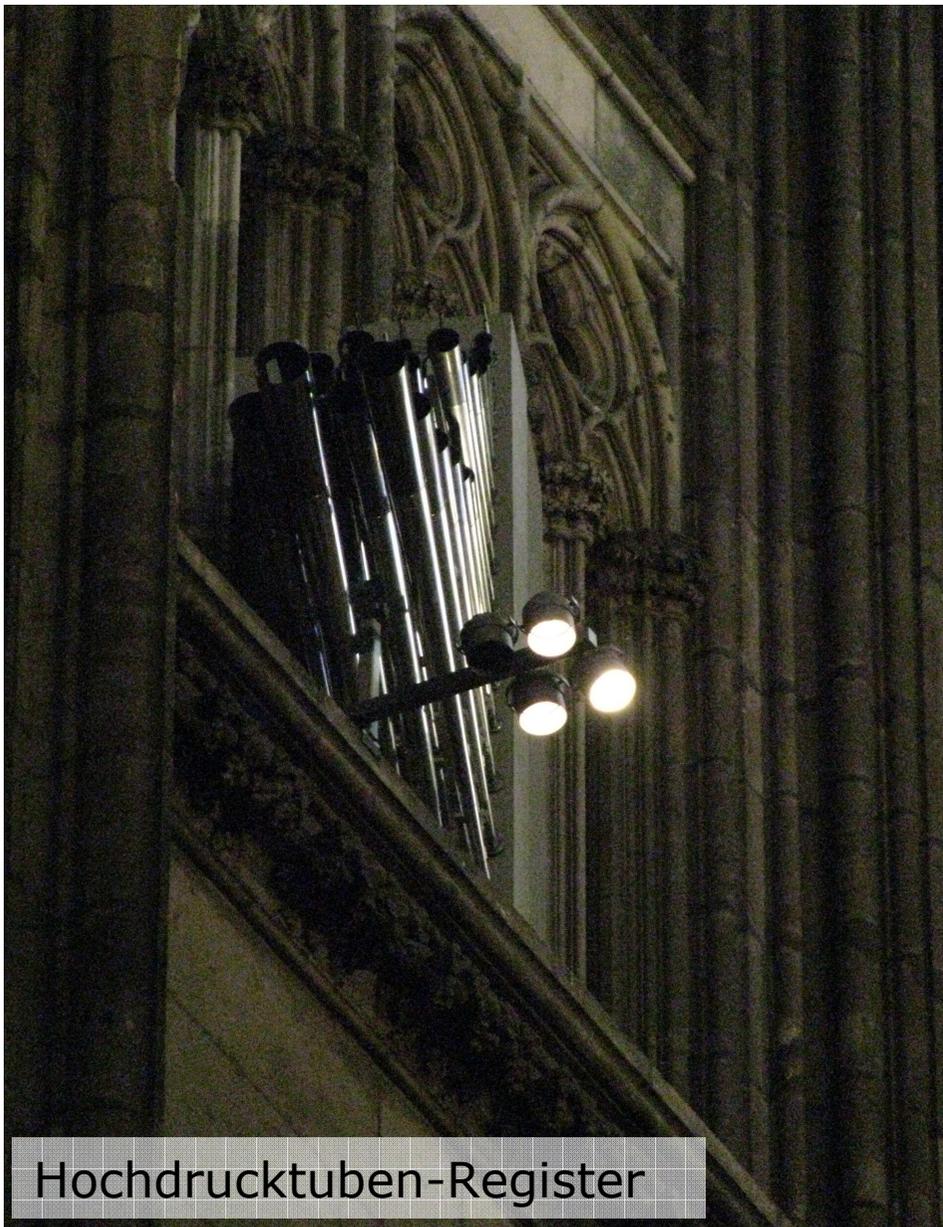
Rückpositiv  
Hauptorgel



Fanfarenregister 1



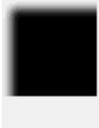
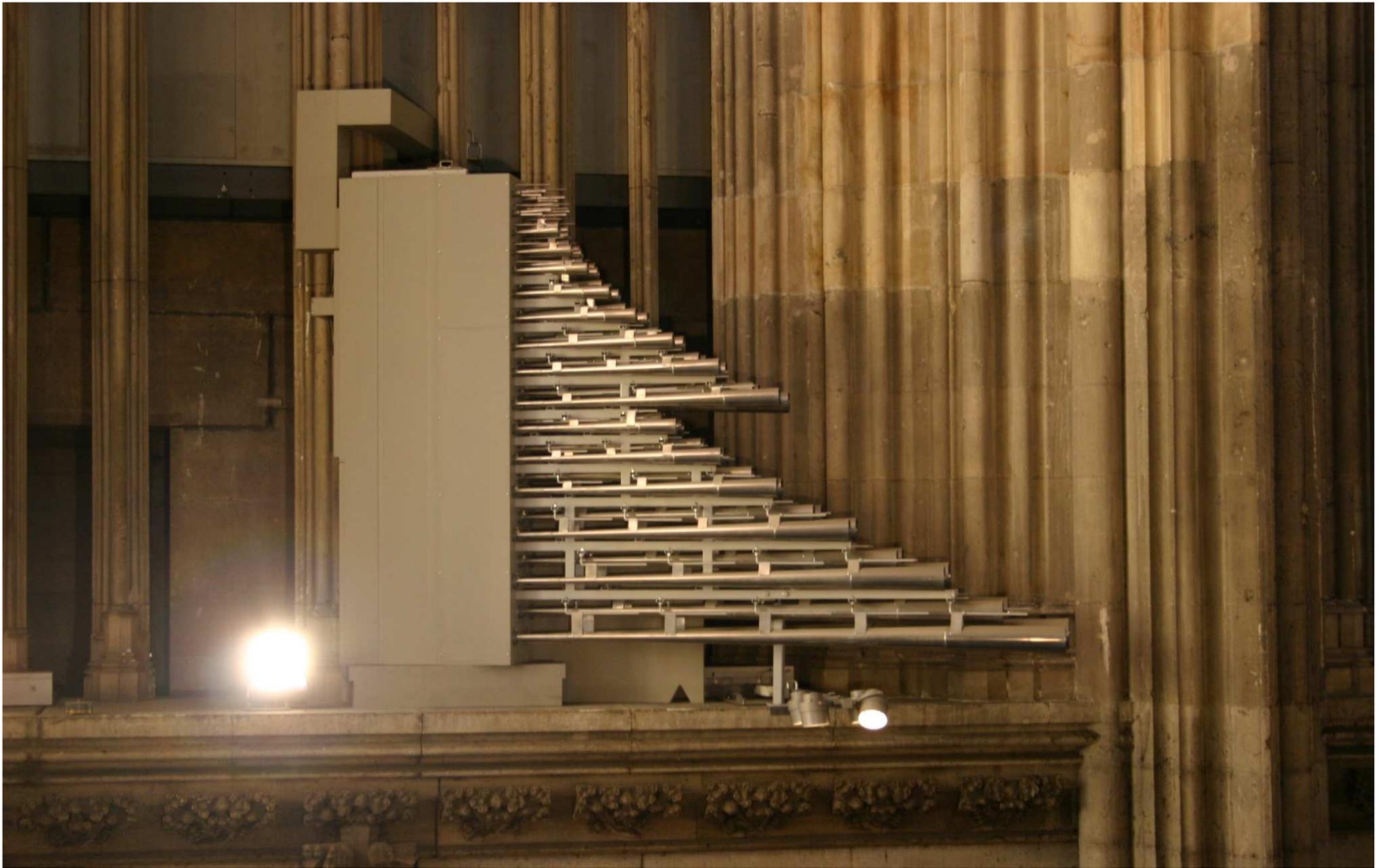
Querhaus-Orgel



Hochdrucktuben-Register



Schwalbennest-Organ



Kunsthochschule für Medien Köln  
Academy of Media Arts



**Institut fuer Musik Und Medien**  
Robert Schumann Hochschule Duesseldorf

Fraunhofer



Institut  
Digitale  
Medientechnologie

**Fachgebiet Audiokommunikation**



---

## Querhausorgel

88 Register, Baujahr 1948

Klais-Organbau, Bonn

## Schwalbennest-Orgel

53 Register, Baujahr 1998

Klais-Organbau, Bonn

## Tuba episcopalis („Bischöfliche Fanfare“)

Baujahr 2006

Klais-Organbau, Bonn

Domorganist Prof.Dr. Winfried Bönig



Zentraler Spieltisch

# Livre du Saint Sacrement

GPR : fonds 16, 8, 4, mixtures, pleins-jeux, anches 16, 8, 4 | PG, RG |

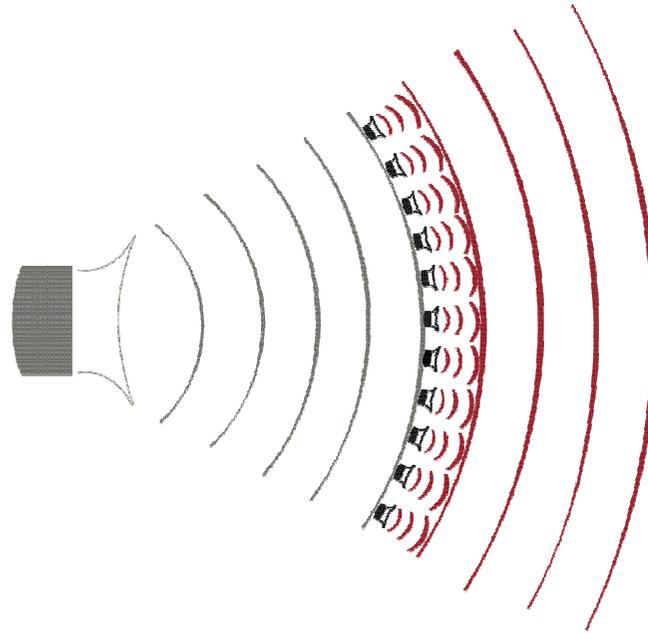
Ped : fonds 32, 16, 8, 4, anches 16, 8, 4 | tirasses G, P, R |

Très lent

The image shows a musical score for the 'Livre du Saint Sacrement'. It consists of four systems of staves. The first system includes GPR (Grand Piano Right), MAN (Mandoline), and PED (Pedal) parts. The tempo is marked 'Très lent' and the articulation is 'legato'. The score is written in a complex, multi-measure rhythmic structure with various accidentals and dynamic markings. The second system continues the GPR and PED parts. The third system includes MAN and PED parts. The fourth system includes MAN and PED parts. The score is highly detailed with many notes and rests.

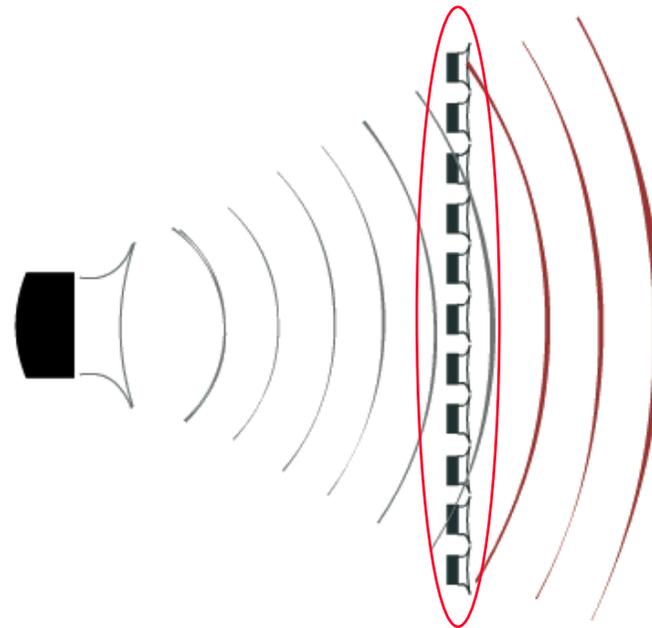
1. Adoro te
2. La Source de Vie
3. Le Dieu caché
4. *Acte de Foi*
5. Puer natus est nobis
6. La Manne et le pain de Vie
7. Les Ressuscités et la lumière de Vie
8. Institution de l'Eucharistie
9. Les Ténèbres
10. La Résurrection du Christ
11. L'Apparition du Christ à Marie-Madeleine
12. La Transsubstantiation
13. Les Deux Murailles d'eau
14. Prière avant la communion
15. *La Joie de la grâce*
16. Prière après la communion
17. *La Présence multipliée*
18. Offrande et Alléluia final

# Wellenfeldsynthese



Huygens Principle (1690)

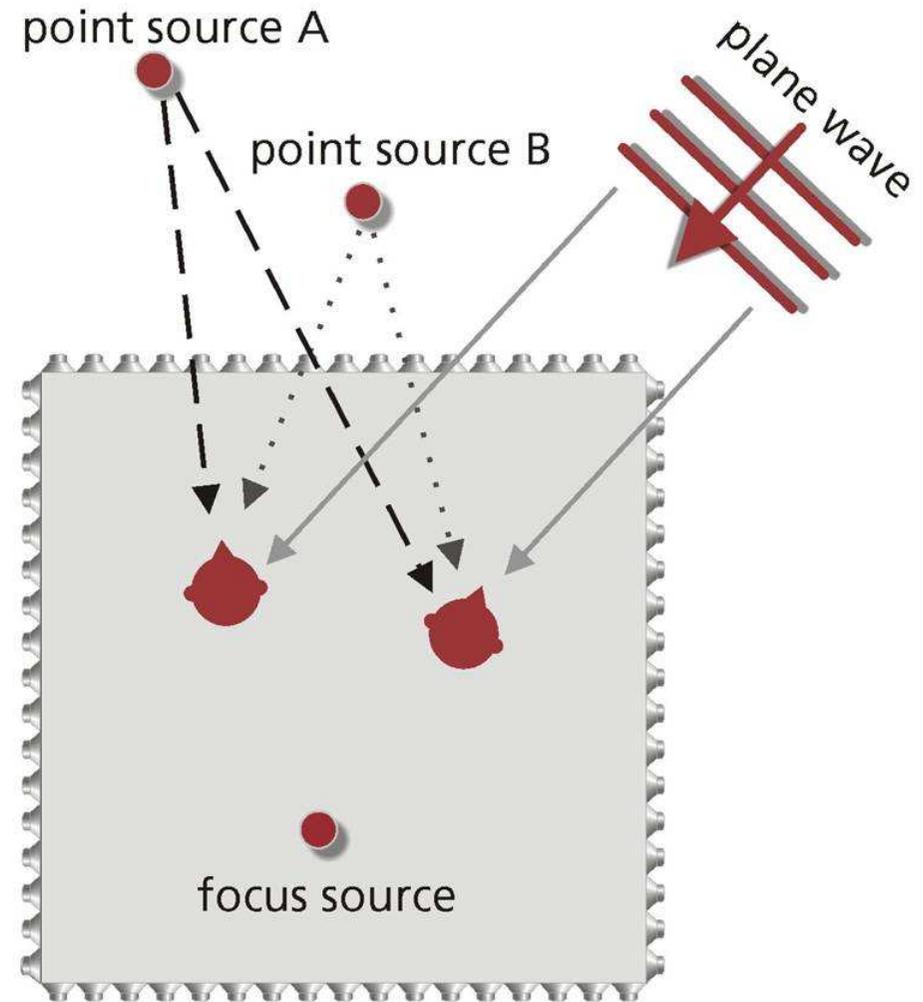
# Wellenfeldsynthese



Filter (Delay, Amplitude)

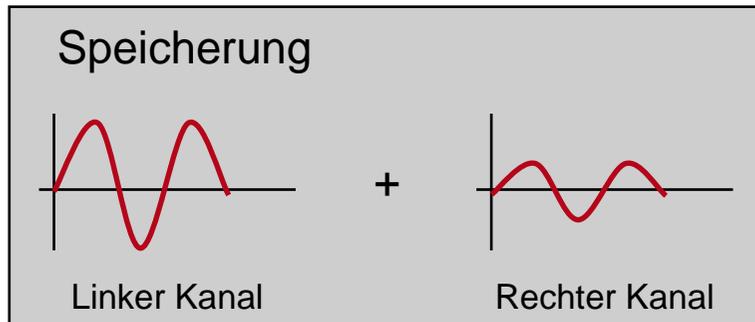
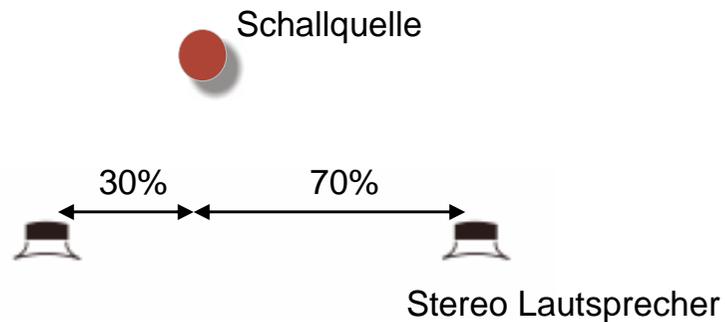


# Wellenfeldsynthese

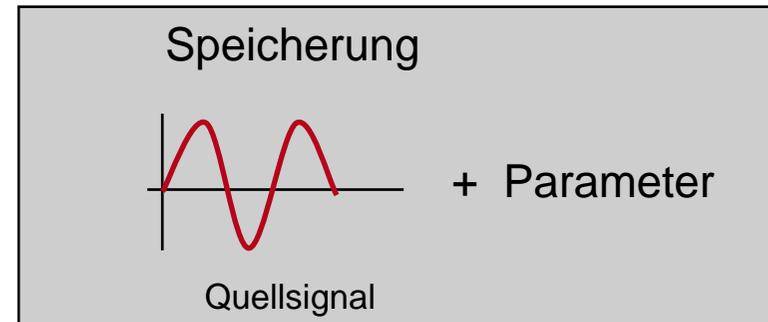
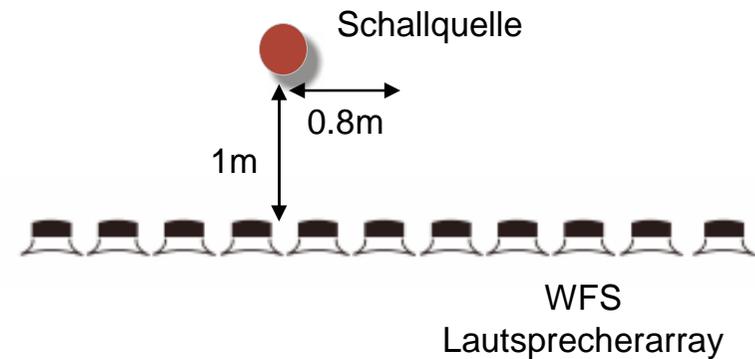


# Wellenfeldsynthese (Mischung)

## Kanal-basierter Ansatz

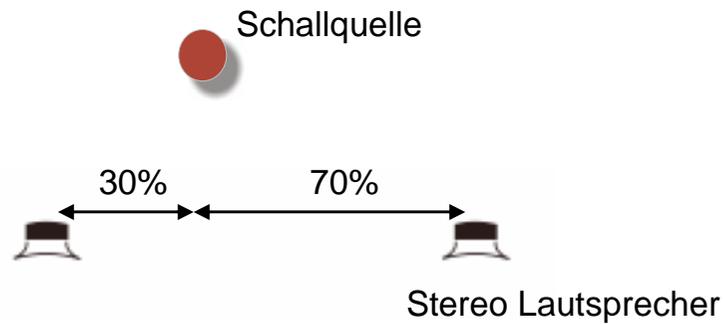


## Objekt-orientierte Ansatz



# Wellenfeldsynthese (Mischung)

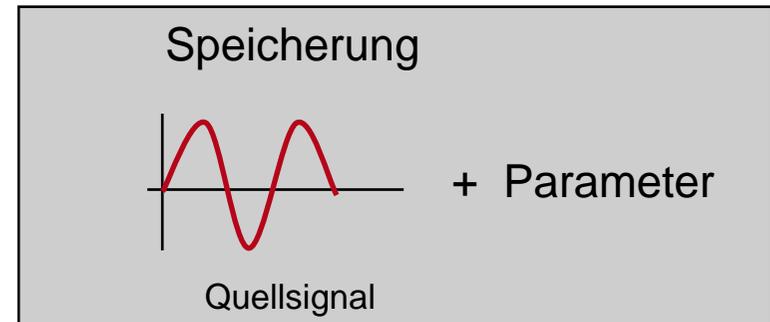
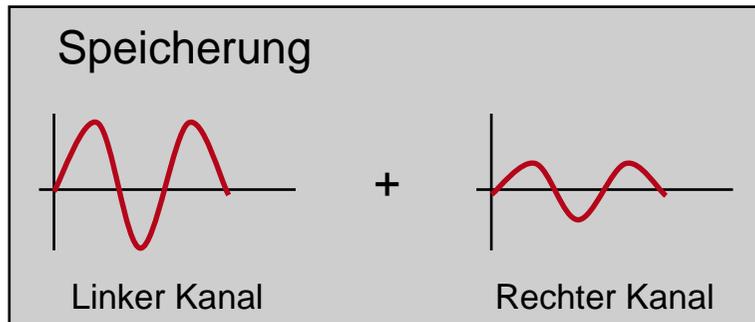
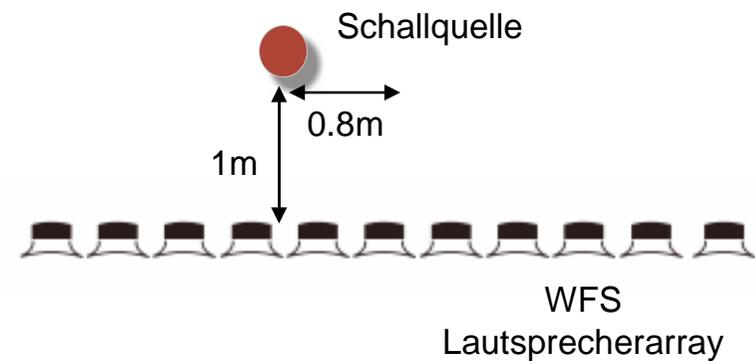
Kanal-basierter Ansatz



Übergang ?

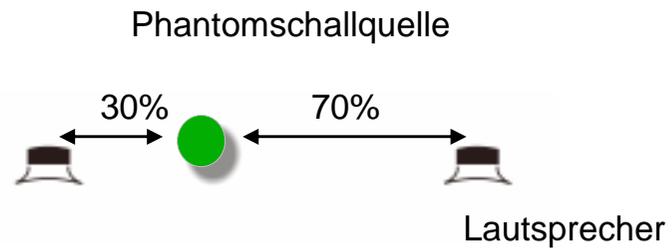


Objekt-orientierte Ansatz



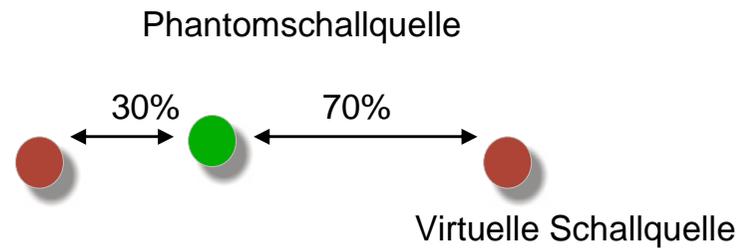
# Wellenfeldsynthese (Mischung)

Stereo Wiedergabe



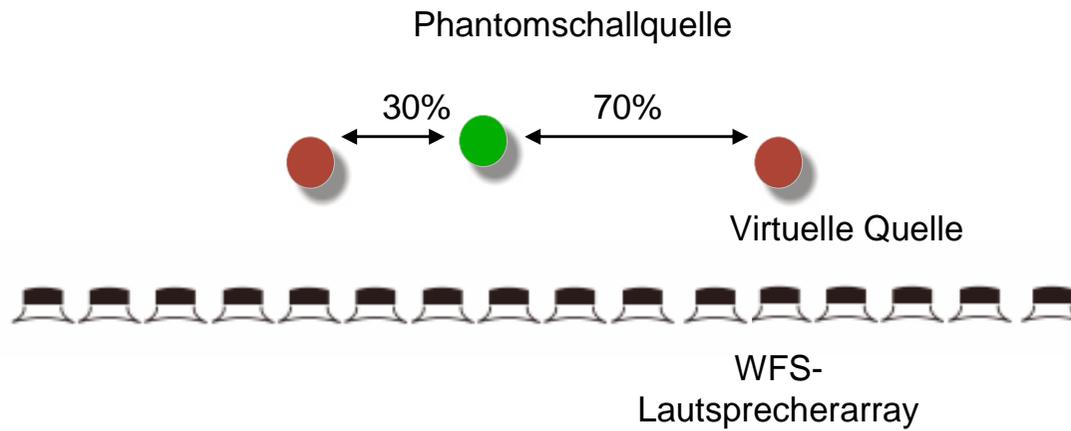
# Wellenfeldsynthese (Mischung)

Stereo Wiedergabe



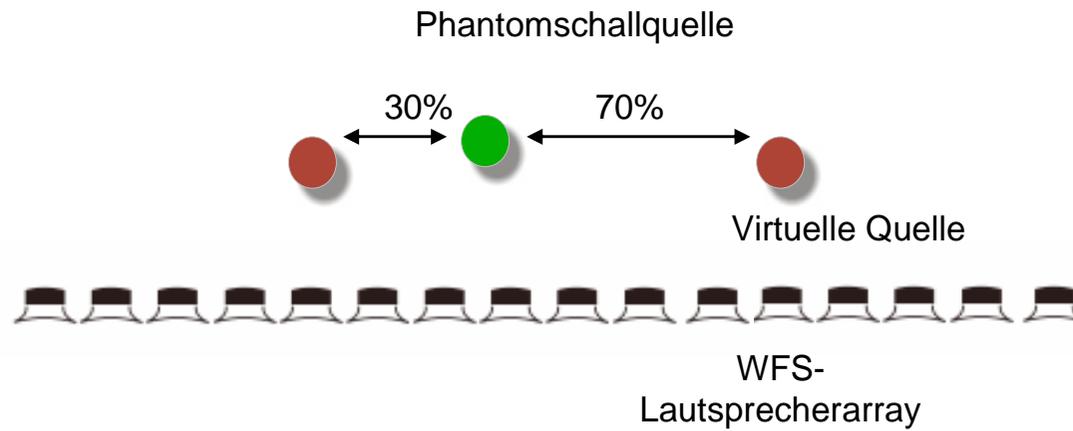
# Wellenfeldsynthese (Mischung)

Virtuelle Stereowiedergabe



# Wellenfeldsynthese (Mischung)

Virtuelle Stereowiedergabe  
(Virtual panning spots)



Wiedergabe von Stereo- und Mehrkanalmaterial  
(Rückwärtskompatibilität)

Aufnahme von großen Ensembles

Übergang vom kanalorientierten zum objekt-orientierten  
Ansatz

# Aufnahmetechnik

Wichtige Klangeigenschaften:

*Position* der Schallquelle

*Entfernung* der Schallquelle

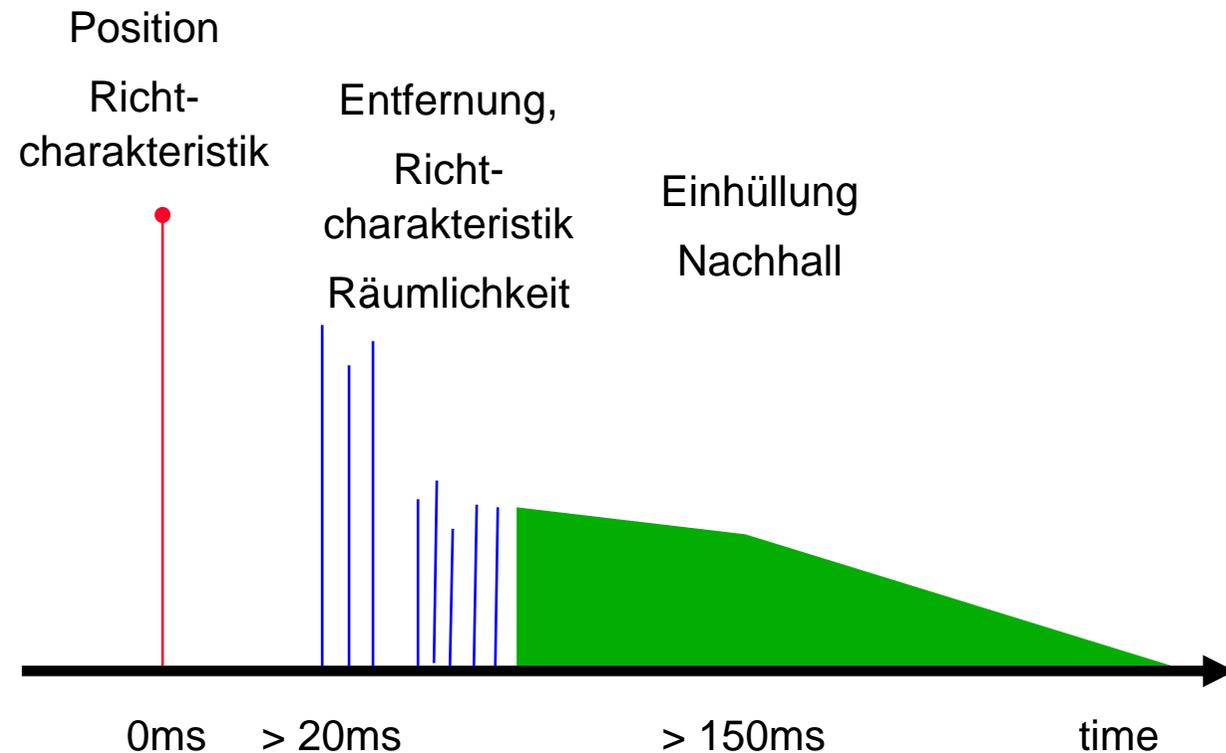
*Richtcharakteristik* der Schallquelle

*Raum* der Schallquelle

Aufnahme und Wiedergabe ist immer eine  
Gestaltungsprozess.

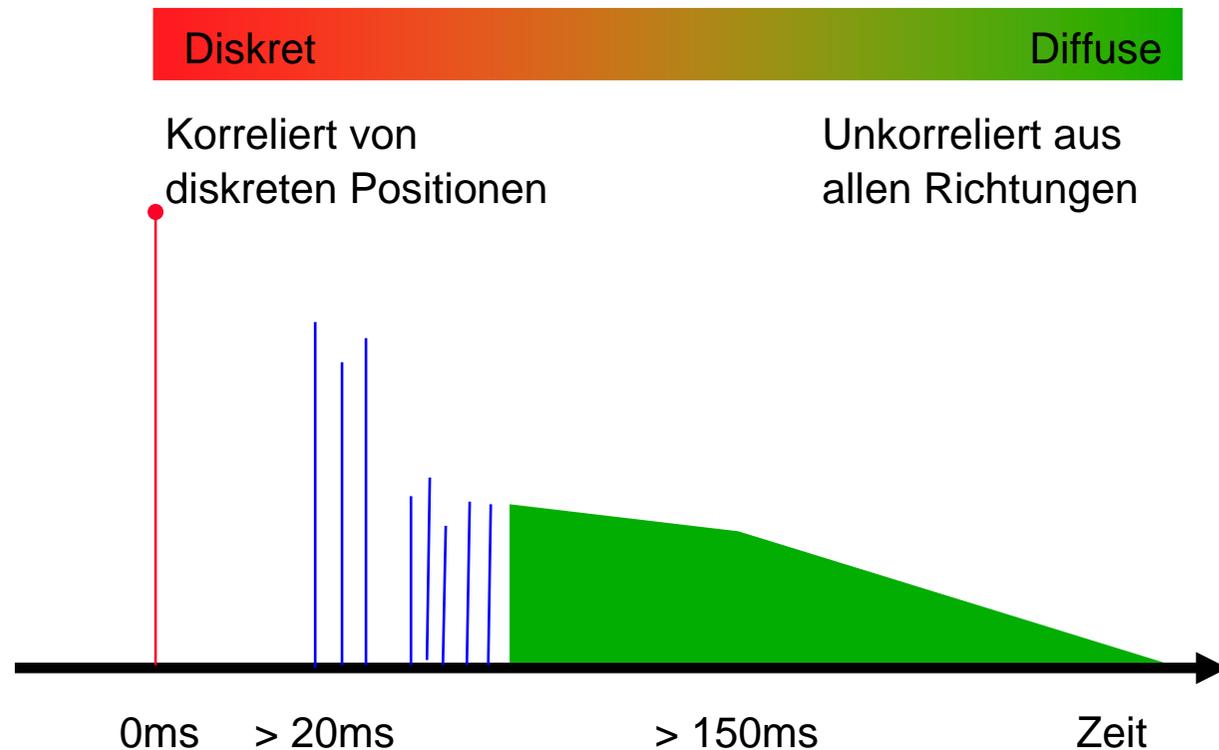
# Aufnahmetechnik

Wiedergabe kann mit Hilfe einer räumlichen Impulsantwort beschrieben werden. (Zeit und Richtungsabhängige Energieverteilung)



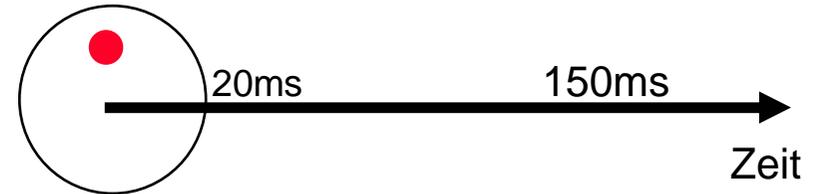
# Aufnahmetechnik

Wiedergabe kann mit Hilfe einer räumlichen Impulsantwort beschrieben werden. (Zeit und Richtungsabhängige Energieverteilung)



# Aufnahmetechnik

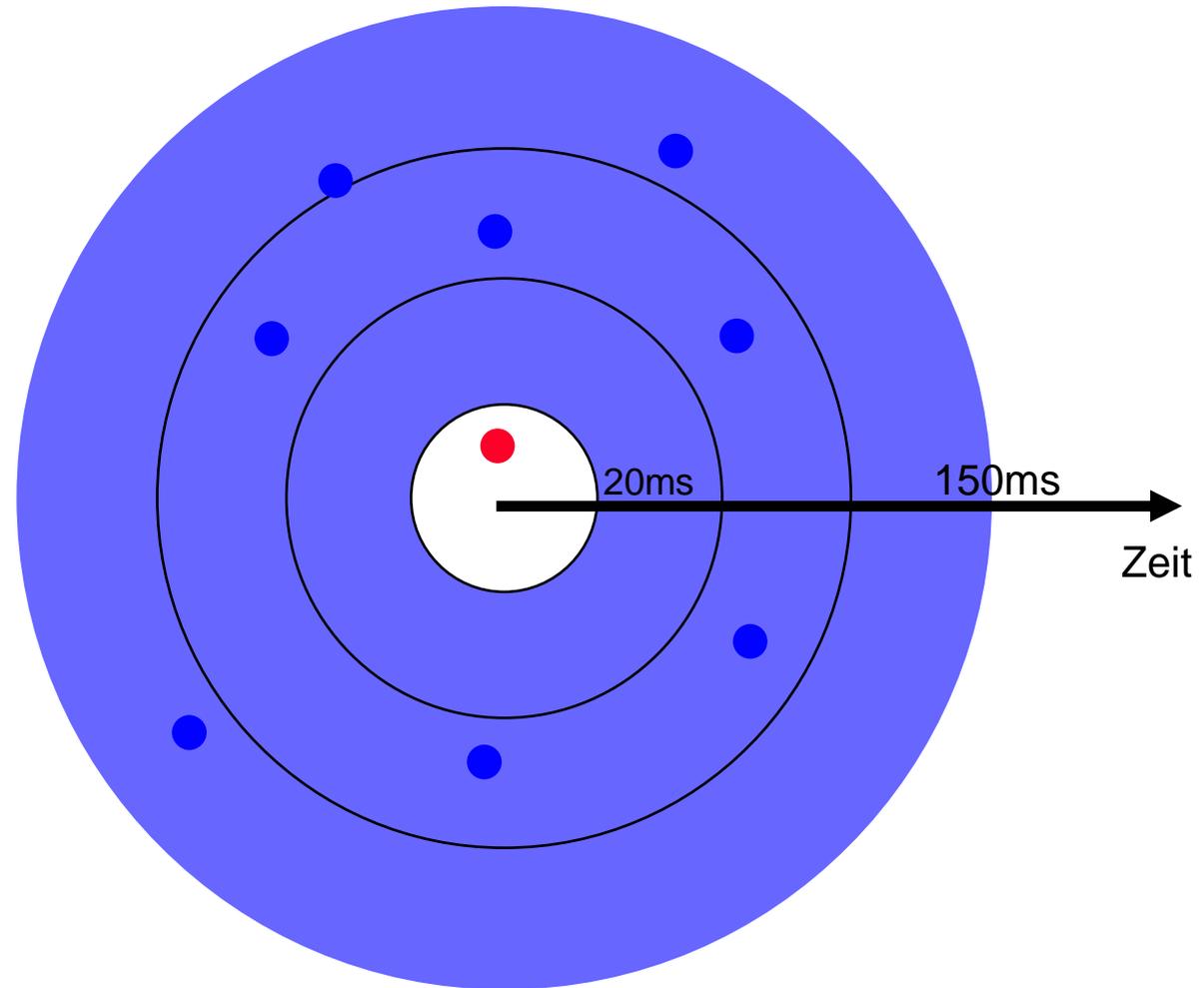
## Direktschall



# Aufnahmetechnik

Direktschall

Frühe Reflexionen

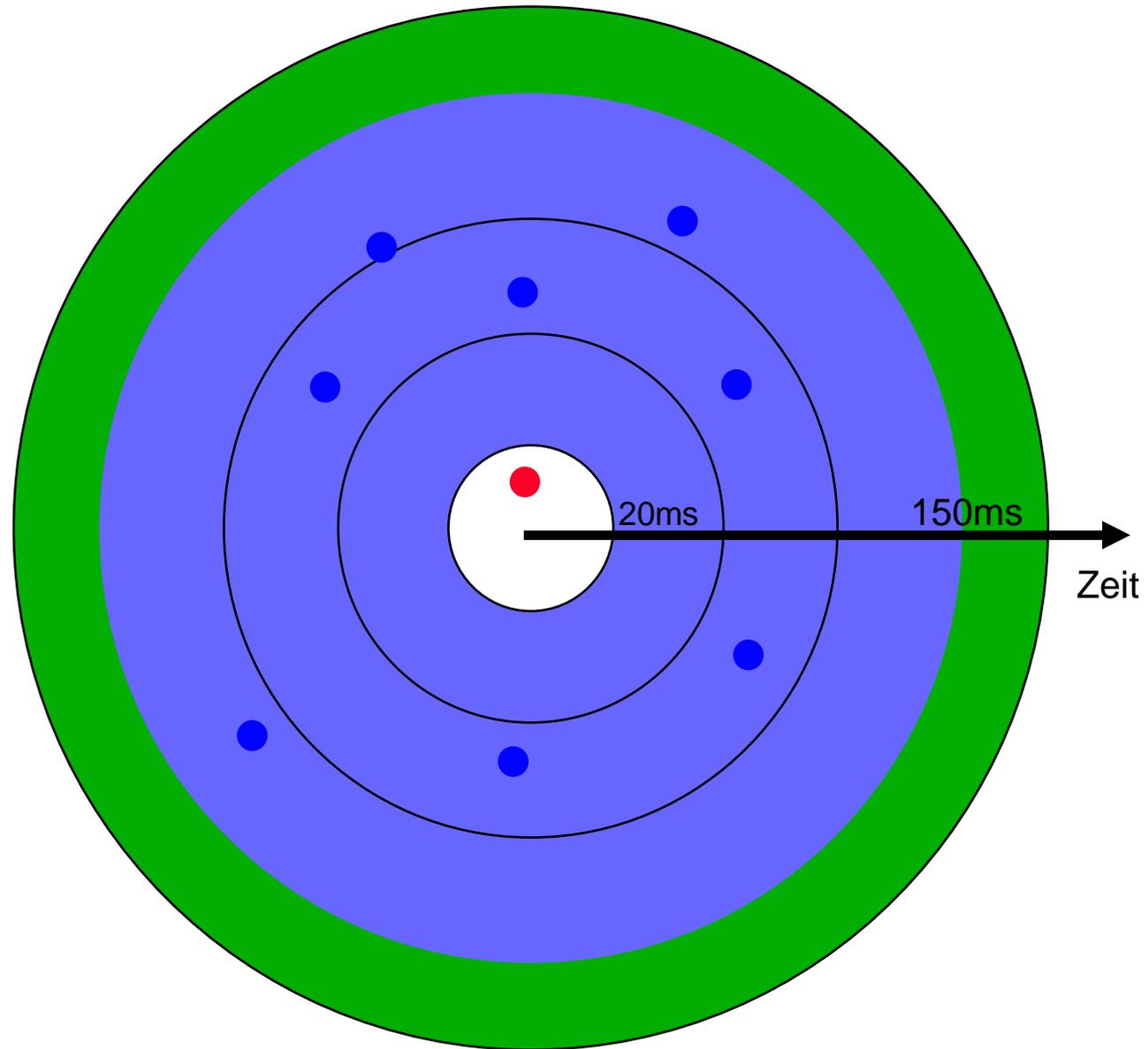


# Aufnahmetechnik

Direktschall

Frühe Reflexionen

Später Nachhall

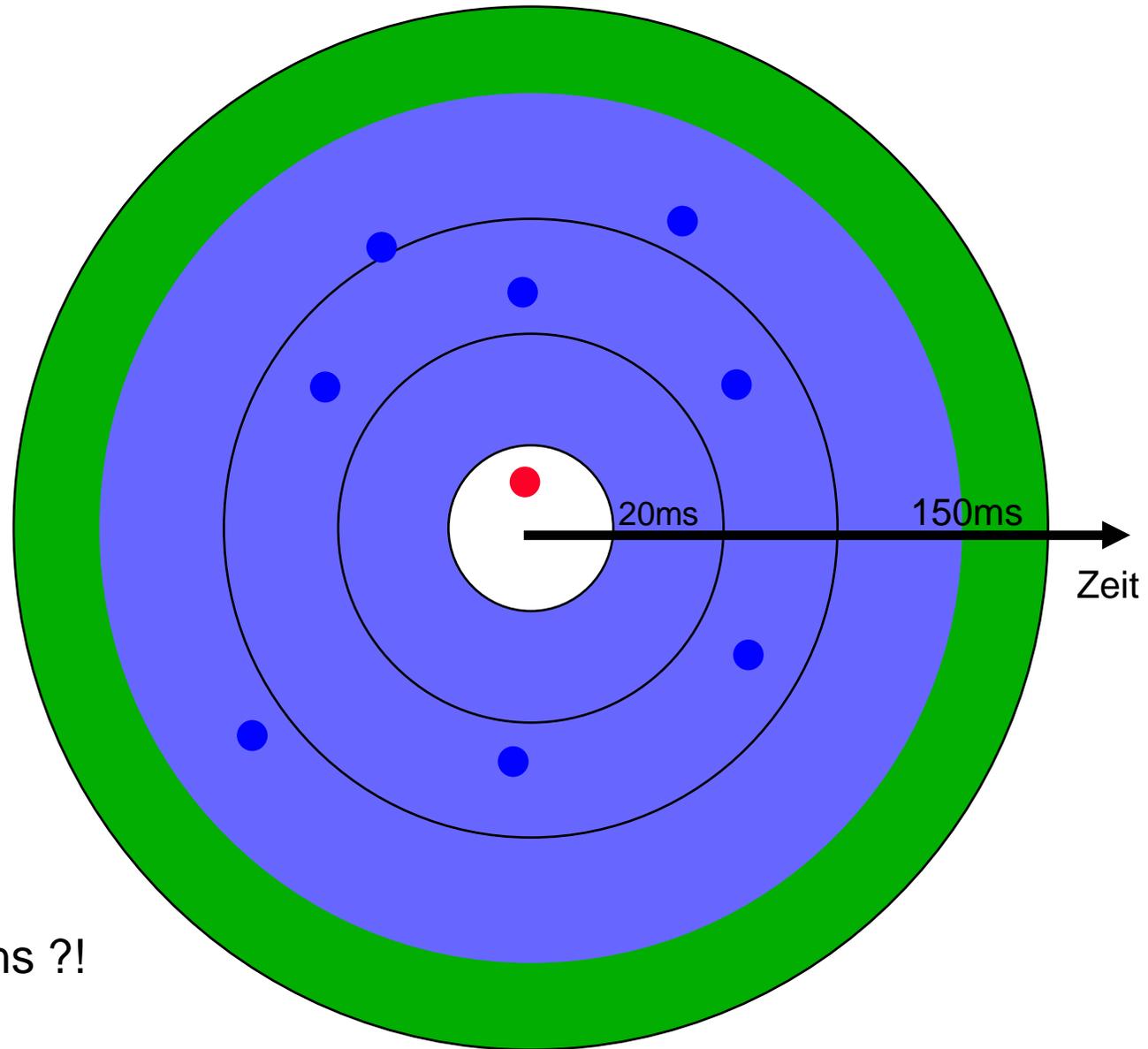


# Aufnahmetechnik

Direktschall

Frühe Reflexionen

Später Nachhall



Bewegung des Zuhörer ?!  
Größe des Wiedergabebereichs ?!

# Aufnahmetechnik

## Anforderungen

### Direktschall

- Korrekte Position für die Wiedergabebereich und gewünschte Quelldichte

### Frühe Reflexionen

- Stabile Position
- Seitliche Wiedergabe
- Balance zum Direktschall entsprechen des gewünschten Klangeindrucks

### Nachhall

- Richtungsunabhängig
- Unkorreliert, Diffus
- Unabhängig vom frühen Teil der Impulsantwort

# Aufnahmetechnik

## WFS spezifische Anforderungen

### Allgemein

- Zeit- und Pegeldifferenzen abhängig von der Hörerposition
- Skalierung und Effekte durch die Größe des Zuhörerbereichs

### Direktschall

- Freie Mischung erfordert hohe Kanaltrennung
- Klangverfärbungen abhängig von Quellen- und Hörposition

### Frühe Reflexionen

- Eine große Anzahl von Quellen wird benötigt
- Quellenabhängig

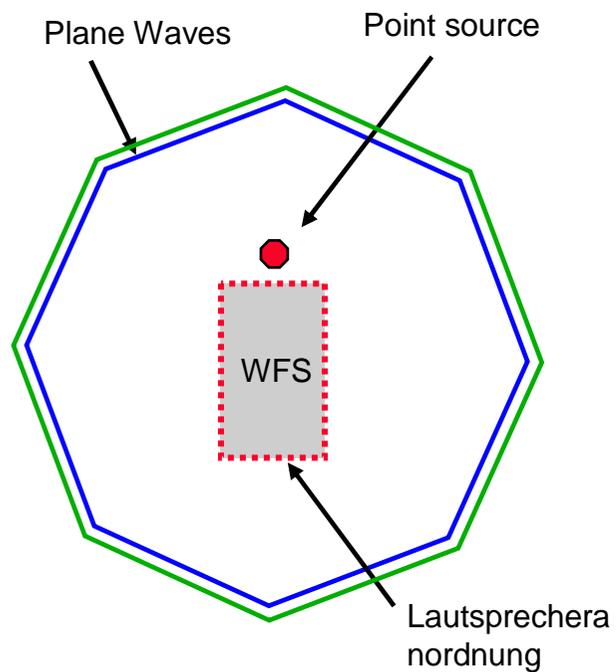
### Nachhall

- Hohe Anzahl unkorrelierter Signale
- Gleichmäßige Pegelverteilung

# Aufnahmetechnik

## Simple plane wave approach

- Niedrige Komplexität
- Kleiner Wiedergabebereich



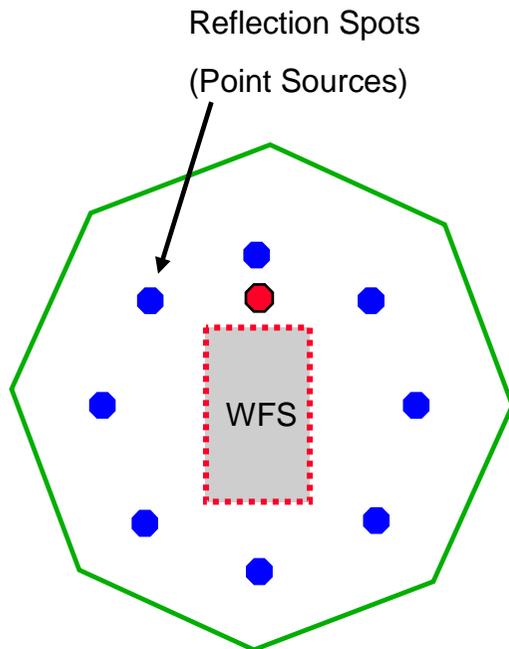
# Aufnahmetechnik

## Simple plane wave approach

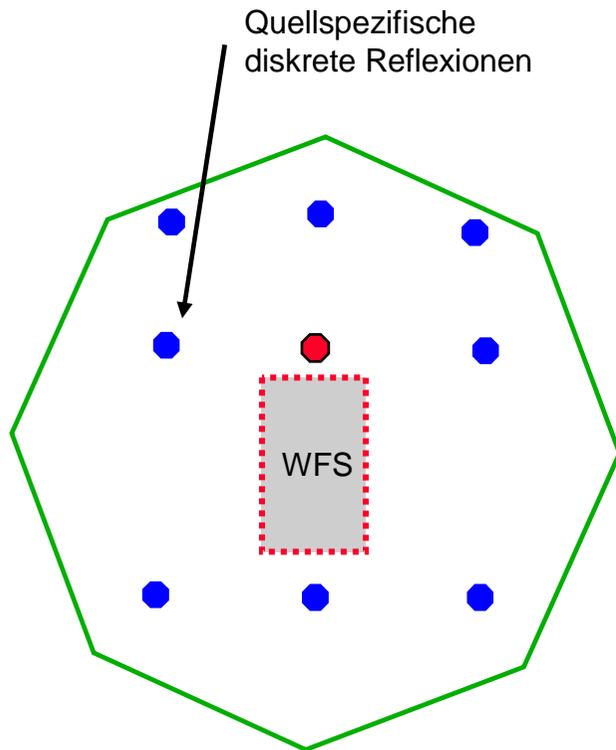
- Niedrige Komplexität
- Kleiner Wiedergabebereich

## Early dartboard approach

- Mittlere Komplexität
- Gute Qualität für den Nachhall und Mittlere Qualität für frühe Reflexionen
- Relativ großer Wiedergabebereich



# Aufnahmetechnik



## Simple plane wave approach

- Niedrige Komplexität
- Kleiner Wiedergabebereich

## Early dartboard approach

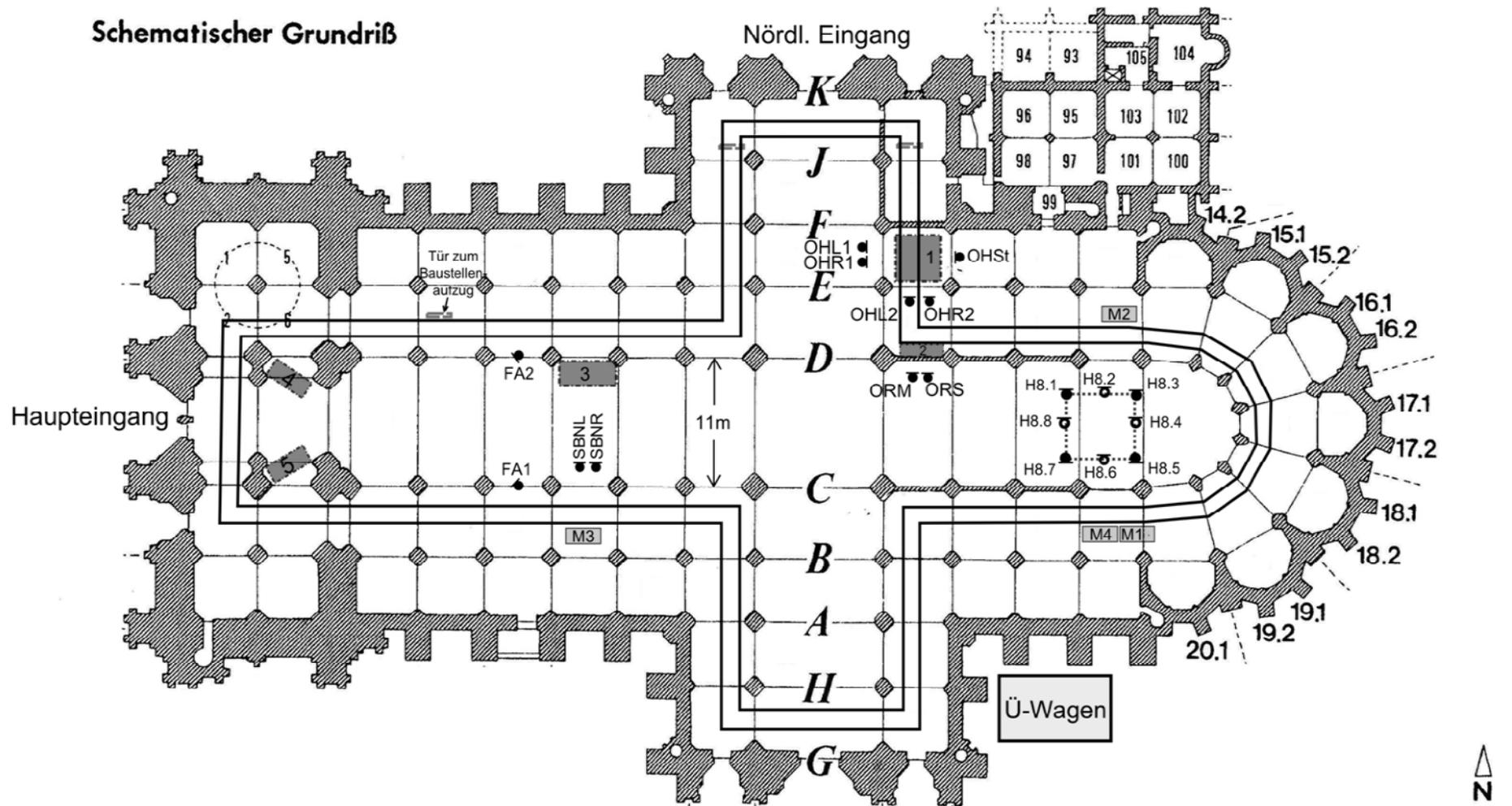
- Mittlere Komplexität
- Gute Qualität für den Nachhall und Mittlere Qualität für frühe Reflexionen
- Relativ großer Wiedergabebereich

## Single reflections approach

- Hohe Komplexität
- Hohe Qualität für frühe Reflexionen und Nachhall
- Großer Wiedergabebereich

# Kölner Dom

## Schematischer Grundriß



Legende:



Hauptorgel



Schwalbennestorgel



Fanfarenregister 2



Rückpositiv Hauptorgel

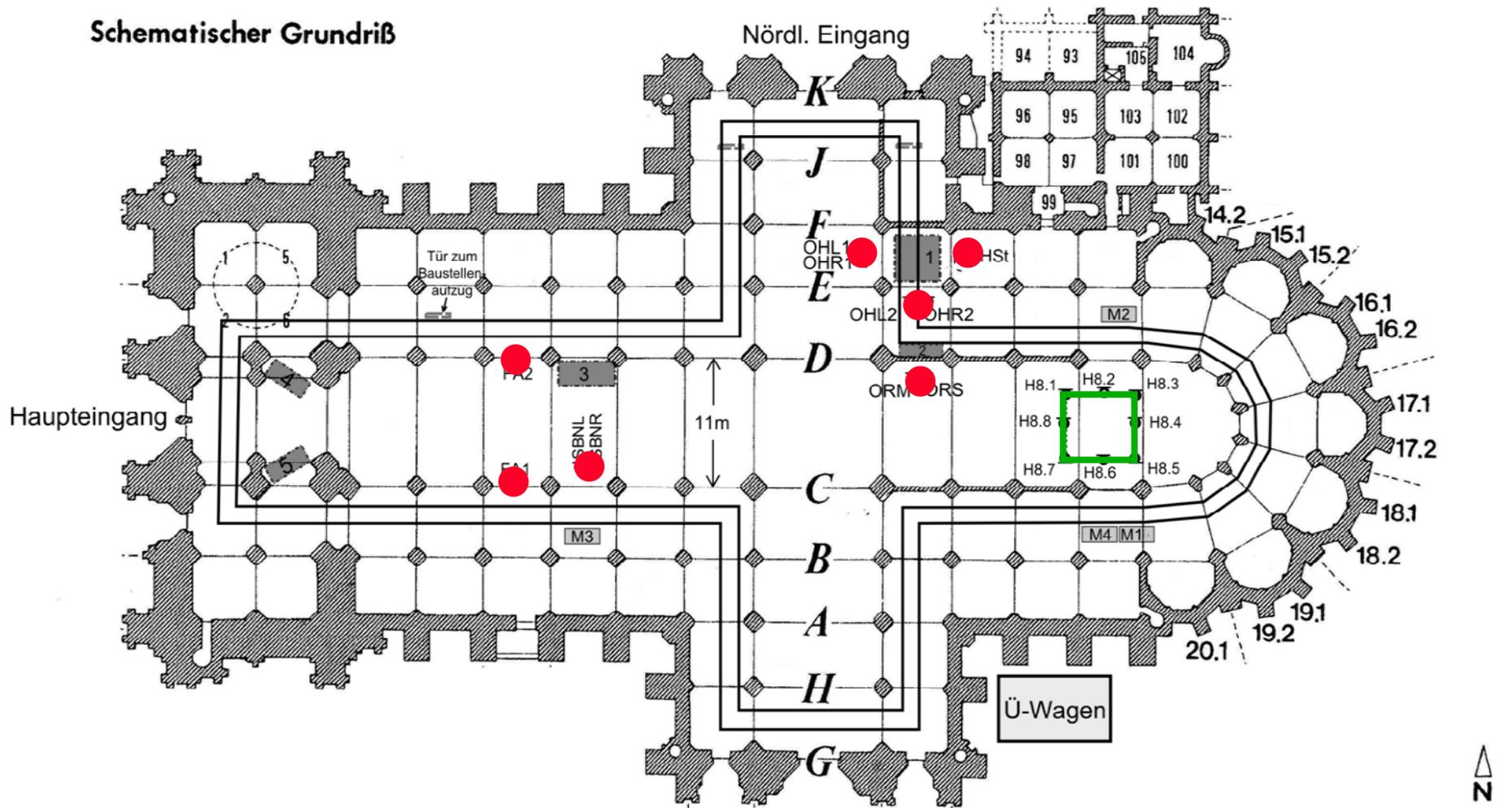


Fanfarenregister 1



# Kölner Dom

## Schematischer Grundriß



Legende:



Hauptorgel



Schwalbennest-  
orgel



Fanfarenregister 2



Rückpositiv  
Hauptorgel

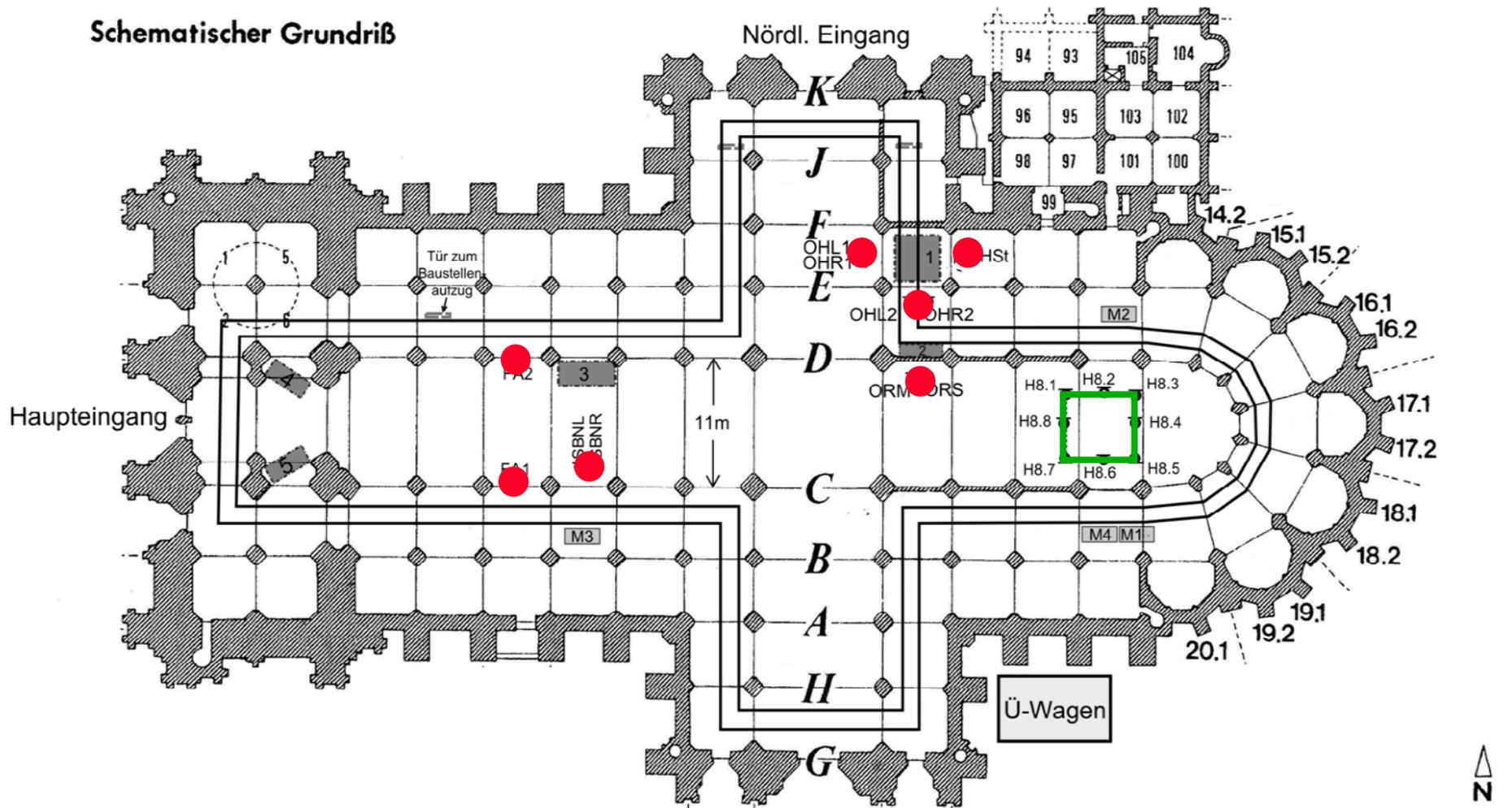


Fanfarenregister 1

Direktschall  
Frühe Reflexionen  
Später Nachhall

# Kölner Dom

## Schematischer Grundriß



Legende:



Hauptorgel



Schwalbennest-  
orgel



Fanfarenregister 2



Rückpositiv  
Hauptorgel



Fanfarenregister 1

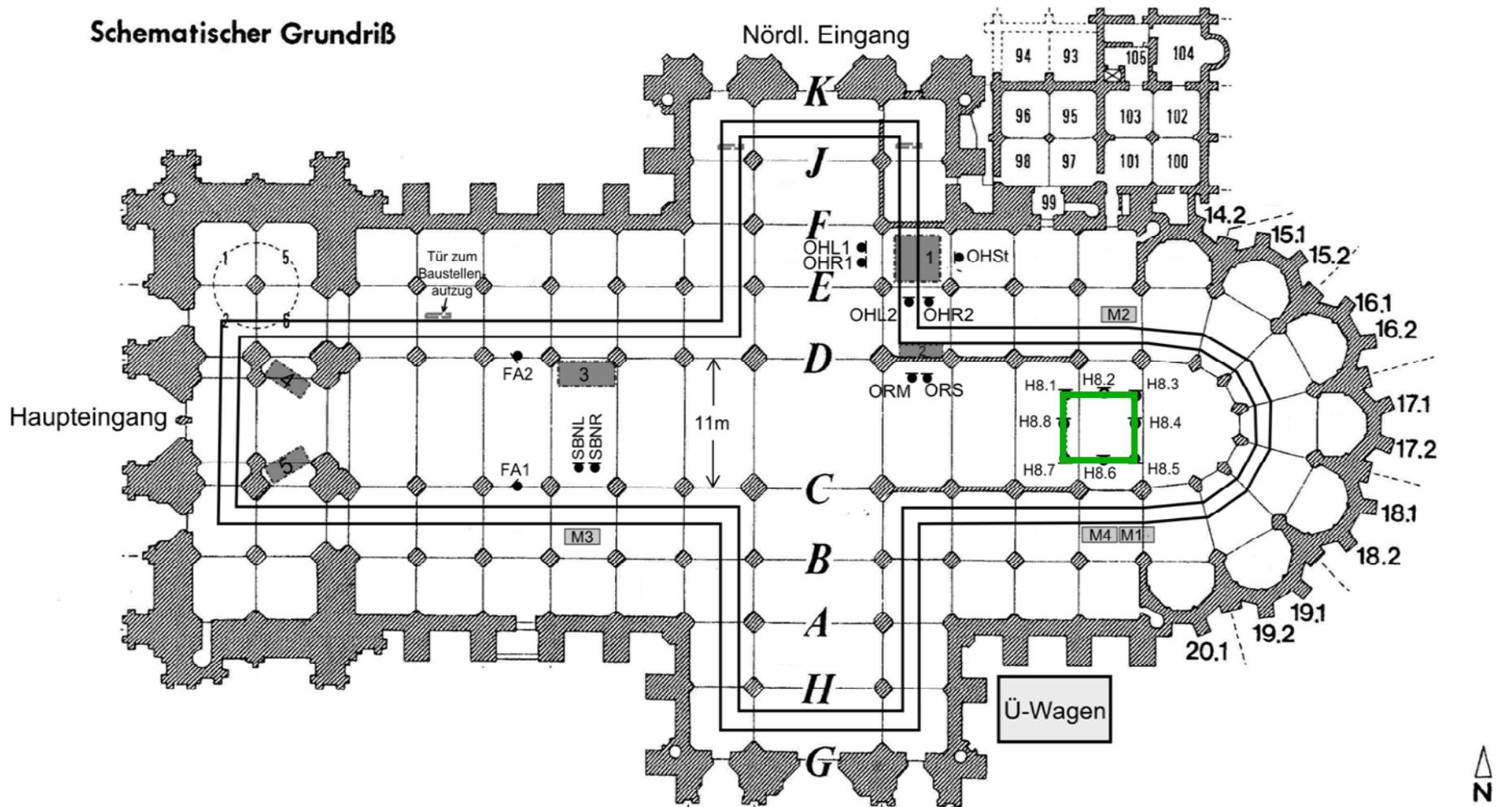
**Direktschall**

Frühe Reflexionen

**Später Nachhall**

# Kölner Dom

## Schematischer Grundriß



Legende:



Hauptorgel



Schwalbennest-  
orgel



Fanfareregister 2



Rückpositiv  
Hauptorgel

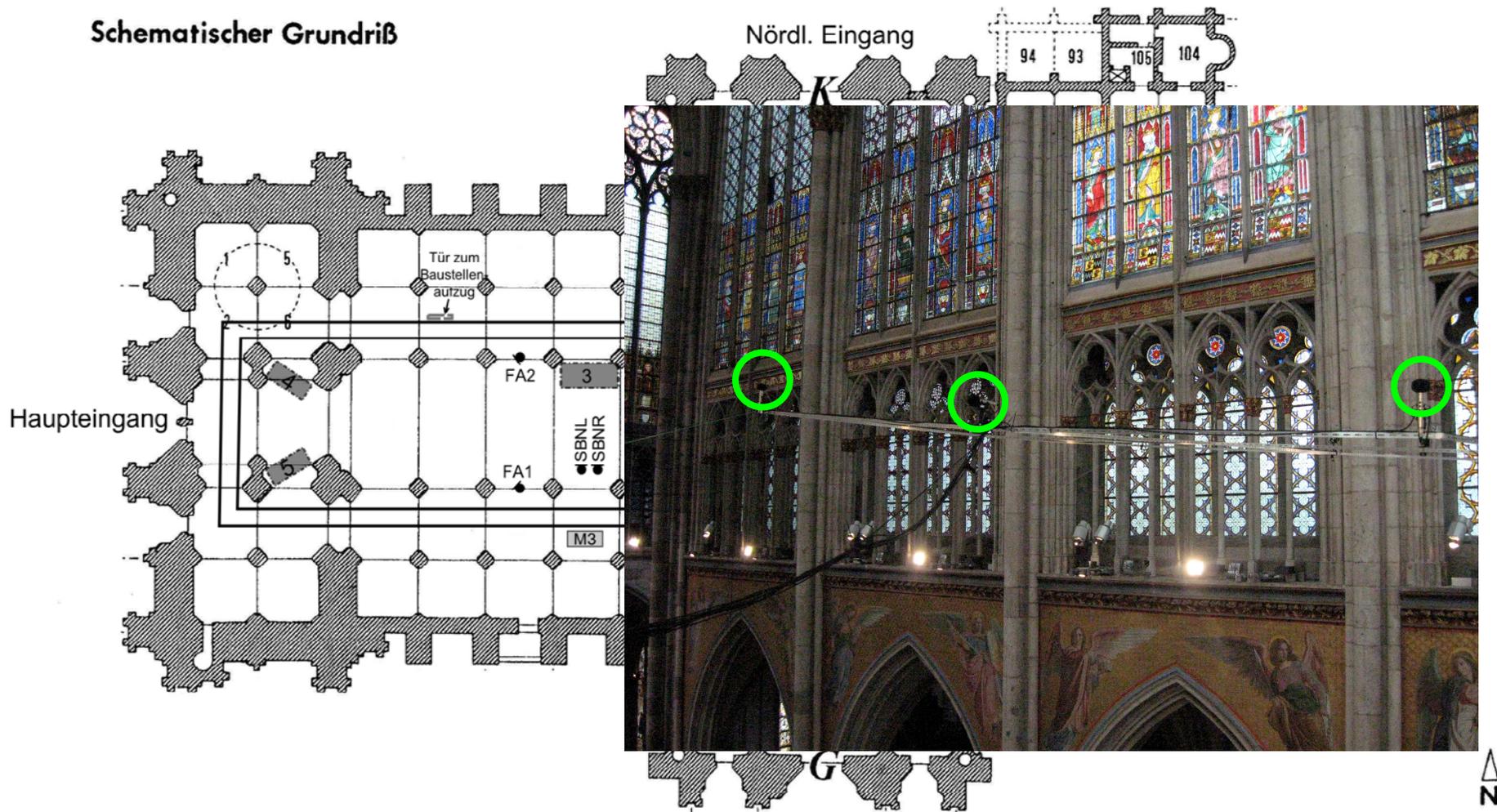


Fanfareregister 1

Direktschall  
Frühe Reflexionen  
Später Nachhall

# Kölner Dom

## Schematischer Grundriß



Legende:

1

Hauptorgel

3

Schwalbennest-  
orgel

5

Fanfarenregister 2

2

Rückpositiv  
Hauptorgel

4

Fanfarenregister 1

Direktschall  
Frühe Reflexionen  
Später Nachhall







Officier Messagers  
**Livre du Saint Sacrement**  
Messe de la  
Trinité et de la  
Saint-Esprit

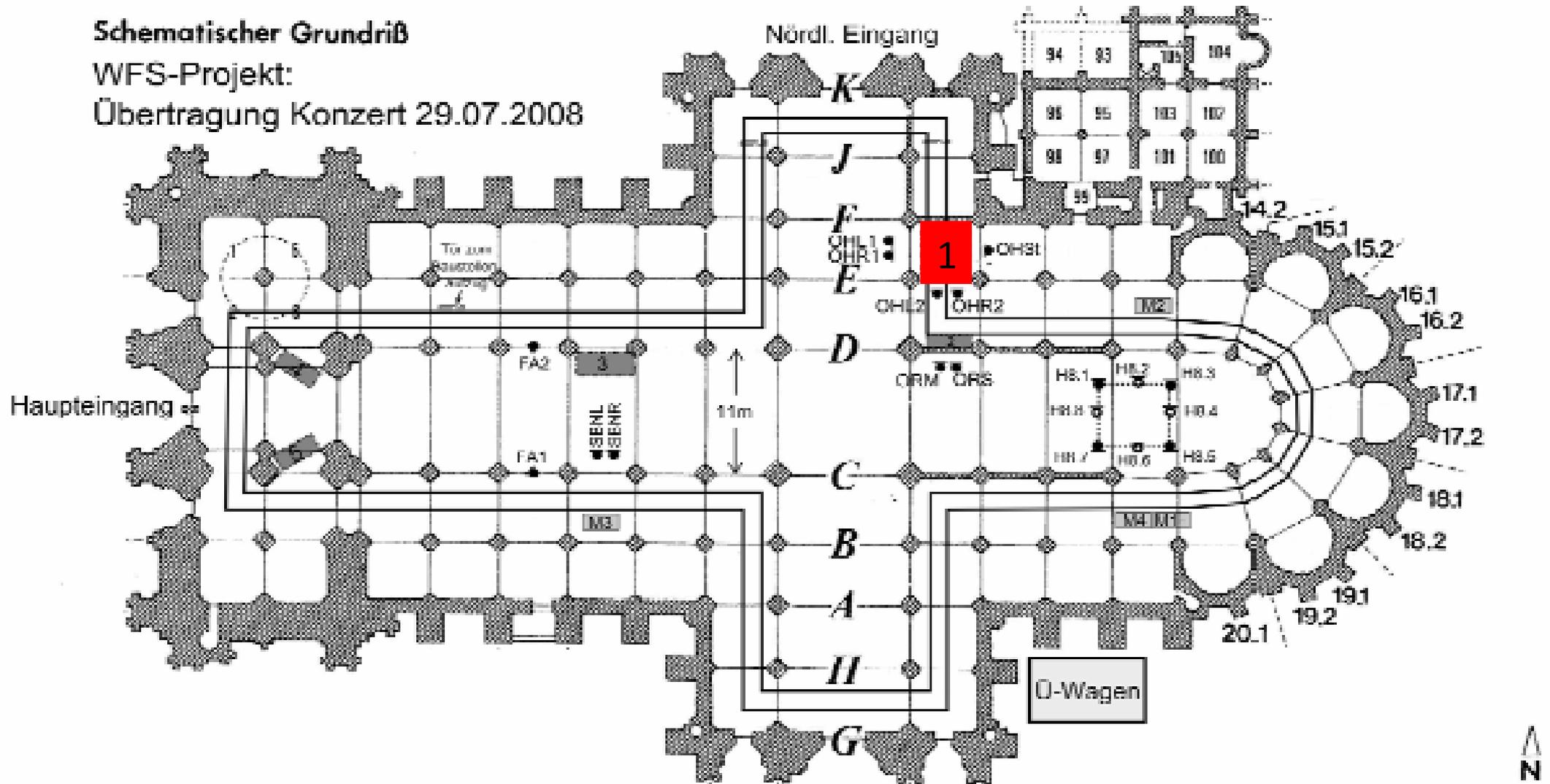
Officier Messagers  
**Livre du Saint Sacrement**  
Messe de la  
Trinité et de la  
Saint-Esprit

# Kölner Dom

Schematischer Grundriß

WFS-Projekt:

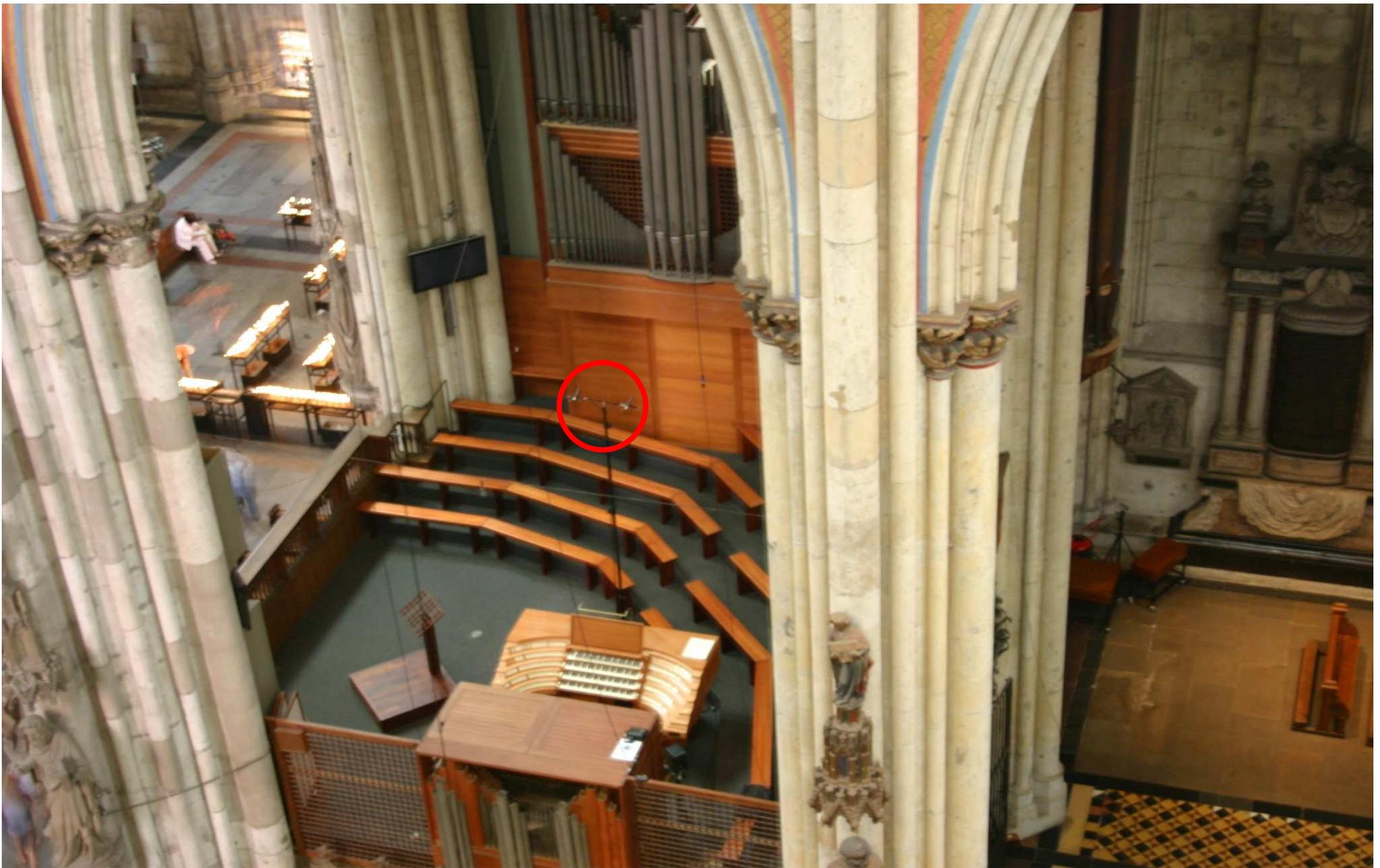
Übertragung Konzert 29.07.2008



Legende:

- |          |                           |          |                         |          |                    |
|----------|---------------------------|----------|-------------------------|----------|--------------------|
| <b>1</b> | Hauptorgel                | <b>3</b> | Schwalbennest-<br>orgel | <b>5</b> | Fanfarenregister 2 |
| <b>2</b> | Rückpositiv<br>Hauptorgel | <b>4</b> | Fanfarenregister 1      |          |                    |

Stand: 29.07.2008



Kunsthochschule für Medien Köln  
Academy of Media Arts



Institut fuer Musik Und Medien  
Robert Schumann Hochschule Duesseldorf



Fraunhofer Institut  
Digitale Medientechnologie

Fachgebiet Audiokommunikation

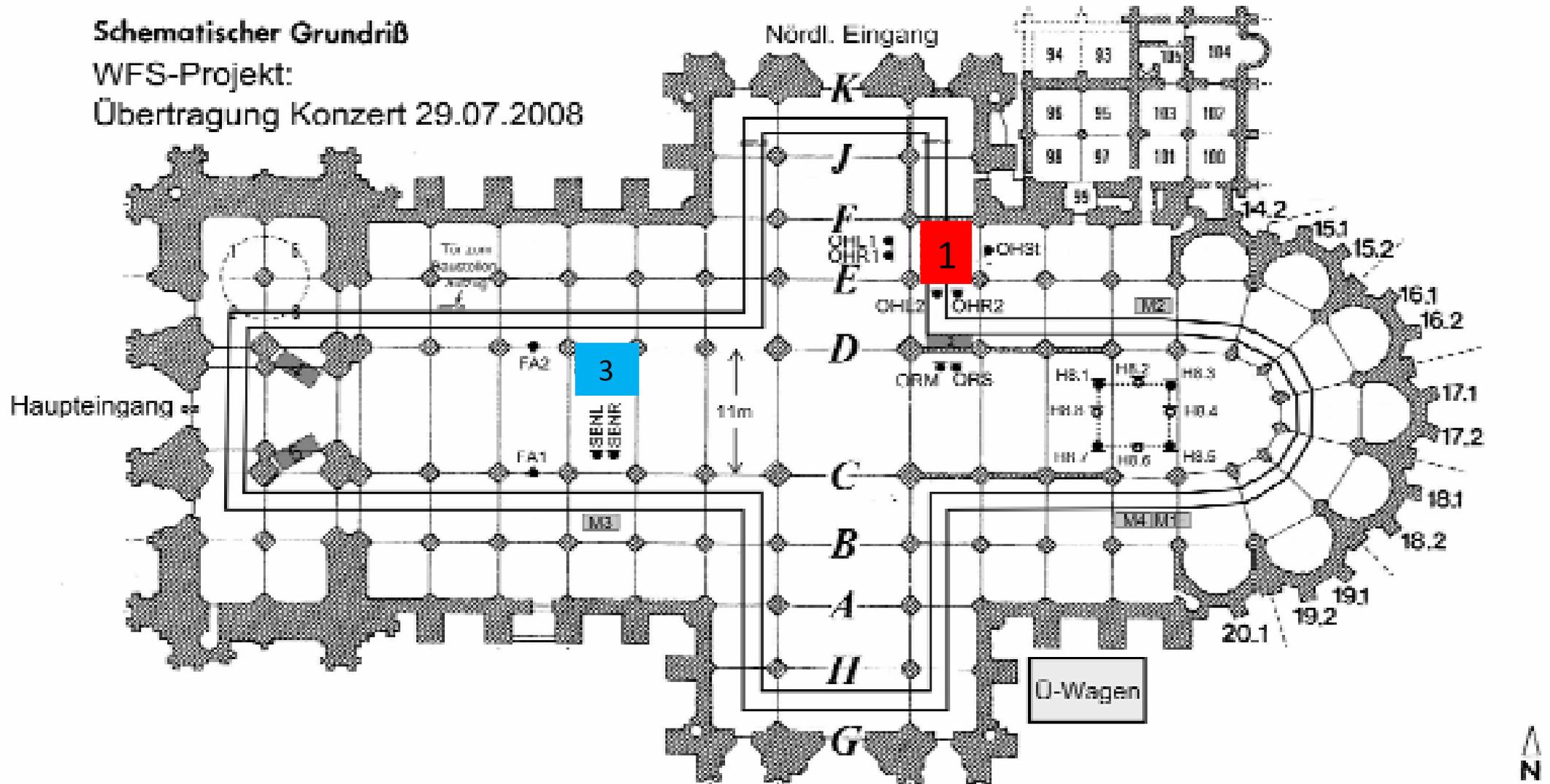


# Kölner Dom

Schematischer Grundriß

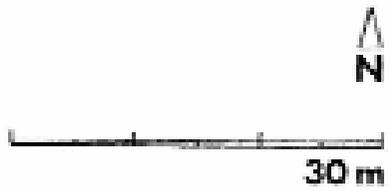
WFS-Projekt:

Übertragung Konzert 29.07.2008



Legende:

- 1 Hauptorgel
- 3 Schwalbennestorgel
- 2 Rückpositiv Hauptorgel
- 4 Fanfarenregister 1
- 5 Fanfarenregister 2



Stand: 29.07.2008

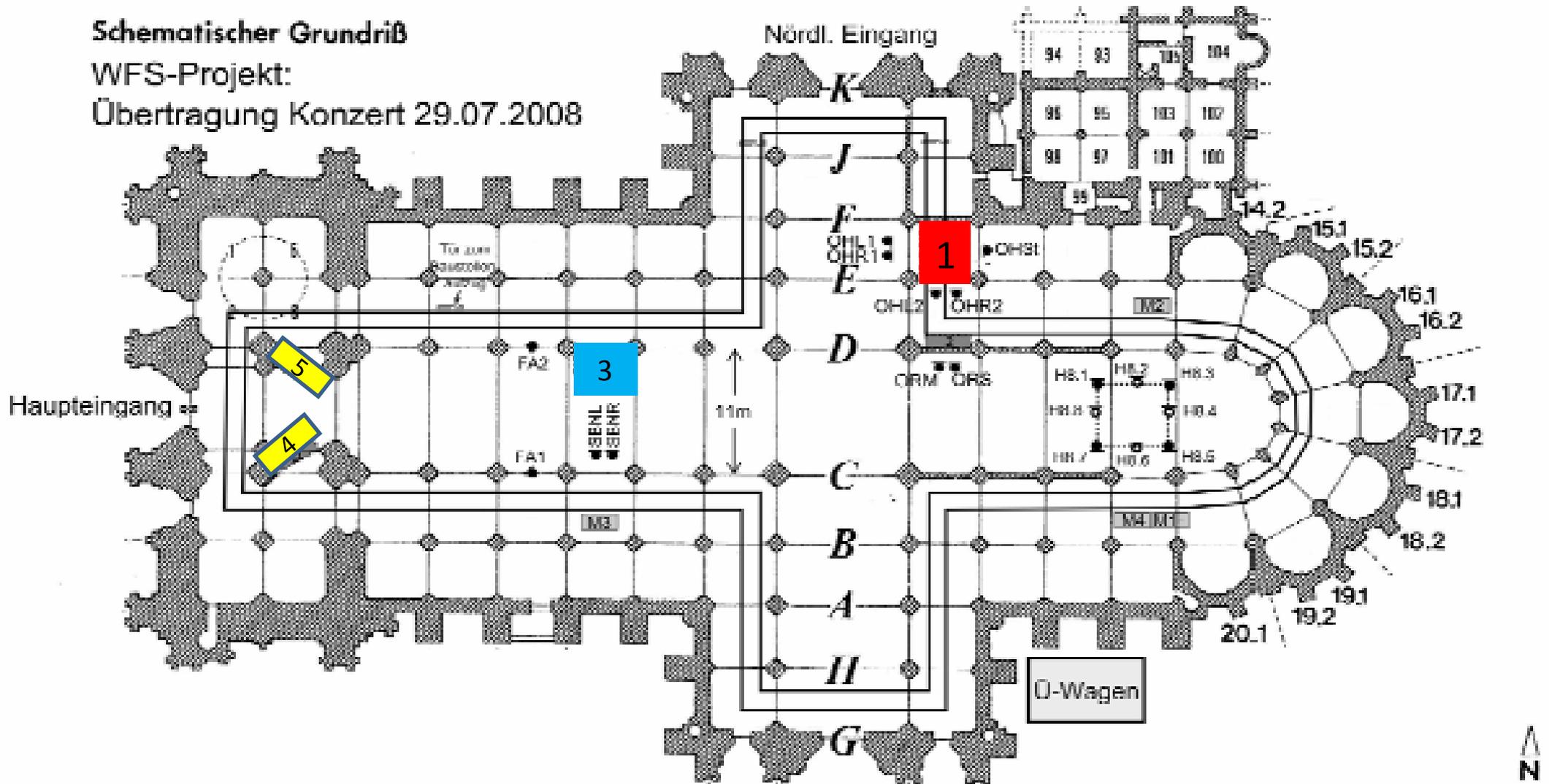


# Kölner Dom

Schematischer Grundriß

WFS-Projekt:

Übertragung Konzert 29.07.2008



Legende:



1 Hauptorgel

2 Rückpositiv Hauptorgel



3 Schwalbennestorgel

4 Fanfarenregister 1



5 Fanfarenregister 2



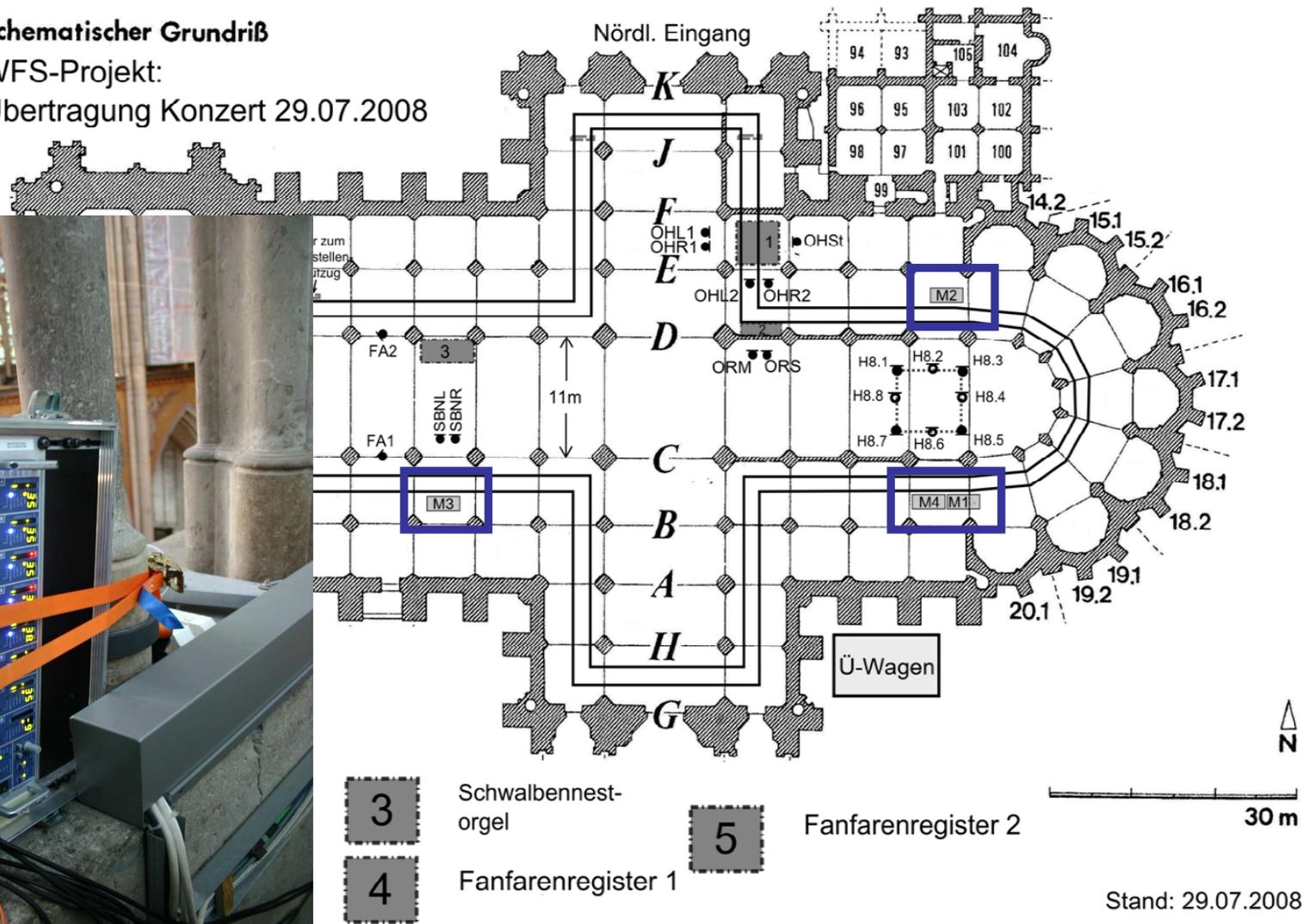
Stand: 29.07.2008

# Kölner Dom

Schematischer Grundriß

WFS-Projekt:

Übertragung Konzert 29.07.2008



# Übertragung

Datenvolumen bei linearer Übertragung  
(mit JackTrip):

24 diskrete Audiokanäle  
\* 32 Bit Float bei 48KHz

---

**ca. 37 MBit/s**

Alternativ: OggVorbis-Kodierung:

24 diskrete Audiokanäle  
\* 160 KBit/s pro Kanal

---

**ca. 4 MBit/s**

# Übertragung

Optionen zur Übertragung:

\* **WAN/Ethernet**

\* **DSL** (evtl. mehrere Leitungen parallel)

\* **ISDN**

# Übertragung

Optionen zur Übertragung:

\* ~~WAN/Ethernet~~

am Dom nicht vorhanden

\* **DSL** (evtl. mehrere Leitungen parallel)

\* **ISDN**

# Übertragung

Optionen zur Übertragung:

\* ~~WAN/Ethernet~~

am Dom nicht vorhanden

\* ~~DSL (evtl. mehrere Leitungen parallel)~~

SDSL nicht verfügbar, ADSL 18Mbit/s für 2500,- €

Probleme bei Trunking mit UDP

\* **ISDN**



# Übertragung

Optionen zur Übertragung:

\* ~~WAN/Ethernet~~

am Dom nicht vorhanden

\* ~~DSL (evtl. mehrere Leitungen parallel)~~

SDSL nicht verfügbar, ADSL 18Mbit/s für 2500,- €

Probleme bei Trunking mit UDP

\* ~~ISDN~~

benötigte Bandbreiten werden nicht erreicht



# Übertragung

Konsequenz:

PtP-Link aus dem Dom zu einer „netzfreundlicheren“ Gegenstelle:

Kooperation mit der  
**Kunsthochschule für Medien, Köln (KHM).**

850 m Luftlinie, Sichtverbindung

\* **WLAN mit Richtantenne**

\* **Laser**



# Übertragung

Konsequenz:

PtP-Link aus dem Dom zu einer „netzfreundlicheren“ Gegenstelle:

Kooperation mit der  
**Kunsthochschule für Medien, Köln (KHM).**

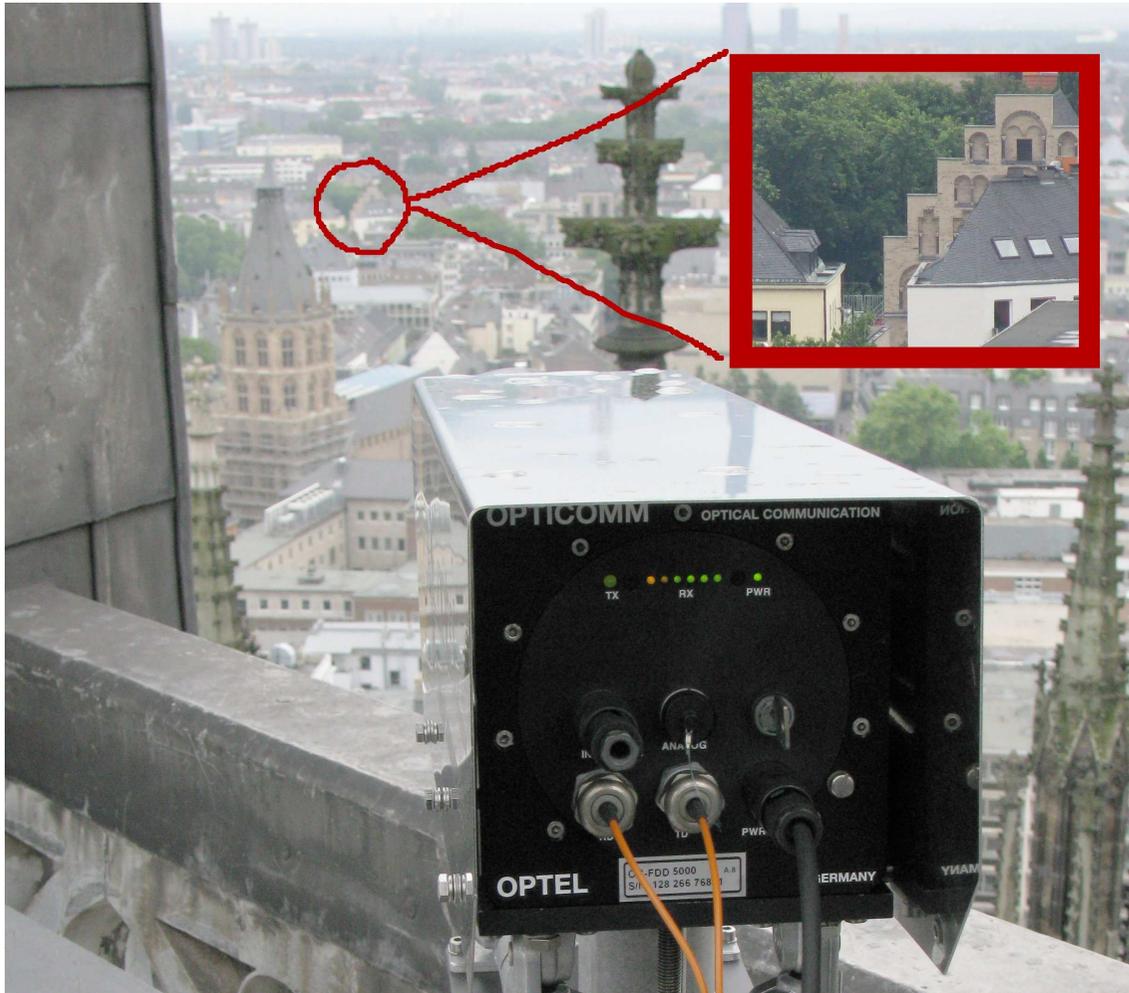
850 m Luftlinie, Sichtverbindung

\* ~~WLAN mit Richtantenne~~

unzuverlässig, Kanäle können jederzeit durch Dritte belegt werden, notwendige Sendeleistung rechtlich problematisch

\* **Laser**

# Übertragung



## PtP-Infrarotlaser

mit 155 MBit/s Bandbreite

(Dank an Fa. OPTEL, Hamburg für die freundliche Unterstützung!)

Anbindung des Dom-Sendenetzes an den NetCologne-Backbone über einen Linux-NAT-Router per 2 GBit/s-Leitung.



# Übertragung

Probleme:

- \* **Unterspannung im Dom (Hardware Schäden)**  
→ Kompensation durch Schaltnetzteile

# Übertragung

Probleme:

- \* **Unterspannung im Dom (Hardware Schäden)**  
→ Kompensation durch Schaltnetzteile
- \* **Baumwuchs**  
→ Neuausrichtung des Lasers 4 Tage vor Produktionsbeginn

# Übertragung

Probleme:

- \* **Unterspannung im Dom (Hardwareeschäden)**

→ Kompensation durch Schaltnetzteile

- \* **Baumwuchs**

→ Neuausrichtung des Lasers 4 Tage vor Produktionsbeginn

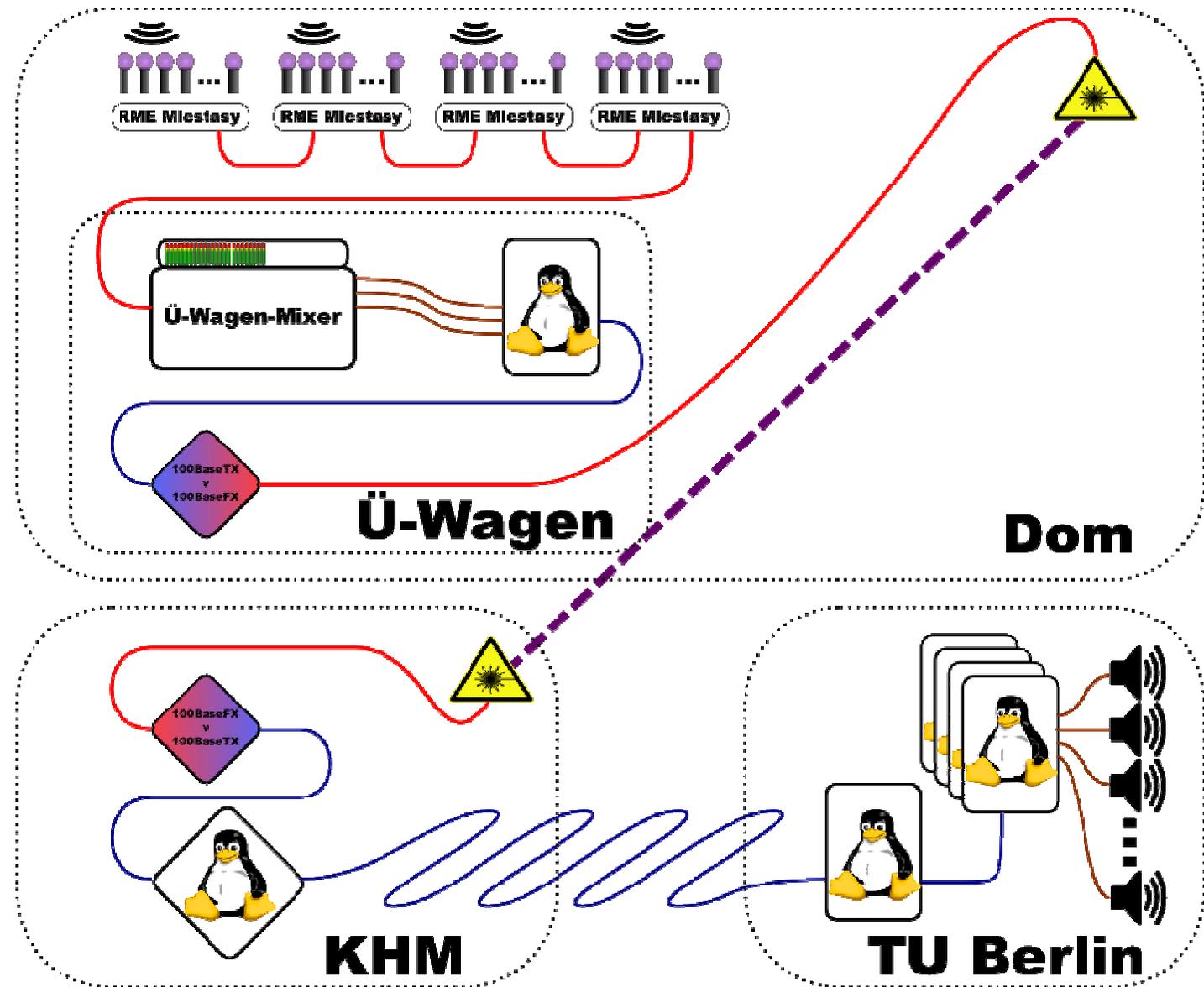
- \* **Paketverluste auf dem TU-Campus**

(verursachten bei UDP-Übertragung hörbare drop outs, redundante Übertragung in JackTrip funktioniert bei hohen Kanalzahlen nicht)

→ Rückgriff auf HTTP-Streaming mit hoher Latenz und leichter Datenkompression (Icecast, Ogg Vorbis)

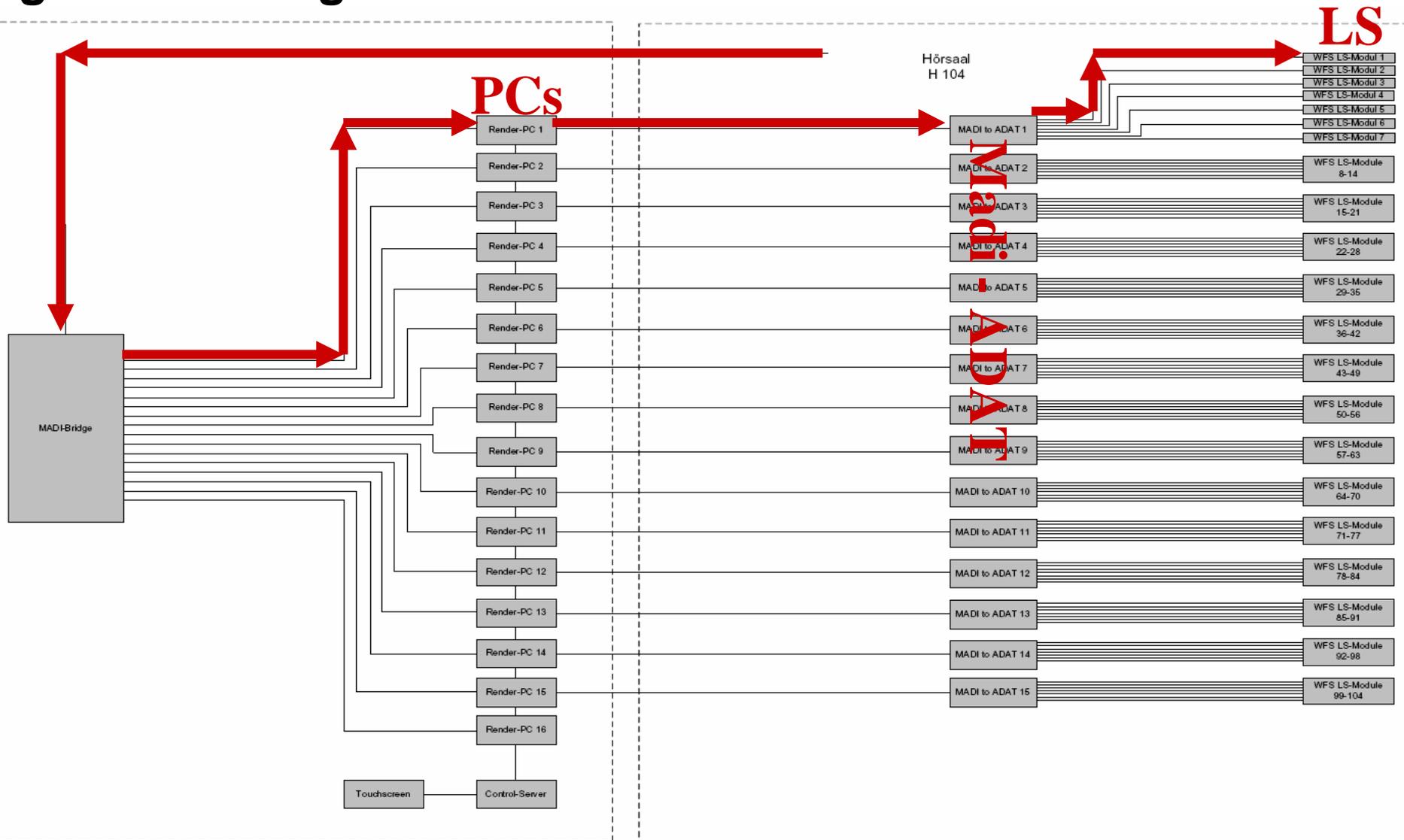


# Übertragung

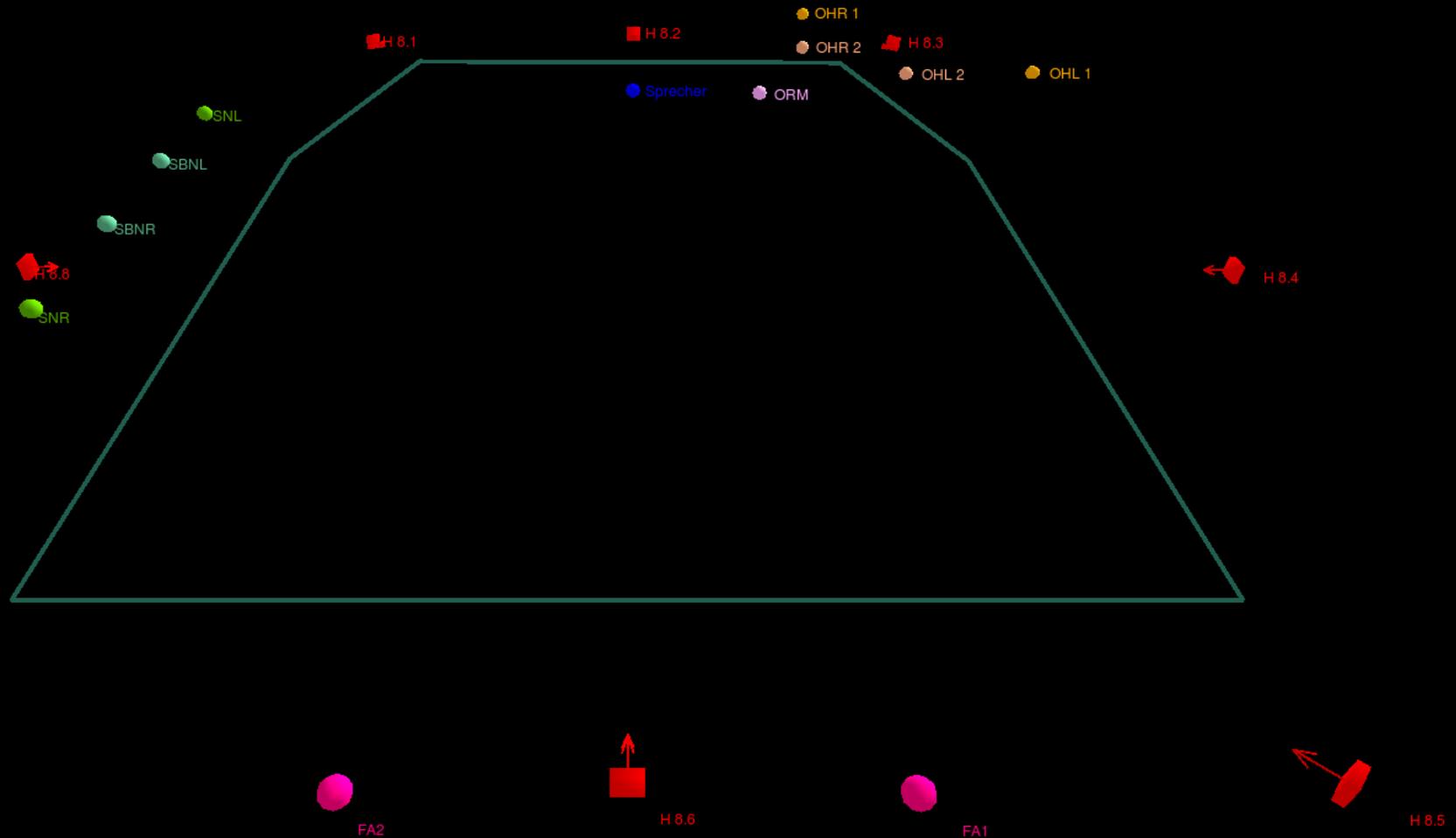




# Signalverteilung



# Livre du Saint Sacrement – Konfiguration der Schallquellen



H0104 (View unlocked)

# Gelasserte Akkorde

Mit viel technischer Raffinesse wurde am Dienstag ein Orgelkonzert aus dem Kölner Dom in die TU B

VON JEAN PIERRE BASSENGE

Das Podium war leer, das Rednerpult verwaist. Die Hauptakteure des Abends blieben im Hintergrund zurück, an den Wänden des vollen TU-Hörsaals: eine Kette von 2700 Lautsprechern, die sich in Ohrenhöhe der Zuhörer einmal rings um das Auditorium wand. Mit Hilfe dieses rund eine halbe Million Euro teuren und 20000 Watt starken Klangsystems brachten die Toningenieure der Technischen Universität am Dienstag Abend gewissermaßen den Berg zum Projizieren: Sie übertrugen ein Orgelkonzert aus dem mehr als 600 Kilometer entfernten Kölner Dom in Echtzeit nach Berlin – und gaben den Nachhall der röhrenden Bässe und schmetternden Fanfaren auf so realistische Weise wieder, dass die gut 500 Zuhörer nur ihre Augen zu schließen brauchten, um sich im Mittelschiff der riesigen gotischen Kathedrale zu wägen.

Die Akustik-Experten um den TU-Professor Stefan Weinzierl hatten sich für ihr Experiment den Höhepunkt der diesjährigen Kölner

reichsten Organisten des 20. Jahrhunderts. Der im Jahr 1984 komponierte eineinhalbstündige Orgelzyklus vereint unter dem allgemeinen Motiv des tiefen christlichen Glaubens so verschiedenartige Vorbilder wie gregorianische Choräle, indische Rhythmen und zahlreiche Vogelstimmen, die Messiasen während seiner Reisen aufgezichnet hat.

Um nicht nur die 1500 Gäste in Köln, sondern auch die Berliner Zuhörer an dem Klangspektakel teilhaben zu lassen, war der Dom zuvor mit zwei Dutzend Mikrofonen verkabelt worden – sechs an der Querhausorgel im Domchor, vier an der Schwalbennestorgel an der Längsseite, jeweils zwei an den beiden Fanfarentürmen, und die restlichen in der Kathedrale verteilt, um den diffusen Bodenschall aufzunehmen. Die Signale wurden anschließend per Kabel einen der beiden Kirchtürme hinaufgeschickt, von dort mit einem Richtlaser auf

uns das Wetter leicht einen Strich durch die Rechnung hätte machen können.

Tat es dann aber nicht. Mit Ausnahme einiger kurzer Aussetzer zu Beginn des Konzerts und einem besonders peinlichen im Schlussakkord gelangten die Daten mit einer Verzögerung von zweieinhalb Sekunden sicher an die TU Berlin. Dort wurden sie nach einem speziellen physikalischen Prinzip namens Wellenfeldsynthese aufbereitet. Für jeden der 2700 Lautsprecher im Hörsaal wird dabei berechnet, in welchem Moment die Schallwellen der Orgeln durch seine räumliche Position hindurchlaufen würden. In genau diesem Augenblick versetzt der Computer die Membranen der Lautsprecher in Schwingungen, so dass der Zuschauer keinen Unterschied zwischen echter und simulierter Orgel feststellen kann.

**Für die Zukunft sei zumindest theoretisch denkbar, ein Dom-Konzert auch ohne Dom aufzuzeichnen.**

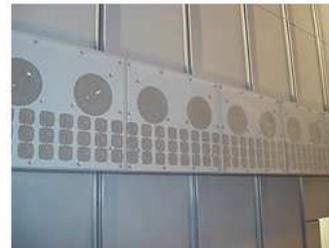
Auch wer nur einen Platz am

sonnigen Gelände stand, konnte das Sacrament", einer der bedeutendsten Orgelkompositionen des 20. Jahrhunderts. Doch nicht nur in Köln kamen zahlreiche Zuhörer in ein einzigartiges akustisches Genuss. Parallel verfolgten mehr als 600 M

Neue Technik

## Den Klang des Kölner Doms durchs Land geb

Diesen Artikel: [Drucken](#) | [Weiterempfehlen](#)



© Anke Peters

Insgesamt 2700 Lautsprecher im Hörsaal H 104 der TU Berlin erzeugen einen unglaublichen Sound

Von Sebastian Peters

Erstmals wurde ein Konzert der so genannten Wellenfeldsynthese-Technik dem Kölner Dom live an die Berliner übertragen. Diese neue Klangzeugung soll ein perfektes Sound vermitteln, den kleinen Hörsaal in eine Kirche verwandelt - akustisch

Wer den Hohen Dom zu Köln der weiß: Hier findet man ein besonderes Akustik. Am Dienstagabend erfüllte Dom-Winfried Böing die Gewölbe Messiasens "Livre du Saint

Sacrament", einer der bedeutendsten Orgelkompositionen des 20. Jahrhunderts. Doch nicht nur in Köln kamen zahlreiche Zuhörer in ein einzigartiges akustisches Genuss. Parallel verfolgten mehr als 600 M im Hörsaal H 104 der Technischen Universität Berlin die Aufführung. Es wurde ein Konzert mithilfe der Wellenfeldsynthese-Technik in Echtzeit an anderen Ort übertragen und aufgeführt. Wer im Hörsaal die Augen sch

### Deutschlandfunk

Wir über uns | Vorschau | Frequenzen

### COMPUTER & KOMMUNIKATION

02.08.2008



Per Wellenfeldsynthese gelangte ein Konzert im Kölner Dom klangecht nach Berlin. (Bild: AP)

### Klangwunder aus dem Lautsprecherwald

Berliner Forscher übertragen Live-Konzert per Wellenfeldsynthese

Von Jan Rähm

Diese Woche versuchten Wissenschaftler der Technischen Universität Berlin, akustisch den Kölner Dom in die Hauptstadt zu bringen: Sie übertrugen ein Orgelkonzert aus der Kathedrale am Rhein über Wellenfeldsynthese. Die aufwändige Audiotechnologie gibt Tonereignisse nicht einfach nur wieder, sondern simuliert die Klangquellen.

Montag, Hörsaal 104 der Technischen Universität Berlin. Zwischen Lautsprecherboxen, Mischpulten und jeder Menge Computer grübeln Stefan Weinzierl, Leiter des Fachgebiets Audiokommunikation an der TU, und sein zehnköpfiges Team darüber nach, warum am Mischpult kein Tonsignal ankommt. Ohne dieses Signal sieht es schlecht aus für ihr Experiment: Die Audiowissenschaftler wollen den Kölner Dom nach Berlin holen - rein akustisch. Sie wollen ein Orgelkonzert übertragen - mit Hilfe der Wellenfeldsynthese:

Wellenfeldsynthese ist ein etwa zehn Jahre altes Verfahren, bei dem nicht Kanäle übertragen werden wie in der Stereophonie, sondern Schallquellen. Das heißt: Wir übertragen das Signal einer Schallquelle und eine Software erzeugt daraus Lautsprechersignale, die sich so überlagern, dass das Wellenfeld der Schallquelle im physikalischen Original wieder entsteht.

Das Verfahren nennen die Wissenschaftler auch akustische Holografie. Der Zuhörer soll dabei nicht die einzelnen Lautsprecher wahrnehmen, sondern die aus

### Kultur

#### Akustik-Experiment mit neuer Übertragungstechnik Der Kölner Dom klingt bis Berlin

Am Dienstag (29.07.08) wird ein Orgelkonzert aus dem Kölner Dom nach Berlin übertragen. Das Besondere daran: Die Zuhörer in Berlin sollen sich so fühlen, als säßen sie mitten im Dom. Möglich macht dies die sogenannte Wellenfeldsynthese.



Toningenieur Hans Schlosser

Es ist eine Weltpremiere: Mit modernster Übertragungstechnik wird ein Orgelkonzert - und zwar inklusive Raumerlebnis - von Köln nach Berlin übertragen. Dafür sorgen 2.700 Lautsprecher in einem speziellen Hörsaal der TU Berlin. Eine Gruppe von sechs Studierenden der Robert Schumann Hochschule aus Düsseldorf baut, schraubt und testet seit Montagmorgen (28.07.09)

im Kölner Dom zusammen mit ihrem Dozenten Hans Schlosser. WDR.de sprach mit dem Diplomingenieur über das Experiment.

WDR.de: Was ist bei der Wellenfeldsynthese anders als bei einer Konzertaufnahme auf CD?

Hans Schlosser: Dass ich wirklich die gesamte Akustik des Raums wiedergeben kann. Das Prinzip der Wellenfeldsynthese, das wir hier anwenden, besagt, dass man Schallwellen aufnimmt und überträgt.



Home | Newsticker | 7-Tage-News | News-Archiv | Leserforum

keine online > News > 2008 > HW 30 > Ohrenschmaus: Kölner Orgelkonzert live in Berliner Hightech-Hörsaal

21.07.2008 16:39

« Vorige | Nächste »

## Ohrenschmaus: Kölner Orgelkonzert live in Berliner Hightech-Hörsaal erleben

11 | vorlesen / MP3-Download



Rund 2700 Lautsprecher sorgen im Hörsaal 104 der TU Berlin für eine atemberaubende Akustik.

Die Technische Universität Berlin bietet Akustik-Fans am kommenden Dienstag (29. Juli) einen ganz besonderen Ohrenschmaus: Im Rahmen des Programms Inventionen 2008 wird aus dem Kölner Dom ab 19:30 Uhr ein Konzert mit verschiedenen Orgeln und Orgelwerken live in den Hörsaal 104 der TU Berlin übertragen. Das Auditorium mit 650 Sitzplätzen ist seit dem vergangenen Jahr mit der weltweit größten Beschallungsanlage nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese ausgestattet.

Bei der Wellenfeldsynthese handelt es sich um ein Verfahren der akustischen Holografie, das eine Synthese von Wellenfronten virtueller Schallquellen durch Lautsprecherarrays ermöglicht. Ein aus insgesamt 2700 Lautsprechern bestehendes Band umläuft dazu den Hörsaal etwa auf Ohrhöhe der Zuhörer; hinzu kommen Frontbeschallung sowie Deckenlautsprecher für Höheninformationen. Angesteuert werden die Lautsprecher über digitale Datenleitungen mit 832 unabhängigen Signalen, die ihrerseits von einem Cluster aus 16 Rechnern generiert werden.

Die Technik ermögliche nicht nur eine authentische Reproduktion der Akustik des Kölner Doms, sondern erlaube auch eine originalgetreue räumliche Abbildung der verschiedenen Orgeln und Orgelwerke, versprechen die Veranstalter. Dazu gehören die 1948 erbaute Querhausorgel, die zum Domjubiläum 1998 vollendete "Schwalbennestorgel" im Langhaus des Doms, sowie die seit 2006 oberhalb des Hauptportals im Westen erklingenden beiden Tuba-Register.



GPR : fonds 16, 8, 4, mixtures, pleins-jeux, anches 16, 8, 4 | PG , RG |

Ped : fonds 32, 16, 8, 4, anches 16, 8, 4 | tirasses G,P,R |

**Très lent**

The image shows a musical score for three parts: MAN. (GPR), PED., and ED. (MAN., PED.). The score is marked "Très lent" and "legato". It features complex fingerings and dynamics like "fff".

**MAN. GPR** *legato* *fff*

**PED.** *legato* *fff*

**MAN. PED.**

# Kontakt

## Stefan Weinzierl

Fachgebiet Audiokommunikation, TU Berlin  
stefan.weinzierl@tu-berlin.de

## Frank Melchior

Fraunhofer IDMT | TU Delft  
mor@idmt.fraunhofer.de

## Hans Schlosser

VDT  
schlosser@tonmeister.de

## Jörn Nettingsmeier

nettings@apache.org