

Active Noise Control - alte Idee mit neuer Technik aufgekocht

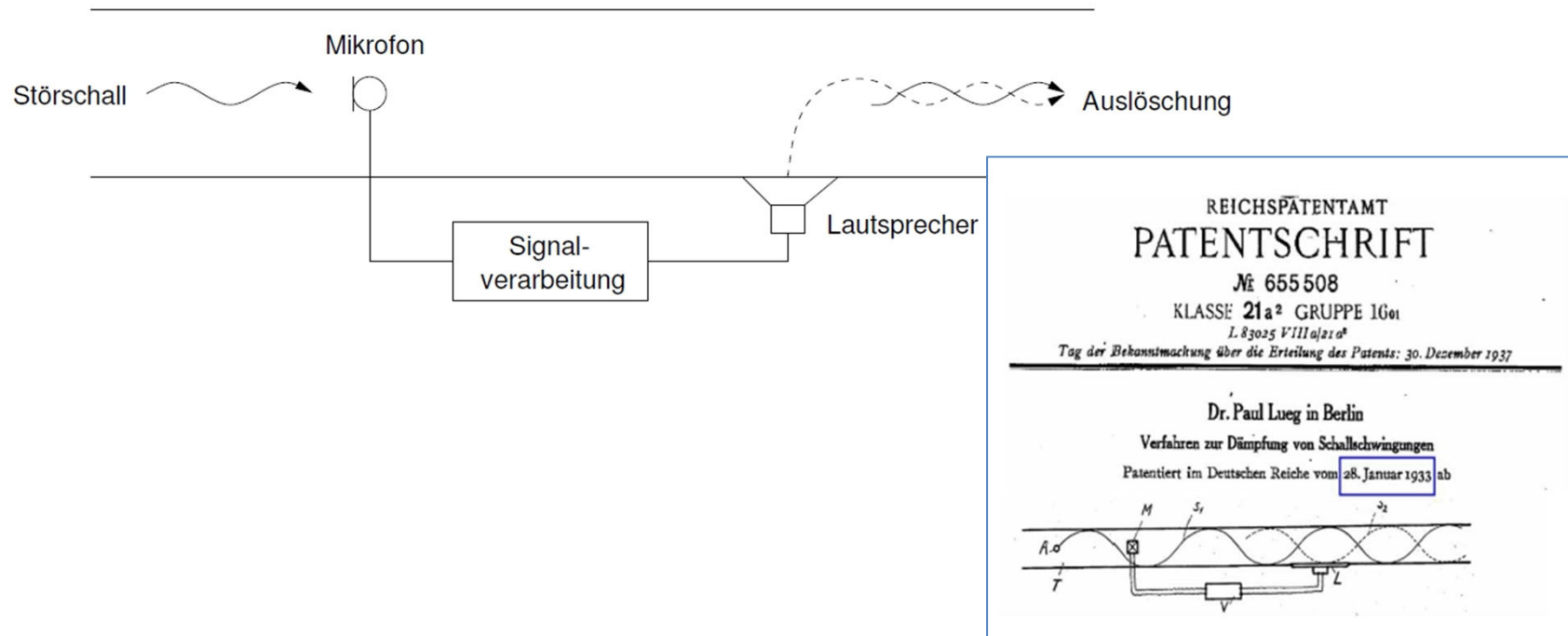
Einsatzmöglichkeiten, physikalische
Grenzen und Wirtschaftlichkeit

Referent: Stefan Rügsegger, El.Ing. ETH / Akustiker, Sonotronex AG
info@sonotronex.ch <https://www.sonotronex.ch>

Inhaltsübersicht

- 1) ANC-Technik
- 2) Einsatz heute
- 3) Weitere Anwendungsfelder
- 4) Anforderungen
- 5) Grenzen
- 6) Wirtschaftlichkeit
- 7) Ausblick

Idee vor über 80 Jahren...

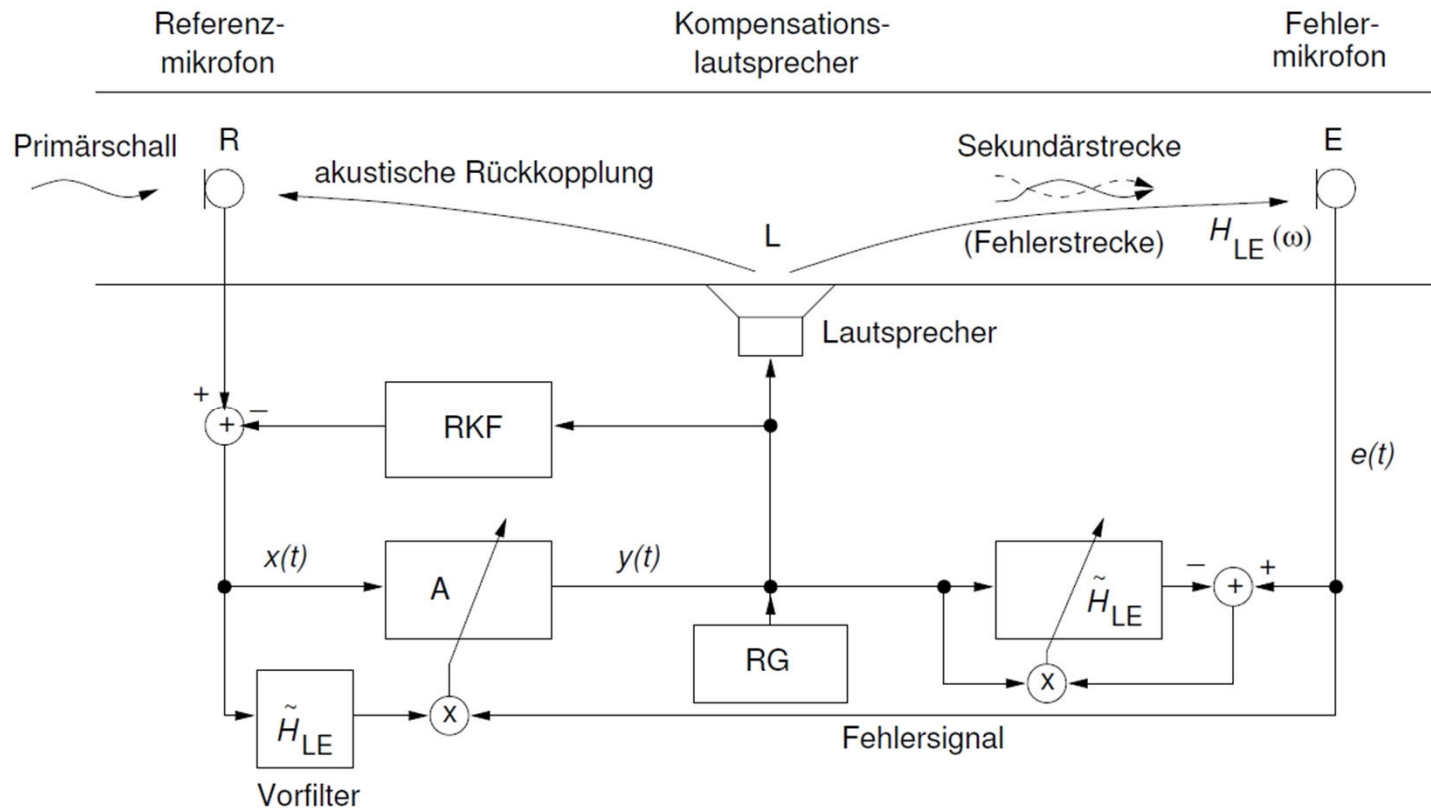


Auslöschungsprinzip (Patent von P.Lueg, 1933)

Laborversuche mit Röhrengeräten (Olsen, 1953 / 1956)

20dB Reduktion → Amplitudenfehler <1dB und Phasenfehler <6°

Adaptive Lösung (1985)



$$w(n, k) = w(n - 1, k) - 2 \cdot \mu \cdot e(n) \cdot x(n - k)$$

Blockbild des Filtered-x-Algorithmus (Sekundärpfad-Korr. mit \tilde{H}_{LE})

Die Energie-Frage:

Kann es wirklich ruhiger werden, wenn neben der ursprünglichen Lärmquelle noch eine **zusätzliche Schallquelle** akustische Energie abstrahlt ?

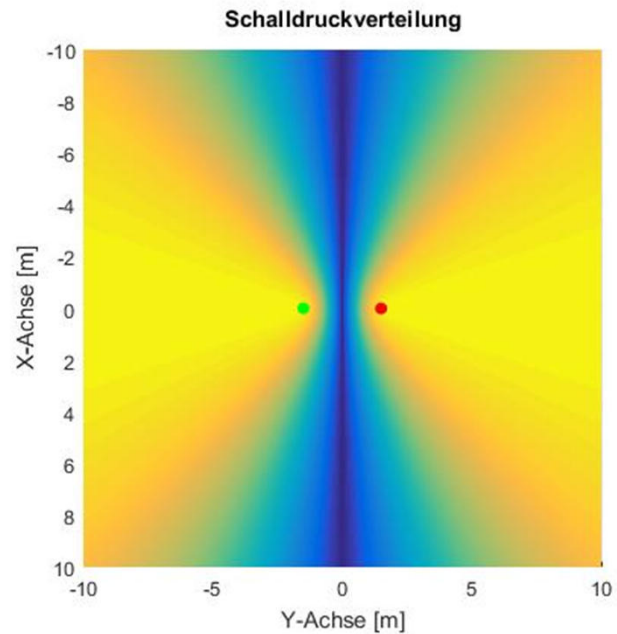
Die Energie-Frage:

Kann es wirklich ruhiger werden, wenn neben der ursprünglichen Lärmquelle noch eine **zusätzliche Schallquelle** akustische Energie abstrahlt ?

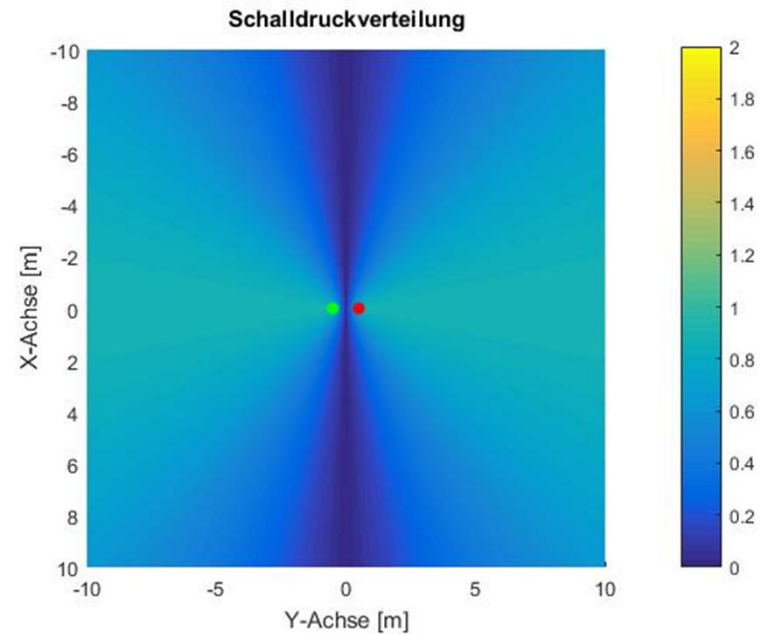
Antwort: Ja, sofern die Randbedingungen stimmen.

Überlagerung von 2 Quellen

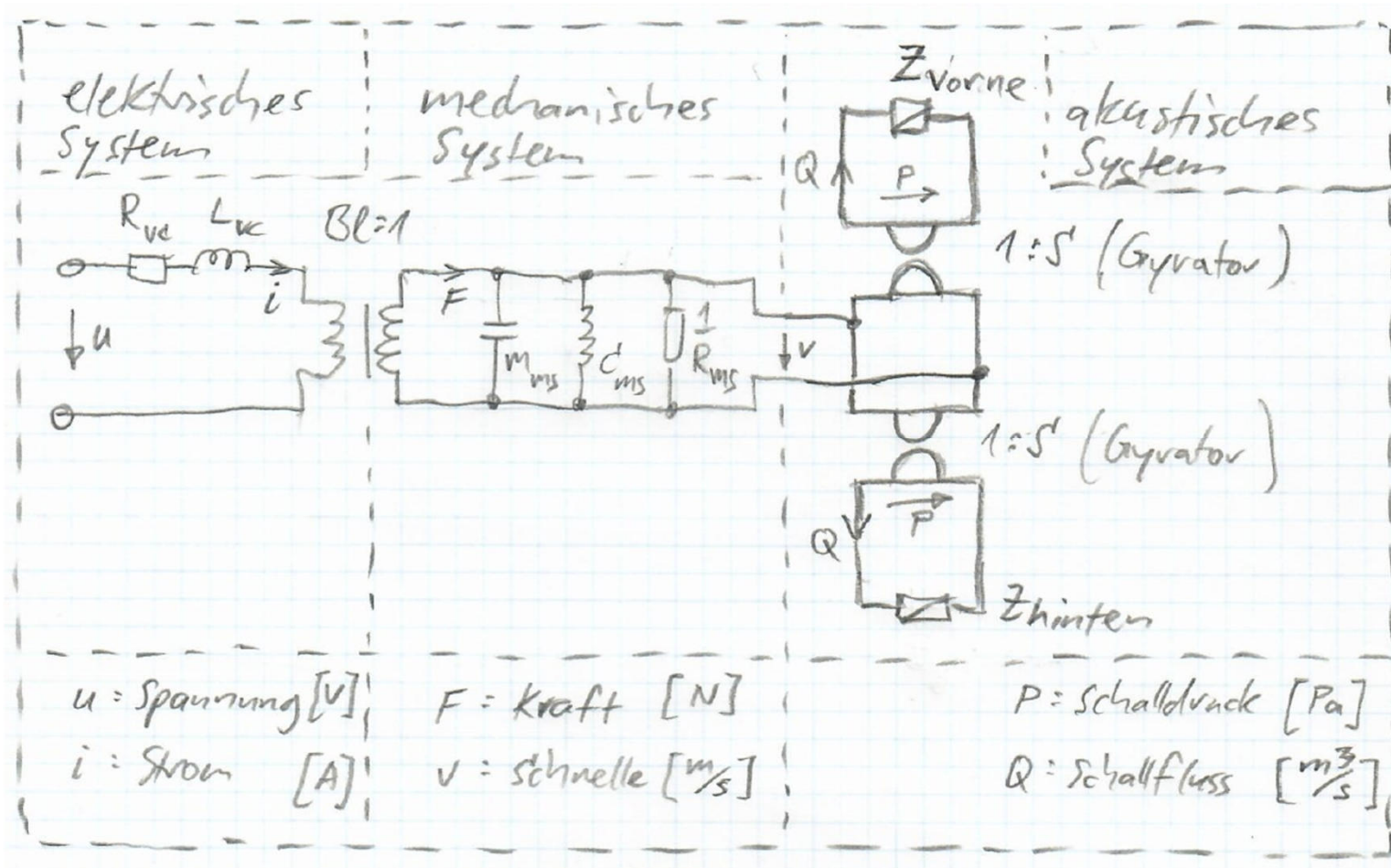
Quellenabstand: 3m
Frequenz: 50 Hz



Quellenabstand: 1m
Frequenz 50 Hz



Lautsprecher-Modellierung



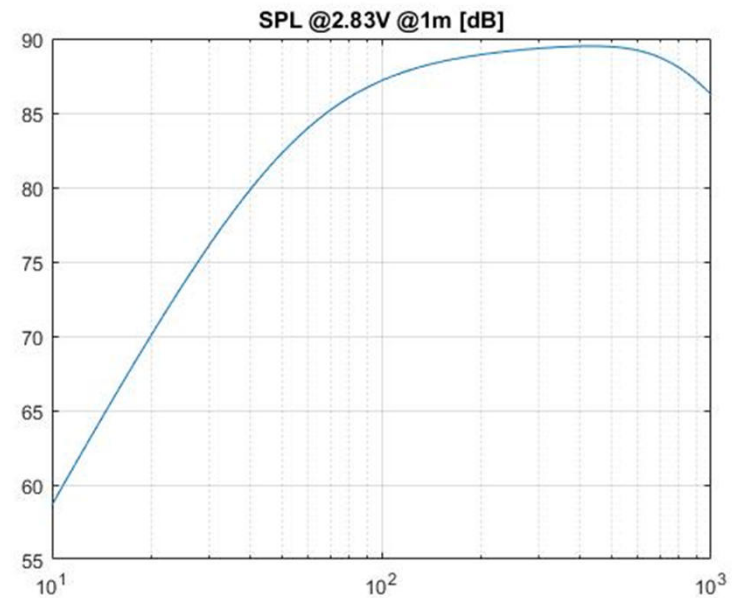
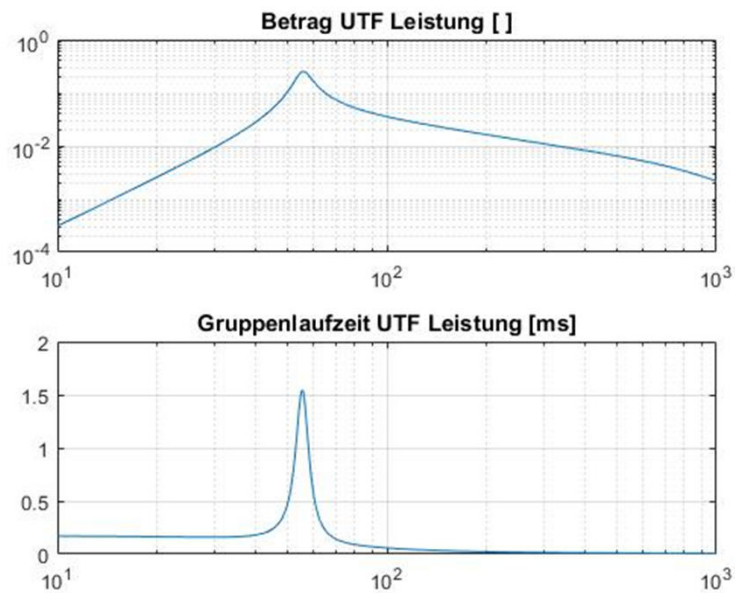
Energiegetreue Simulation

```
Editor - C:\Matlab\work\Projekte\Speakermodel\Speakermodel_L2.m
Speakermodel_L2.m x +
20
21 % LS-Daten
22 - f0 = 30; % [Hz] Resonanzfrequenz in Schallwand
23 - Qms = 4.85; % [] mech. Gütefaktor
24 - Qes = 0.33; % [] elektr. Gütefaktor
25 - Vas = 0.038; % [m3] äq. Volumen
26 - Sd = 127e-4; % [m2] Membr. Fläche
27 - BxL = 7.6; % [T*m] BxL
28 - L_vc = 0.7e-3; % [H] Induktivität
29
30 % ergänzende LS-Daten (können auch berech
31 - xmax = 4.75e-3; % [m] max. Auslenkung
32 - Vd = 60.3e-6; % [m3] Diaphragmavolumen
33 - mu = 0.003; % [] Wirkfaktor
34 - SPL = 89; % [dB @1W] Lautstärke
35
36
37 % LS Mechanik (in Schallwand)
38 - C_ms = Vas/(Sd^2 * ro * c^2); % [m/N] Membr. Compliance
39 - m_ms = 1/(C_ms*(2*pi*f0)^2); % [kg] Membr. Masse
40 - R_e = Qes*BxL^2/(2*pi*f0)/m_ms; % [Ohm] elektr. Widerstand
41 - R_ms = Qms/Qes/BxL^2*R_e; % [m/s/N] mechan. Widerstand
42
43 % Geschlossenes Gehäuse an LS-Rückseite
44 - V_b = 0.017; % [m]3 Gehäusevolumen
45 - C_b1 = V_b/(Sd^2 * ro * c^2); % [m/N] Membr. Compliance
46 - C_b2 = V_b/(ro * c^2); % [m^3/Pa] Compliance
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111 % Verkettung
112 - A(:, :, k) = R_e_M * L_vc_M...
113 * BxL_M...
114 * C_ms_M * m_ms_M * R_ms_M * C_b1_M...
115 * Sd_M;
116 %
117 A(:, :, k) = R_e_M * L_vc_M...
118 * BxL_M...
119 * C_ms_M * m_ms_M * R_ms_M...
120 * Sd_M * C_b2_M;
121
122 % 4-Pol-Parameter aus Kettenmatrix A
123 - Z_in(k,1) = (A(1,1,k) * Z_ak(k,1) + A(1,2,k)) ./...
124 (A(2,1,k) * Z_ak(k,1) + A(2,2,k));
125
126 - Z_out(k,1) = (A(1,2,k) + R_g * A(2,2,k)) ./...
127 (A(1,1,k) + R_g * A(2,1,k));
128
129 - UTFu(k,1) = 1./(A(1,1,k) + A(1,2,k) / Z_ak(k,1));
130
131 - UTFi(k,1) = -1./(A(2,1,k) * Z_ak(k,1) + A(2,2,k));
132
133 - UTFp(k,1) = UTFu(k,1) .* UTFi(k,1);
134
135 - end
136
137
138 - Tg = grpdel(-unwrap(angle(UTFp)), n, f);
139 %y = grpdel(x, n, Fvec)
```

Kontrolle / Optimierung

**Beispiel: Schallwandler
6.5-Zoll Basslautsprecher**

**Matlab Simulation (mit
4-Pol Analogie-Modell)**



- 1) ANC-Technik
- 2) Einsatz heute**
- 3) Weitere Anwendungsfelder
- 4) Anforderungen
- 5) Grenzen
- 6) Wirtschaftlichkeit
- 7) Ausblick

Freisprech-Einrichtung

Prinzip:

Der Hallanteil des vom Lautsprecher abgestrahlten Schalls wird kompensiert.

→ Echo- und Feedback-Kompensator



P620-M

Bild: Plantronics

Noise Cancelling Kopfhörer

Prinzip:

Nahfeldwirkung dank
der kurzen
akustischen Pfade

→ Sekundärquelle
(Monopol) wirkt als
Absorber.



Bild: Sennheiser

KFZ-Auspuffanlagen

Prinzip:

Auslöschung durch Interferenz im Bereich der Mündung

→ Sekundärquelle (Monopol) anstelle des passiven Endschalldämpfers



Bild: Eberspächer

Trafo-Stationen

Prinzip:

Kombination von passiven Schalldämpferkulissen mit ANC-Technik für tiefe Frequenzen

→ Sekundärquelle als Tripol (=Absorber-Wirkung)



Bild: WaveScape Technologies

- 1) ANC-Technik
- 2) Einsatz heute
- 3) Weitere Anwendungsfelder**
- 4) Anforderungen
- 5) Grenzen
- 6) Wirtschaftlichkeit
- 7) Ausblick

Beispiel 1: Kugelpolier-Anlage

Industrie:

Gleitschleifanlagen

Kugelpolieranlagen

Rüttelsiebe

Rüttelfördersysteme

→ Generell alle
Lärmquellen mit
hohem Anteil bei
tiefen Frequenzen



Bild: Giesserei Wagner

Beispiel 1: Kugelpolier-Anlage

Kundenprojekt:

Giesserei Wagner AG
Waldstadt AR

Problem:

→ Anregung von
Stehwellen in der
Halle durch die
Rüttelwanne bei
25..28 Hz



Bild: Giesserei Wagner

Eckdaten des ANC-Systems

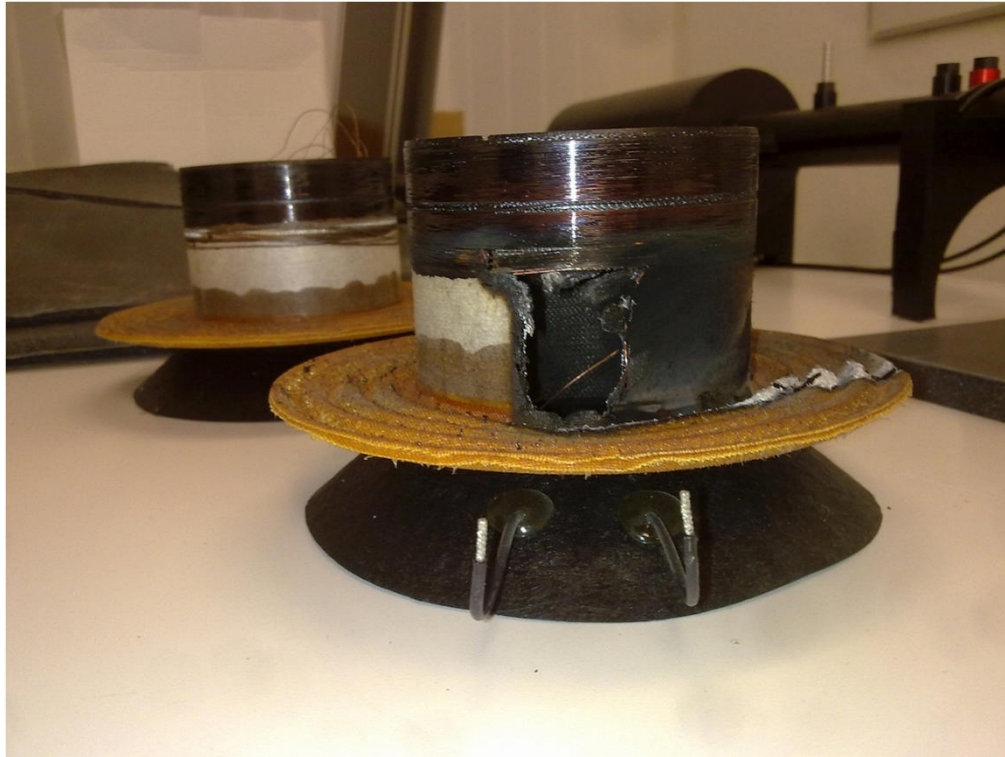


- 6 x 18''-LF-Treiber in Transmissionline-Gehäuse (Pmax. = 9 kW)
- Power-Amplifier, 6 Kanäle 121V / 50Apeak (total 12 kW max.)

➔ Akustische Senke für bis zu 130 dB Lw im Frequenzbereich 25..50 Hz



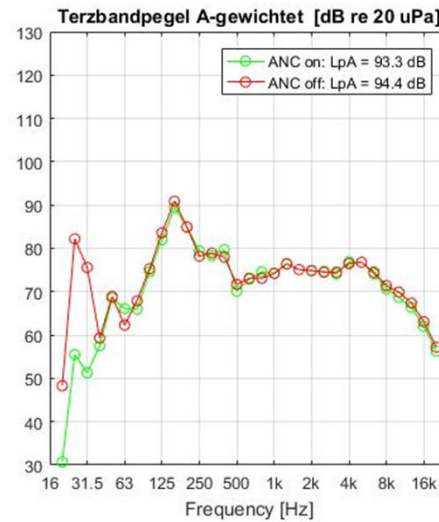
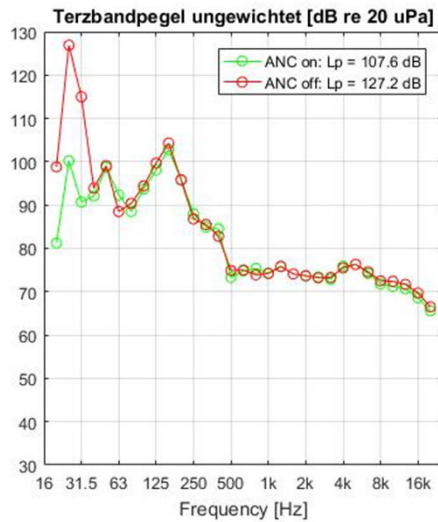
Gleich wieder vergessen...



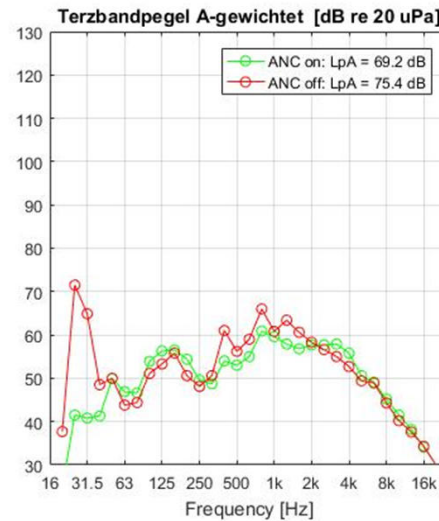
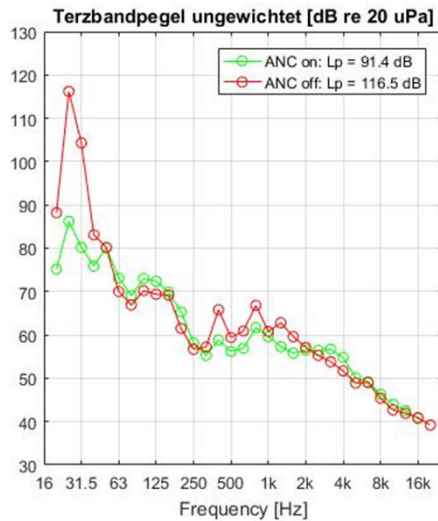
← Überlastung
der
Antriebsspule

Grund:
Reinigungs-
Personal hat
Sensor an
Wanne
verschoben

Resultate bei Wagner AG



← Messpunkt **5m**
von Anlage
entfernt



← Messpunkt **25m**
von Anlage entfernt

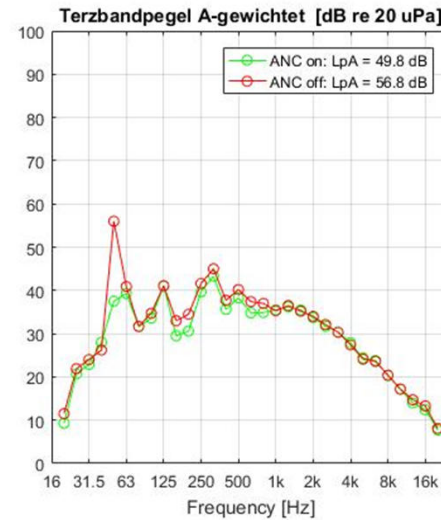
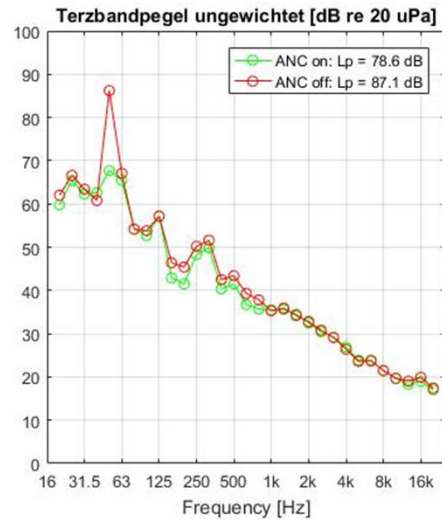
Beispiel 2: Wärmepumpe

Kundenprojekt:
4 Wärmepumpen
In MFH-Überbauung

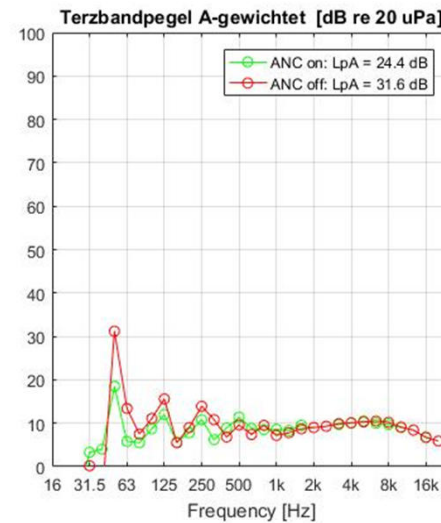
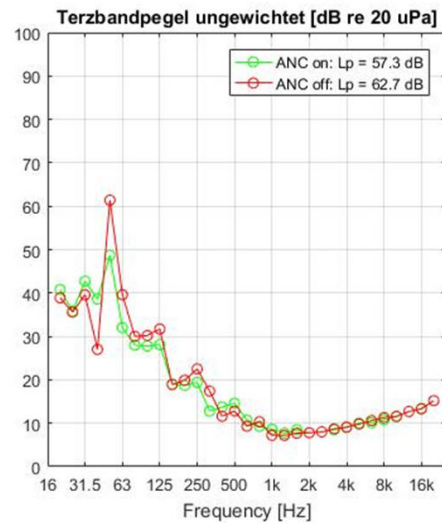
Problem:
Starkes Brummen
dringt von den
Lichtschächten durch
die Fenster



Resultate für Wärmepumpe



← Messung aussen
vor dem Fenster



← Messung im
Schlafzimmer

Beispiel 3: Saal-Beschallung

Praxis-Versuch:

Sternensaal Bümpliz
(Stadt Bern)

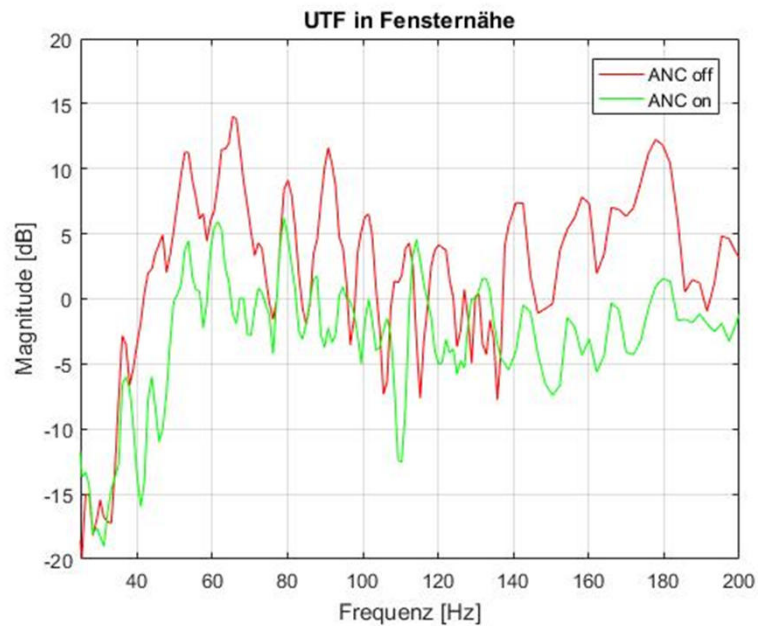
Problem:

Schalldämmung der
Fenster und Raum-
akustik (Stehwellen)

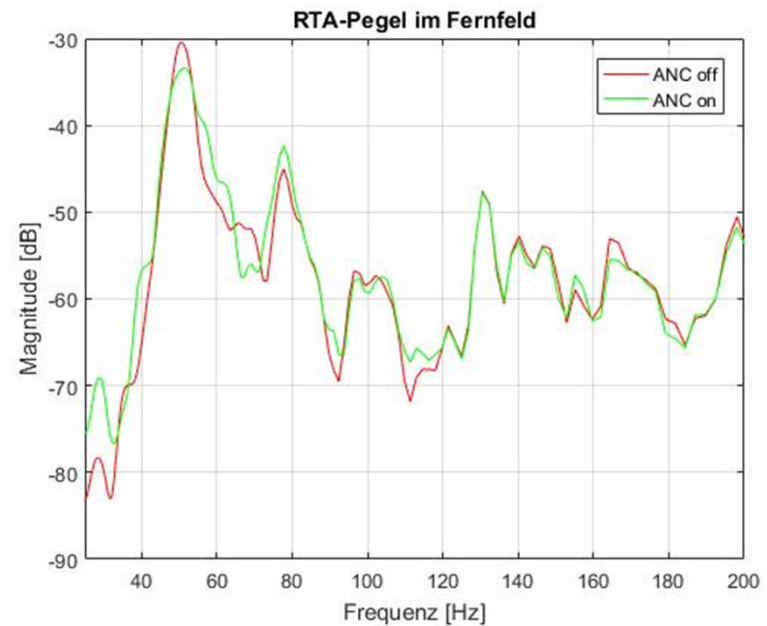


Resultate Sternensaal Bümpliz

Quiet-Zone-Wirkung



Stehwellen-Dämpfung



- 1) ANC-Technik
- 2) Einsatz heute
- 3) Weitere Anwendungsfelder
- 4) Anforderungen**
- 5) Grenzen
- 6) Wirtschaftlichkeit
- 7) Ausblick

Wichtigste Anforderungen

- **Flexibilität** bezüglich Filterstrukturen (Länge, Verschaltung) und Adaptions-Algorithmen
- **Skalierbarkeit** (Anzahl Kanäle und Verstärkerleistung)
- **Fehlerüberwachung** für Sensoren, Verstärker und Lautsprecher
- **Modularität** und niedrige Einstiegs-Kosten

Nützliche Anforderungen

- Vergleichbare Flexibilität wie für RT-HIL-System
- Simulation, Systemdesign und Deployment mit Simulink



- 1) ANC-Technik
- 2) Einsatz heute
- 3) Weitere Anwendungsfelder
- 4) Anforderungen
- 5) Grenzen**
- 6) Wirtschaftlichkeit
- 7) Ausblick

Physikalische Grenzen

- Abstand Quelle zu Sekundärquelle
→ interessant sobald $d < \lambda/4$
- Gute Wirkung, wenn $d < \lambda/10$
- Kausalität bei stochastischen Quellen
→ Referenzsignal muss einige [ms] früher bereit stehen als Fehlersignal
- Niedriger Wirkungsgrad der Schallwandler → problematisch bei Quellen mit hoher Schallenergie

Physikalische Grenzen

- Erzielbare Wirkung:
 - 20..30 dB für periodische Signale
 - 12..15 dB für stochastische Signale
- Für breitbandige Wirkung muss ANC mit passiven Massnahmen kombiniert werden

Wirtschaftlichkeit

- Schalleistung \Leftrightarrow Kosten (1xREF, 2xERR, 2xOUT)

$L_w < 80 \text{ dB} \rightarrow \text{CHF } 5000$

$L_w > 80 \text{ dB} \rightarrow + 500 \text{ pro } 3\text{dB mehr } L_w$

Wirtschaftlich, sobald passive Massnahmen teurer sind.

Ausblick

