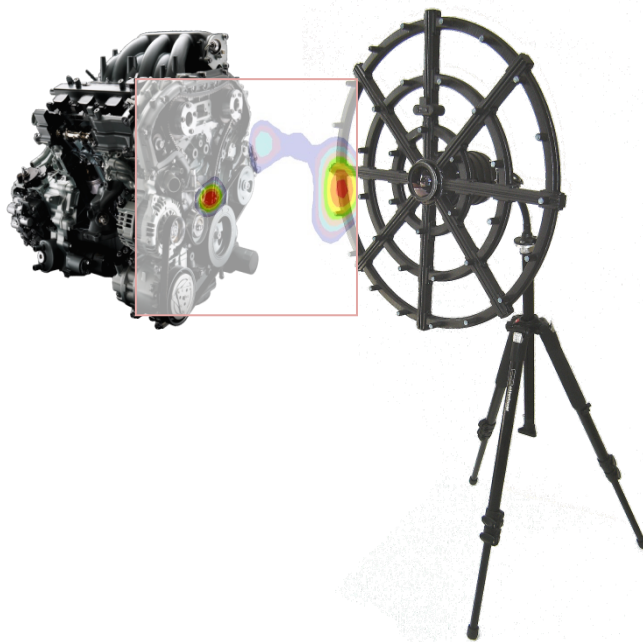


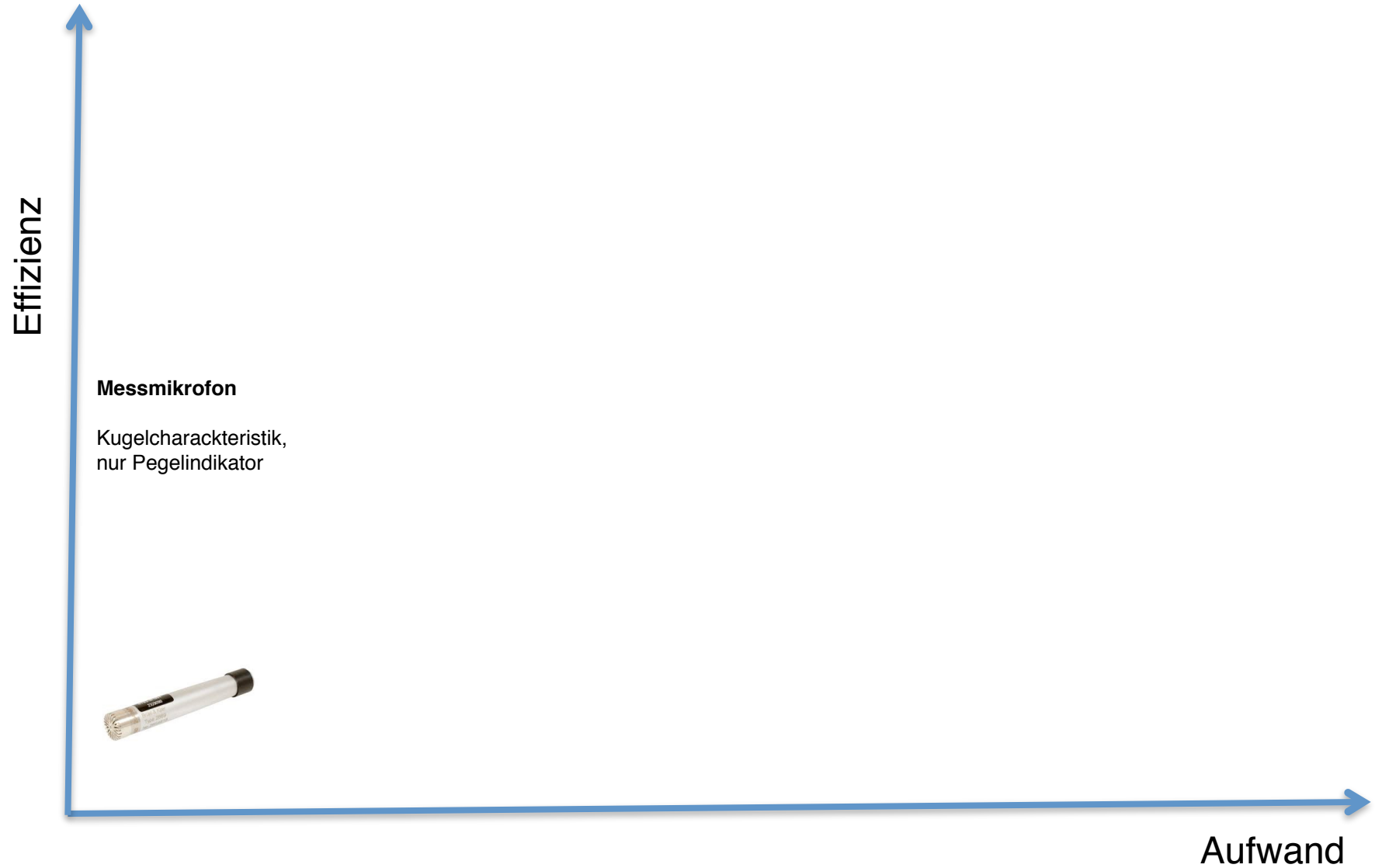
Einführung

Die Messung mit einem Mikrofonarray als Schallempfänger mit ausgeprägter, selektiver Richtcharakteristik erlaubt es, in kurzer Zeit Schallquellen an komplexen Objekten zu lokalisieren, zu trennen und zu quantifizieren.



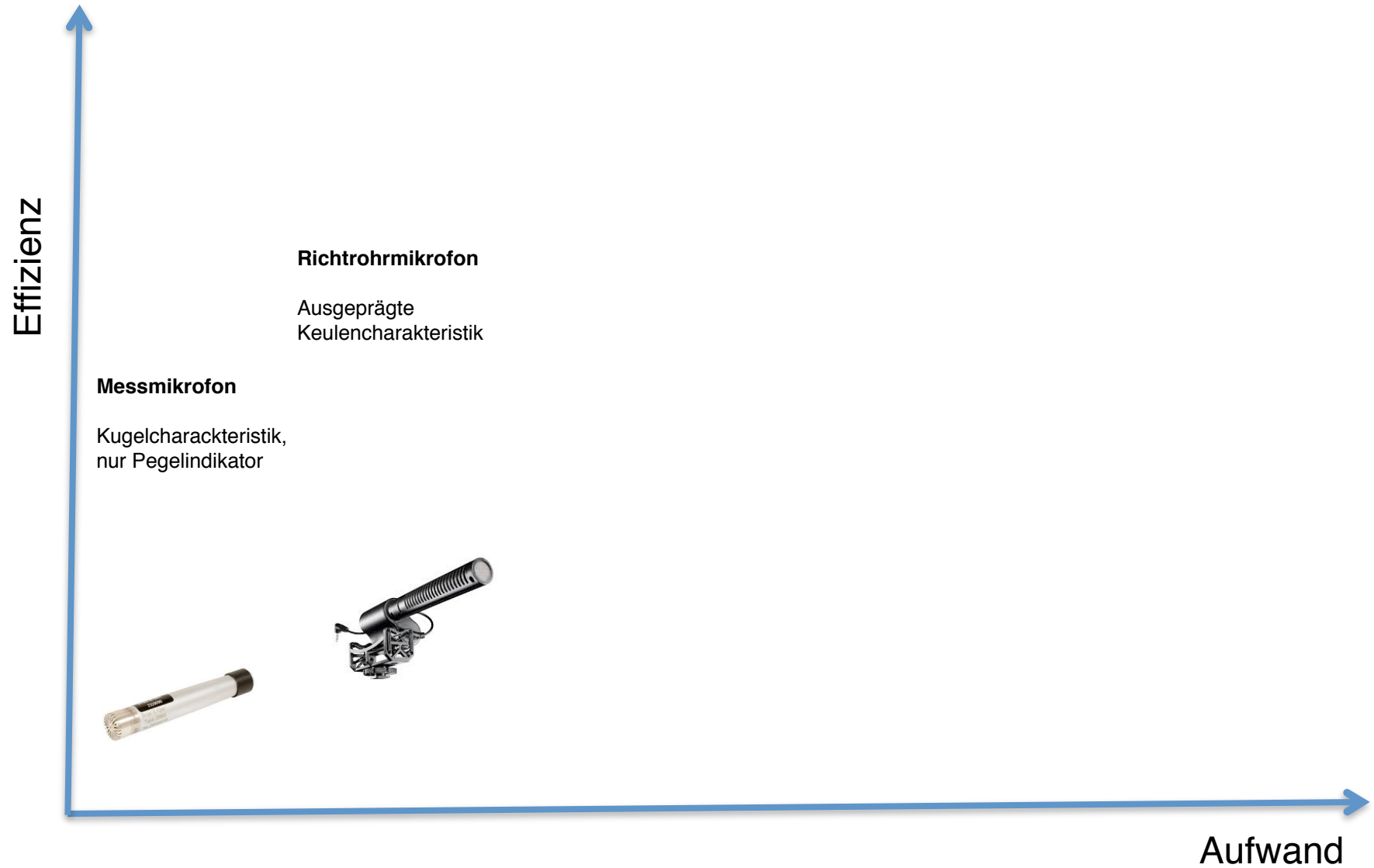
# Schallortung

## Einführung



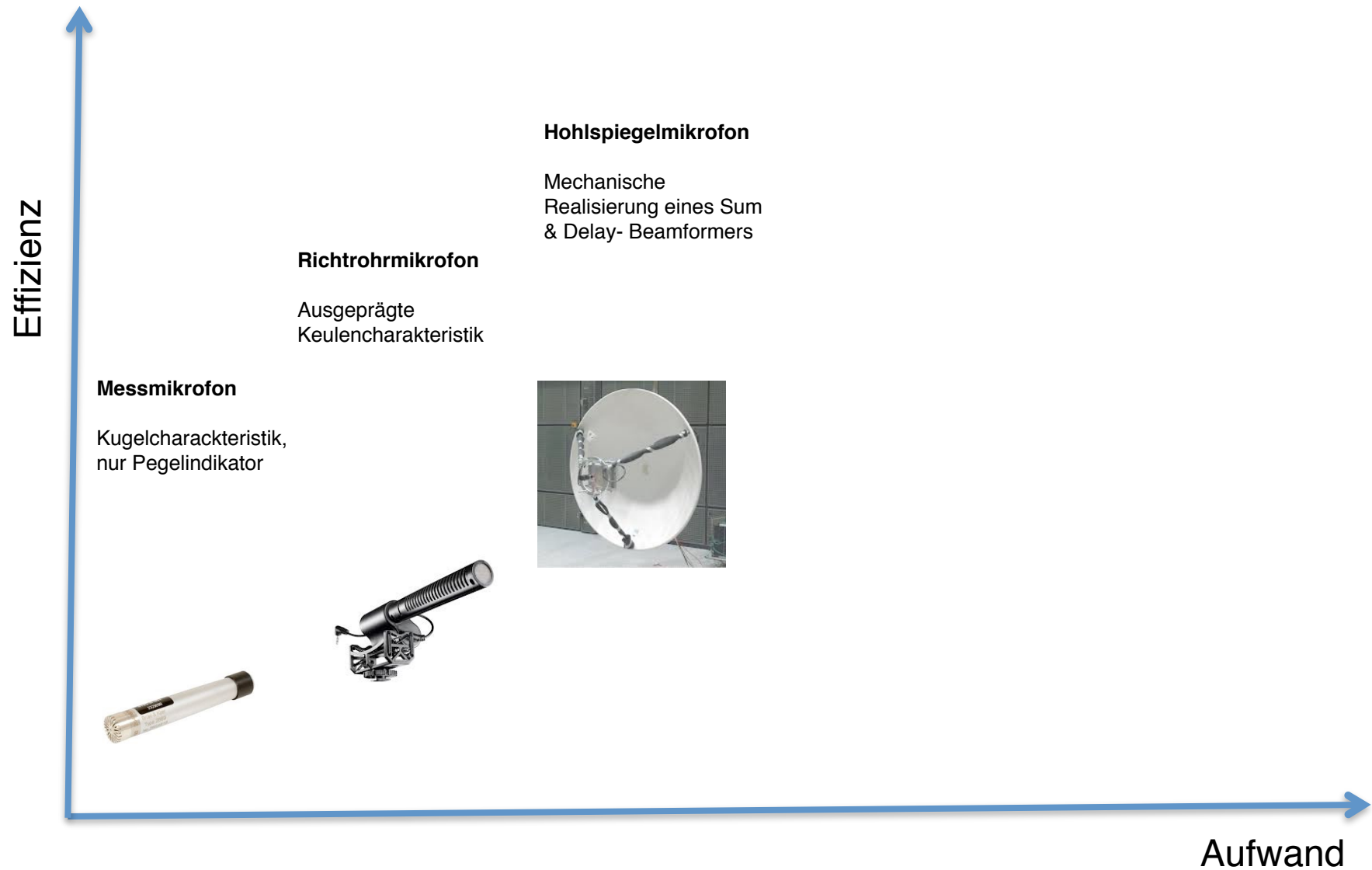
# Schallortung

## Einführung



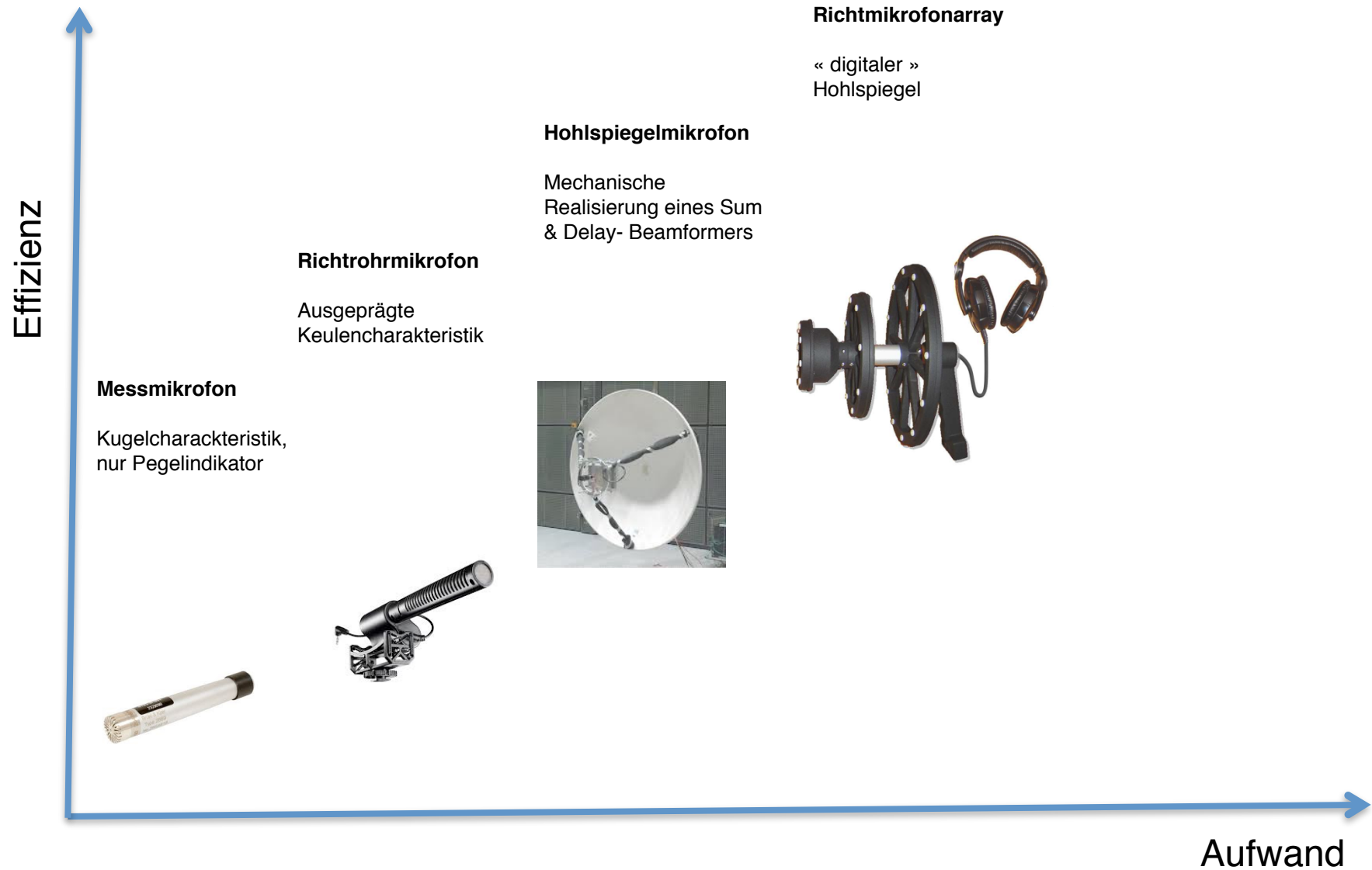
# Schallortung

## Einführung



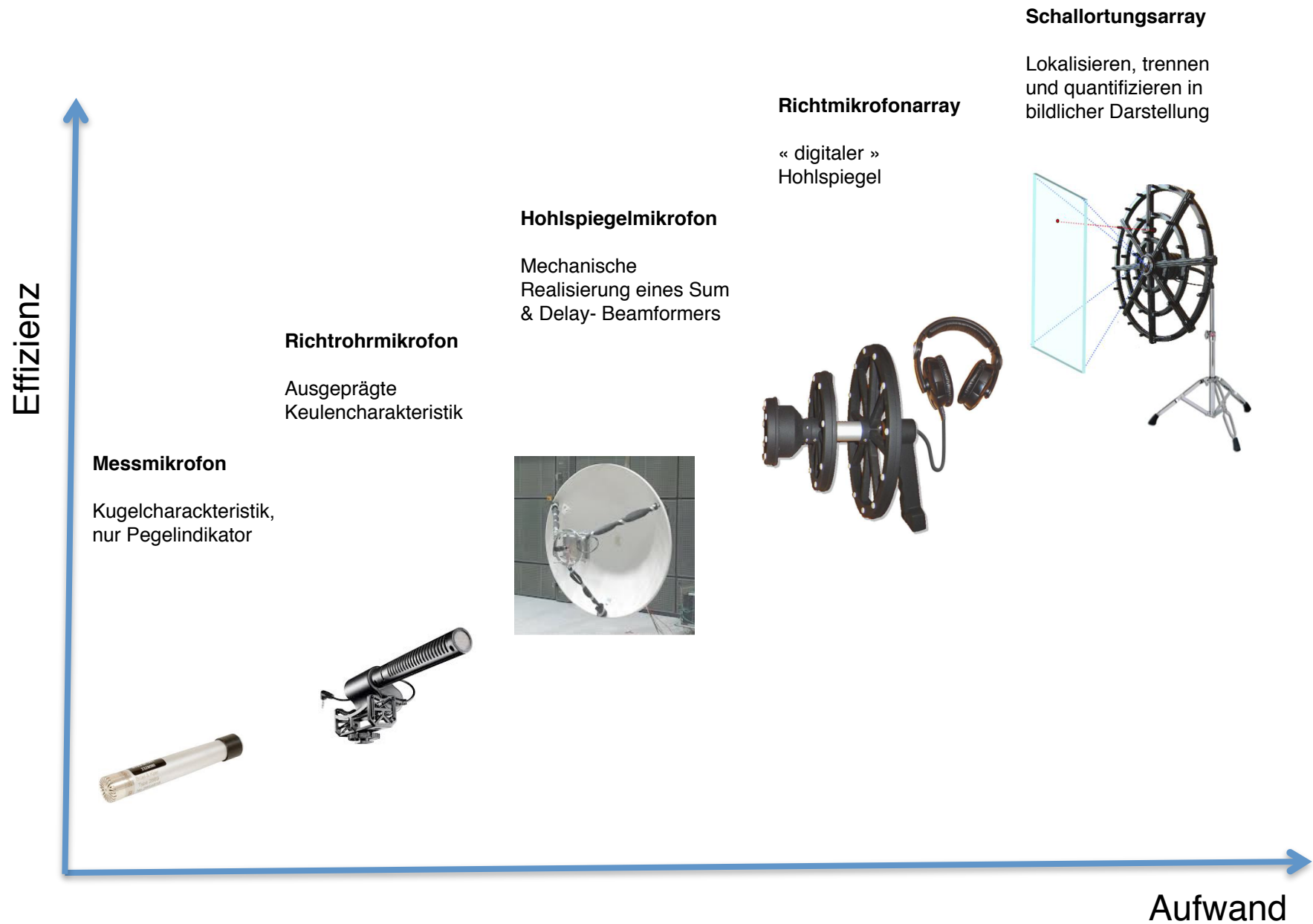
# Schallortung

## Einführung



# Schallortung

## Einführung

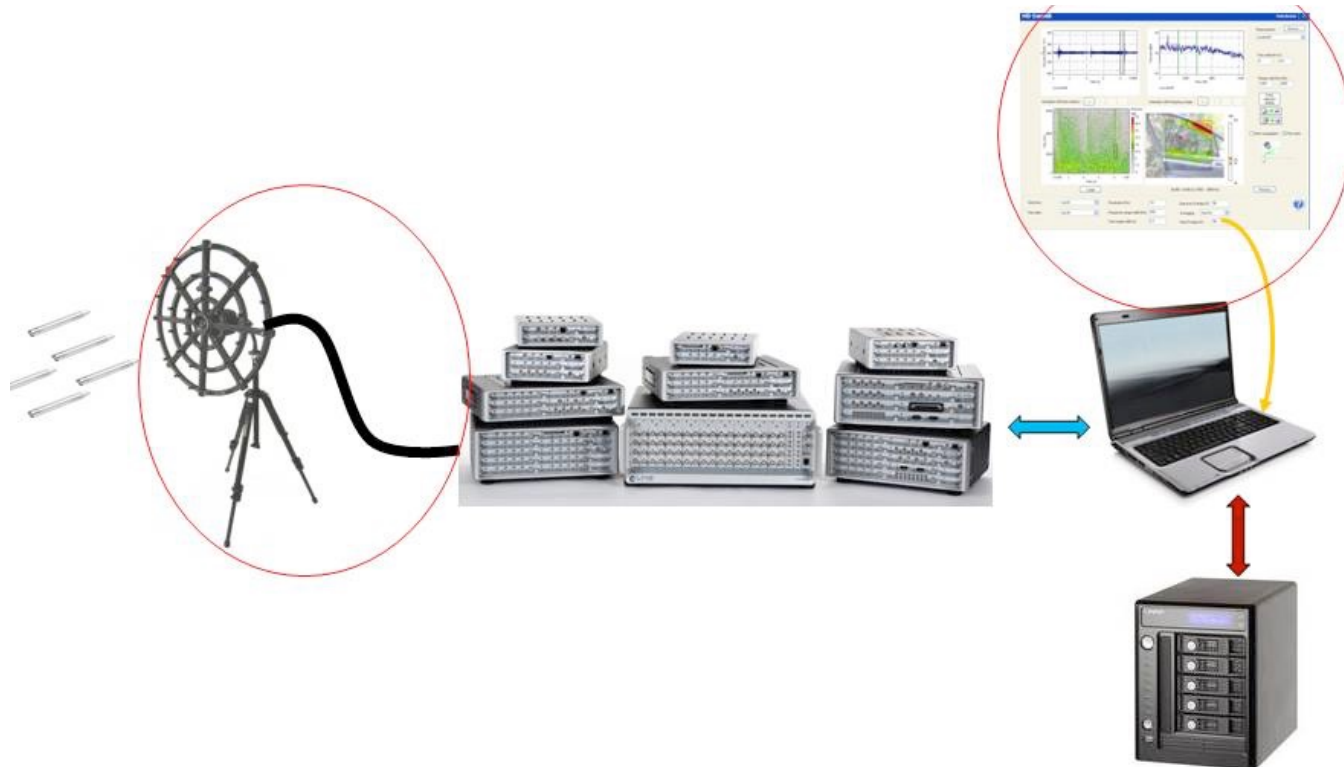


# Grundlagen



### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse



### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

**2D Kreis- Array**



**2D Spiral- Array**



**3D Kugel- Array**



# Schallortung

## Grundlagen

### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse



### Ein Schallortungssystem besteht aus

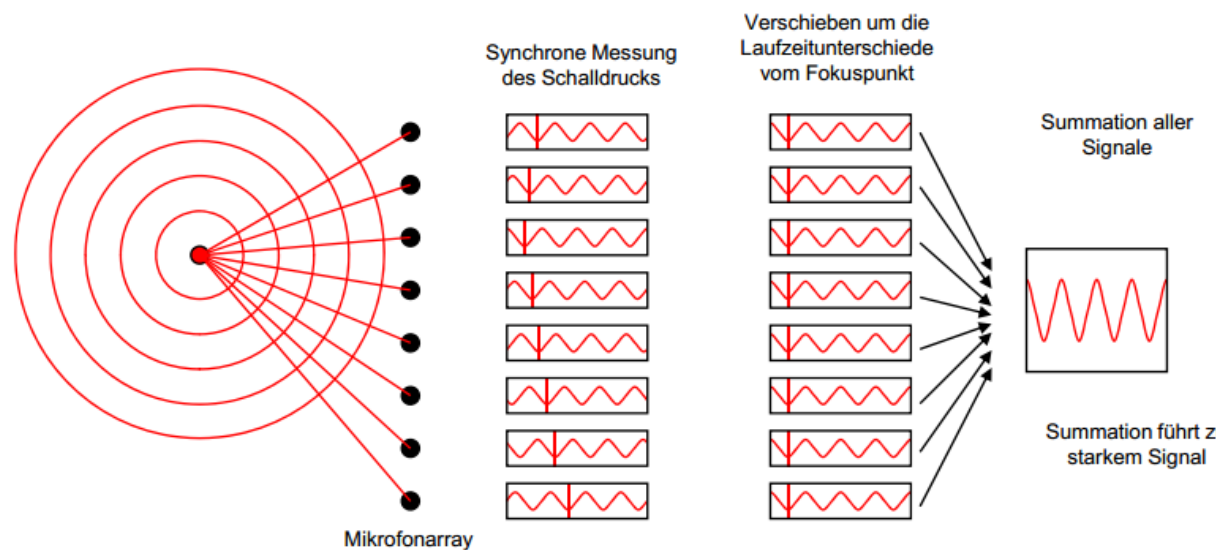
- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

Alle Kanäle müssen  
samplesynchron aufgezeichnet  
werden!



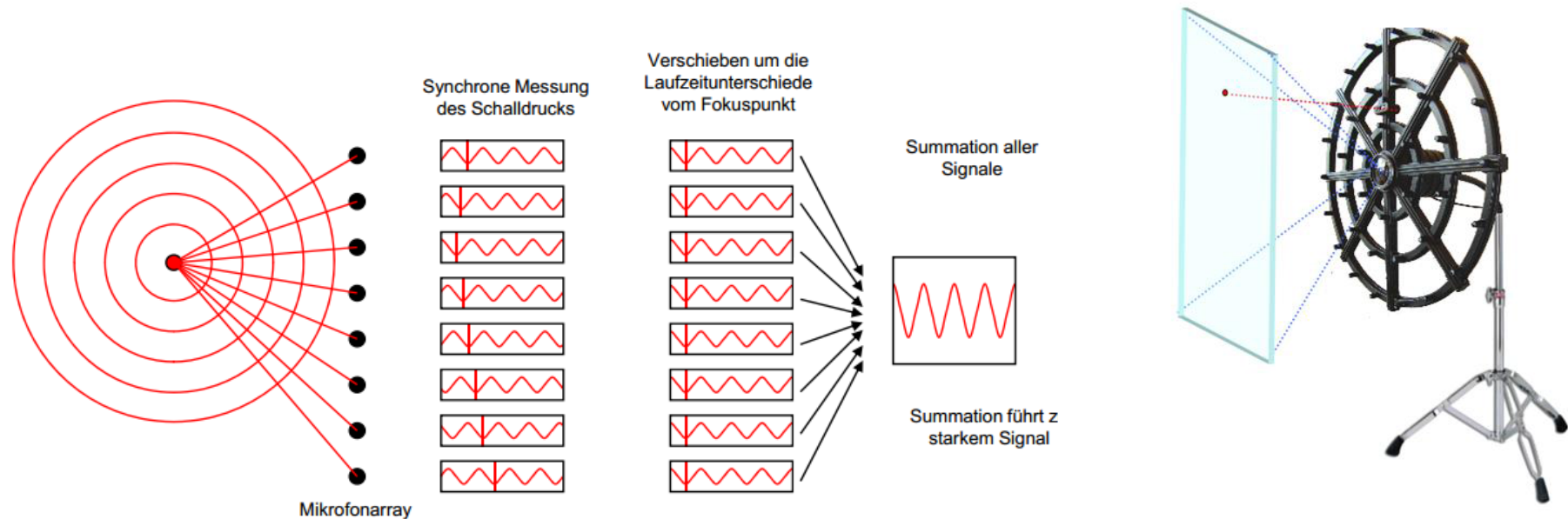
### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse



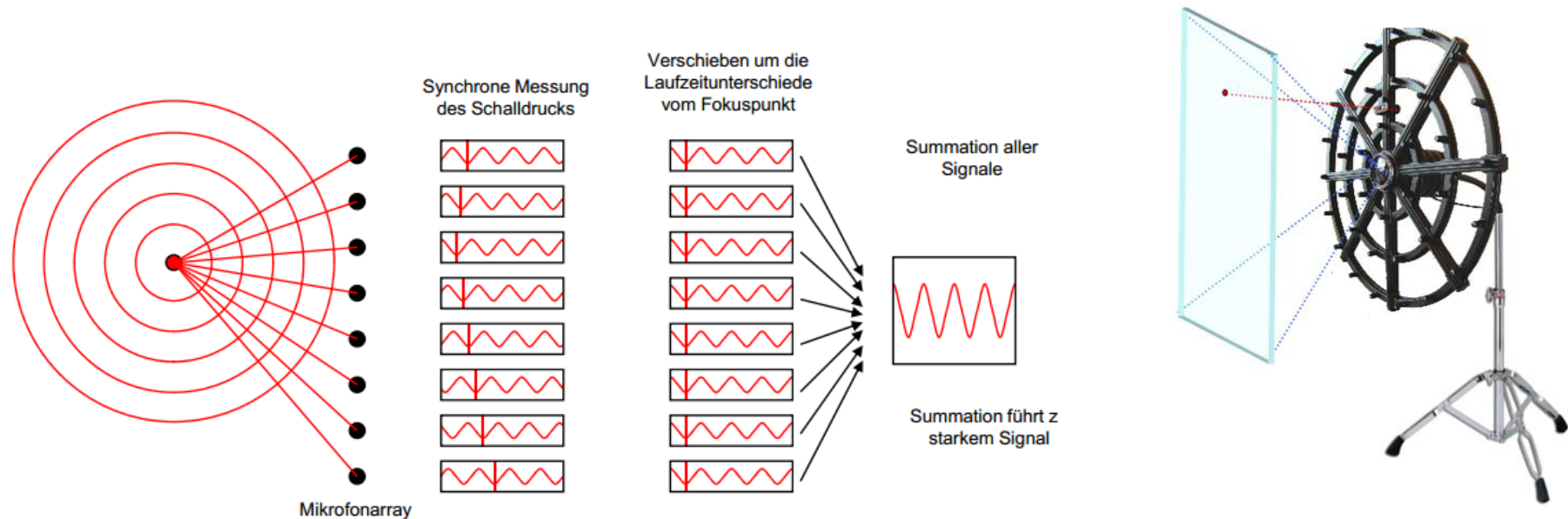
### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse



### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

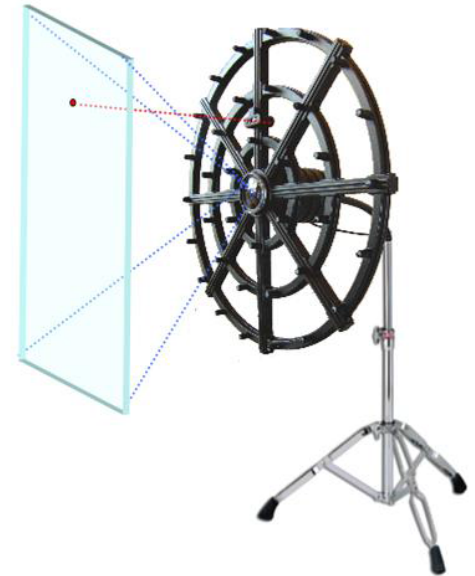


### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

Der Algorithmus berechnet für jeden Punkt der Schallkarte (z.B.  $10 \times 10$  oder  $50 \times 50$ ) das resultierende Schallsignal.

Dieses wird in der Regel in der Karte farbig dargestellt, kann aber auch abgehört oder per FFT analysiert werden



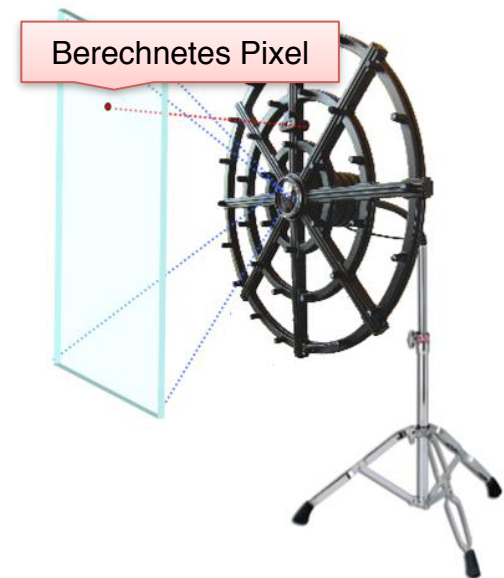


### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

Der Algorithmus berechnet für jeden Punkt der Schallkarte (z.B.  $10 \times 10$  oder  $50 \times 50$ ) das resultierende Schallsignal.

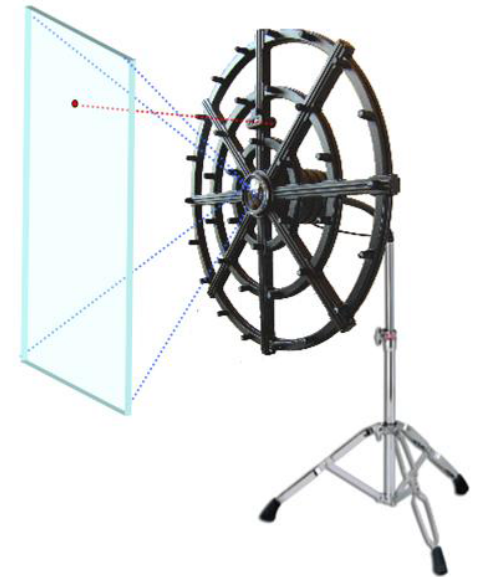
Dieses wird in der Regel in der Karte farbig dargestellt, kann aber auch abgehört oder per FFT analysiert werden



### Ein Schallortungssystem besteht aus

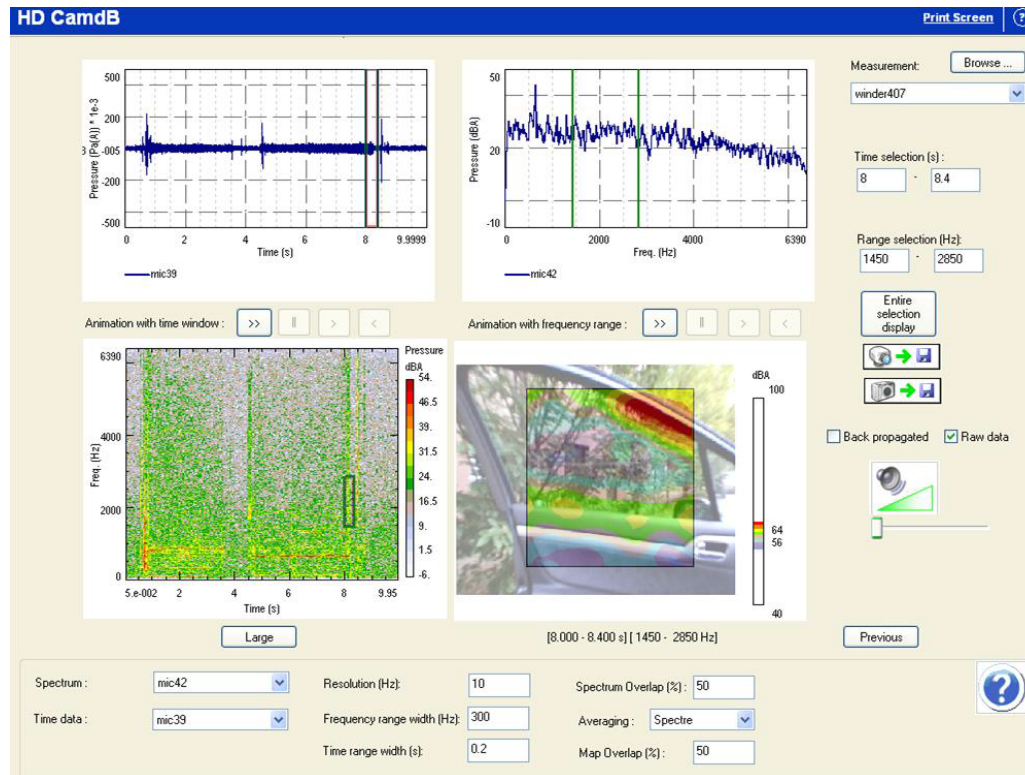
- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

Der Algorithmus berechnet für jeden Punkt der Schallkarte (z.B.  $10 \times 10$  oder  $50 \times 50$ ) das resultierende Schallsignal. Dieses wird in der Regel in der Karte farbig dargestellt, kann aber auch abgehört oder per FFT analysiert werden



### Ein Schallortungssystem besteht aus

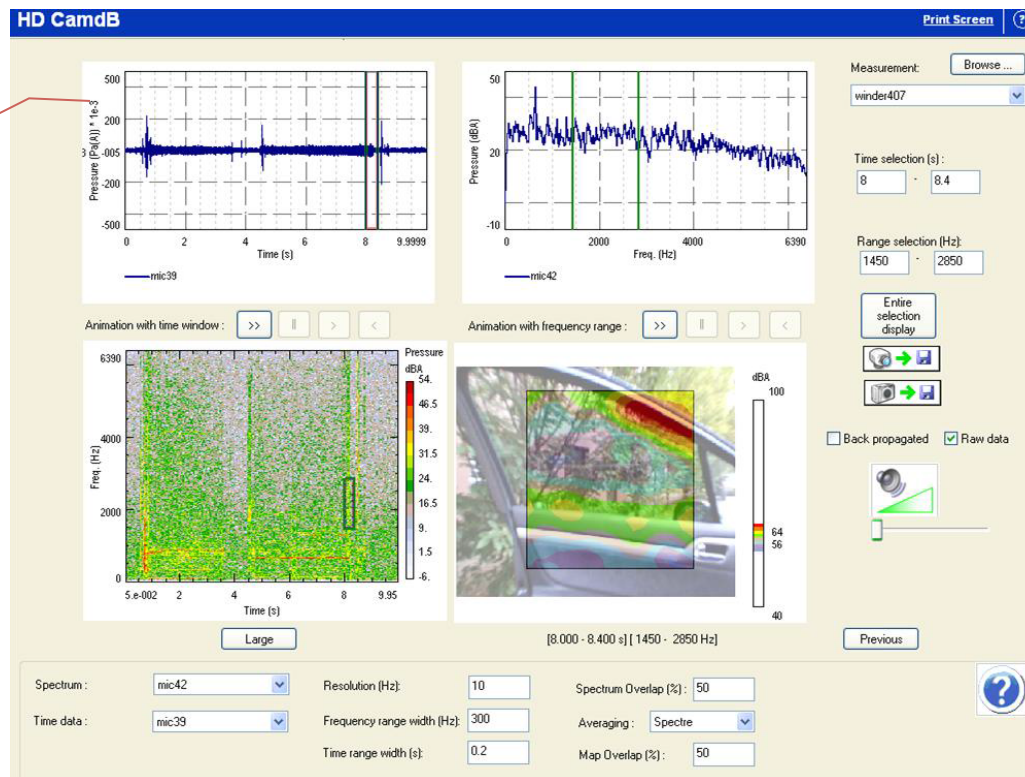
- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse



### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

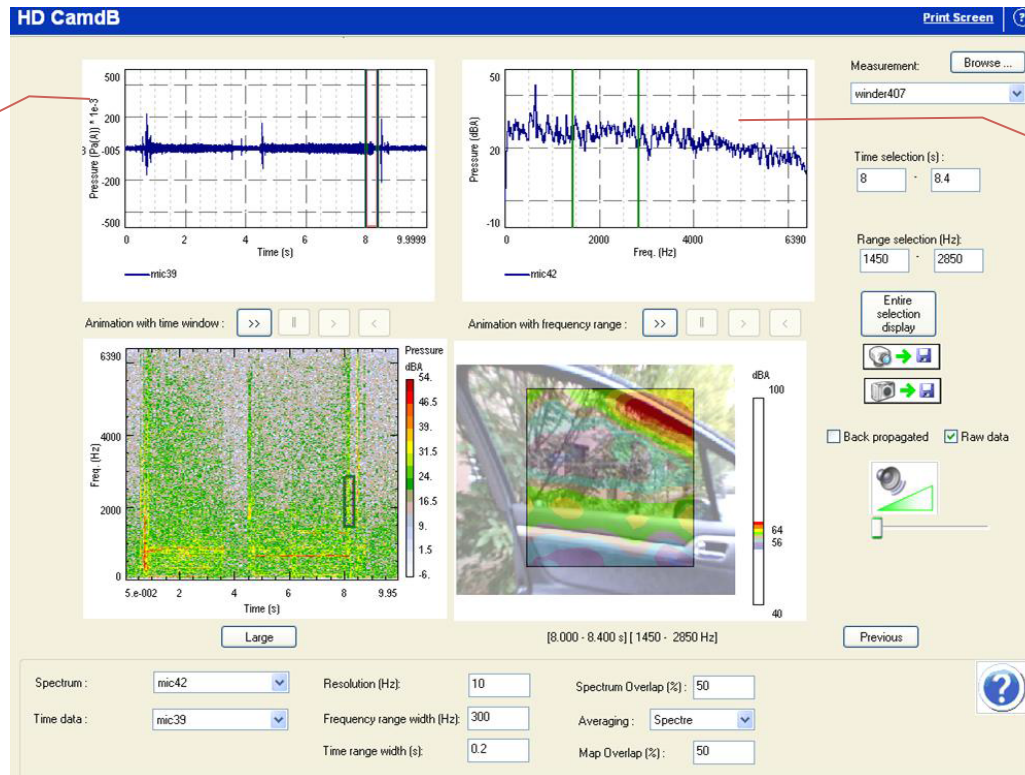
Auswahl  
Zeitbereich



### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

Auswahl  
Zeitbereich

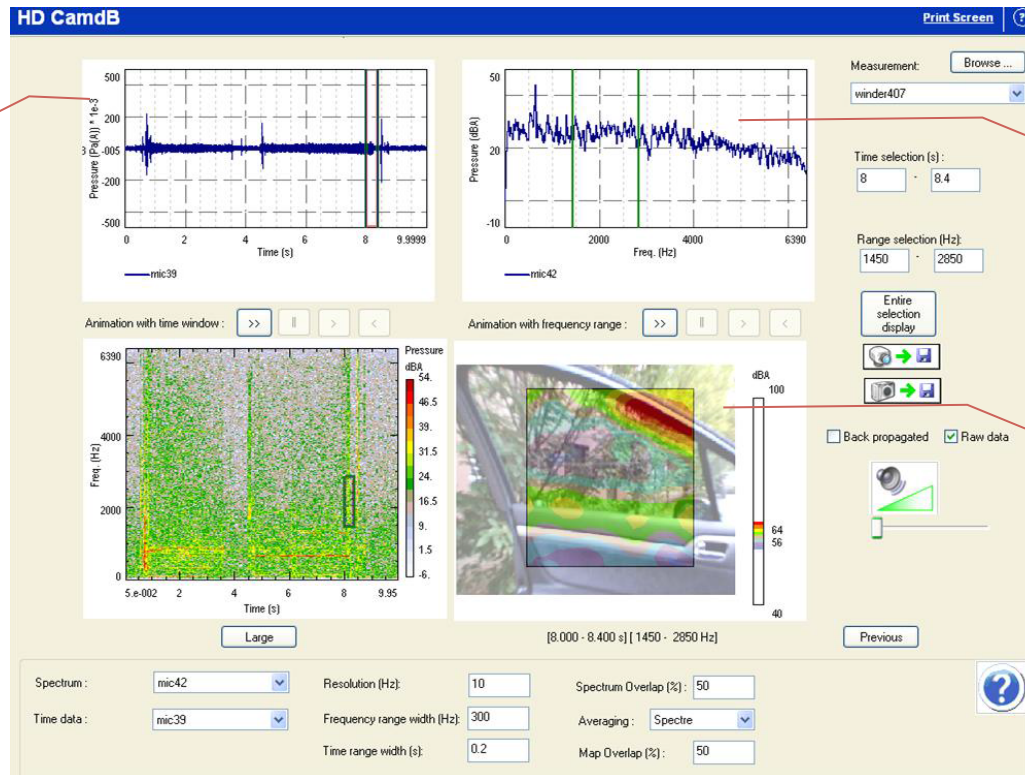


Auswahl  
Frequenzbereich

### Ein Schallortungssystem besteht aus

- Einer geometrischen Anordnung aus Mikrofonen (zwei bis mehreren hundert)
- Einem Messdatenerfassungssystem
- Einem Beamforming Algorithmus
- Einer Software zur Darstellung der Ergebnisse

Auswahl  
Zeitbereich



Auswahl  
Frequenzbereich

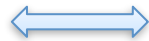
Schallkarte mit x\*x  
Analysepunkten

Leistungsmerkmale

# Schallortung

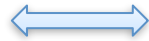
## Leistungsmerkmale

Untere Grenzfrequenz



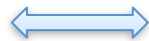
Maximale Ausdehnung des Arrays

Obere Grenzfrequenz



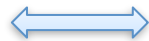
Minimaler Abstand zwischen zwei Mikrofonen

örtliche Auflösung

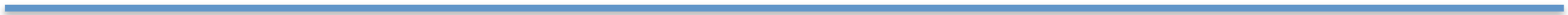


Anordnung, Algorithmus, Abstand und  
Frequenz

Dynamik





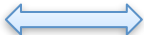
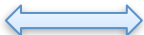
Anordnung und Algorithmus





# Schallortung

## Leistungsmerkmale

Untere Grenzfrequenz		Maximale Ausdehnung des Arrays
Obere Grenzfrequenz		Minimaler Abstand zwischen zwei Mikrofonen
örtliche Auflösung		Anordnung, Algorithmus, Abstand und Frequenz
Dynamik		Anordnung und Algorithmus

---

Die untere ortbare Frequenz steigt mit der Ausdehnung des Arrays.

**Anwendungsfall:** Lokalisation von Motorordnungen bis 200Hz

# Schallortung

## Leistungsmerkmale

Untere Grenzfrequenz	↔	Maximale Ausdehnung des Arrays
Obere Grenzfrequenz	↔	Minimaler Abstand zwischen zwei Mikrofonen
örtliche Auflösung	↔	Anordnung, Algorithmus, Abstand und Frequenz
Dynamik	↔	Anordnung und Algorithmus

---

Die obere ortbare Frequenz wird vom minimalen Mikrofonabstand bestimmt.

**Anwendungsfall:** Hochfrequente Turboladergeräusche

# Schallortung

## Leistungsmerkmale

Untere Grenzfrequenz	↔	Maximale Ausdehnung des Arrays
Obere Grenzfrequenz	↔	Minimaler Abstand zwischen zwei Mikrofonen
örtliche Auflösung	↔	Anordnung, Algorithmus, Abstand und Frequenz
Dynamik	↔	Anordnung und Algorithmus

---

Die örtliche Auflösung hängt von der Anordnung der Mikrofone, vom verwendeten Algorithmus, dem Abstand des Arrays zum Messobjekt und der zu ortenden Frequenz ab.

**Anwendungsfall:** Mündungsgeräusche an mehrrorigen Abgasanlagen

# Schallortung

## Leistungsmerkmale

Untere Grenzfrequenz	↔	Maximale Ausdehnung des Arrays
Obere Grenzfrequenz	↔	Minimaler Abstand zwischen zwei Mikrofonen
örtliche Auflösung	↔	Anordnung, Algorithmus, Abstand und Frequenz
Dynamik	↔	Anordnung und Algorithmus

---

Die Dynamik des Arrays ist von der Anordnung der Mikrofone und des verwendeten Algorithmus abhängig. Der Beamforming Algorithmus erreicht maximal 14 – 16dB

**Anwendungsfall:** Schallortung von Windgeräuschen am Fahrzeug. Relativ leise, tonale Geräusche werden vom lauten Strömungsgeräusch maskiert.

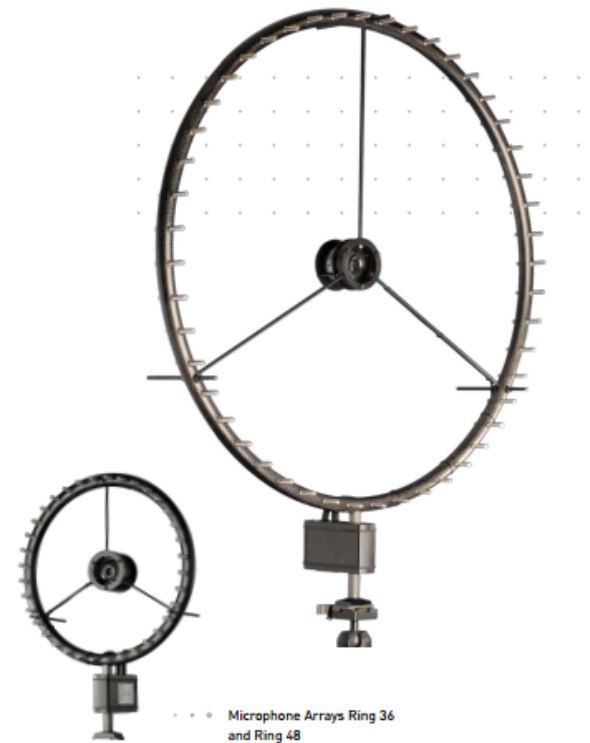
# Schallortung

## Leistungsmerkmale

### Beispiel Array 1

#### GFAI, Berlin

Ringarray mit 36 Mikrofonen  
Durchmesser 0.35m  
Frequenzbereich 1kHz – 20kHz



Type	Ring 36	Ring 48
Size	Ø 0.35 m	Ø 0.75 m
Recommended measurement distance	0.4 m to 2 m	0.7 m to 5 m
Number of 1/4" electret pressure microphones	36	48
Maximum sound level	130 dB (standard)	130 dB (standard)
Recommended mapping frequency	1 kHz to 20 kHz (50 kHz)	400 Hz to 20 kHz

### Beispiel Array 1

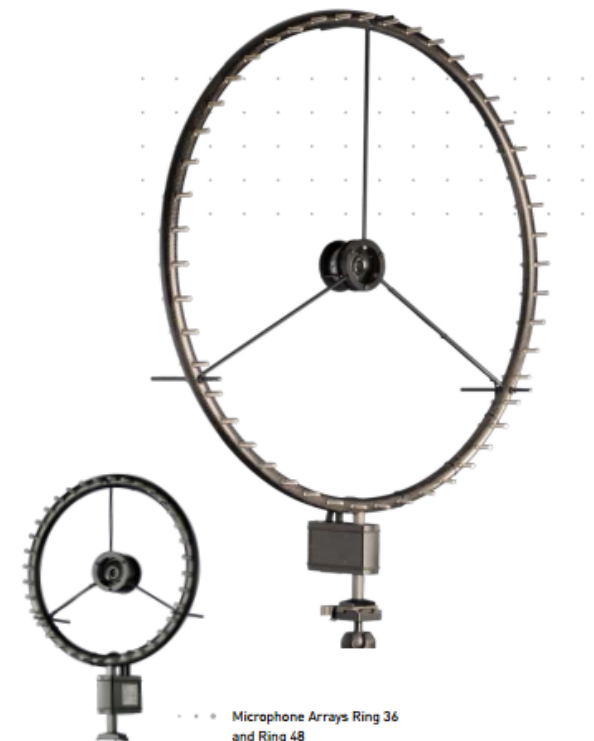
#### GFAI, Berlin

Ringarray mit 36 Mikrofonen  
Durchmesser 0.35m  
Frequenzbereich 1kHz – 20kHz

Zusammenhang Durchmesser <-> untere Grenzfrequenz:

Wellenlänge= Schallgeschwindigkeit/Frequenz

Wellenlänge =  $343 \text{ [m/s]} / 1000 \text{ [1/s]} = 0.35\text{m}$



Type	Ring 36	Ring 48
Size	Ø 0.35 m	Ø 0.75 m
Recommended measurement distance	0.4 m to 2 m	0.7 m to 5 m
Number of 1/4" electret pressure microphones	36	48
Maximum sound level	130 dB [standard]	130 dB [standard]
Recommended mapping frequency	1 kHz to 20 kHz [50 kHz]	400 Hz to 20 kHz

# Schallortung

## Leistungsmerkmale

### Beispiel Array 1

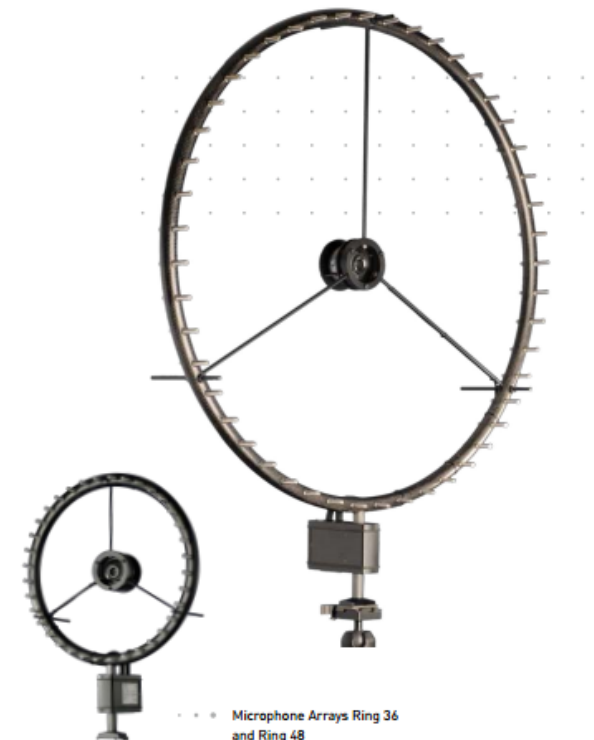
#### GFAI, Berlin

Ringarray mit 36 Mikrofonen  
Durchmesser 0.35m  
Frequenzbereich 1k – 20kHz

Zusammenhang Durchmesser <-> untere Grenzfrequenz:

Wellenlänge = Schallgeschwindigkeit / Frequenz

Wellenlänge =  $343 \text{ [m/s]} / 1000 \text{ [1/s]} = 0.35\text{m}$



Type	Ring 36	Ring 48
Size	Ø 0.35 m	Ø 0.75 m
Recommended measurement distance	0.4 m to 2 m	0.7 m to 5 m
Number of 1/4" electret pressure microphones	36	48
Maximum sound level	130 dB [standard]	130 dB [standard]
Recommended mapping frequency	1 kHz to 20 kHz [50 kHz]	400 Hz to 20 kHz

### Beispiel Array 2

#### Norsonic

Kreisarray mit 225 Mikrofonen  
Durchmesser 1.05m  
Frequenzbereich 100Hz – 7kHz

#### Specifications

Number of microphones	225
Max sound level (re. 20 µPa)	110 dB
Noise level, A-weighted	10 dB
Microphone frequency range	20 Hz – 20 kHz
Mapping frequency range	100 Hz – 7 kHz
Sampling frequency	44.1 kHz
Focal distance	0,5 m to infinity
Optical camera resolution	640 x 480
Optical/acoustic covering angle	± 70° horizontal ± 52° vertical
Temperature range	-10°C to +40 °C
Humidity range	up to 90 % RH
Mains supply	100 - 230 V (50-60 Hz)
DC supply	11–36 V
Power consumption frontend	20 W
Disc diameter	105 cm
Disc depth	12 cm
Weight (excl. tripod)	15 kg
Ingress protection code	IP 40





### **Regel**

Es gibt kein universell anwendbares Beamformingsystem. Je nach Aufgabenstellung muss eine geeignete Kombination gewählt werden

Ende