

# Geräuschbekämpfung an Modellflugzeugen

***Rolf Kessler***

***Ex-Chef Umwelt und Flugplätze NOS***

***Mitglied der AG Flugplätze SMV***

**SMV**  **FSAM**

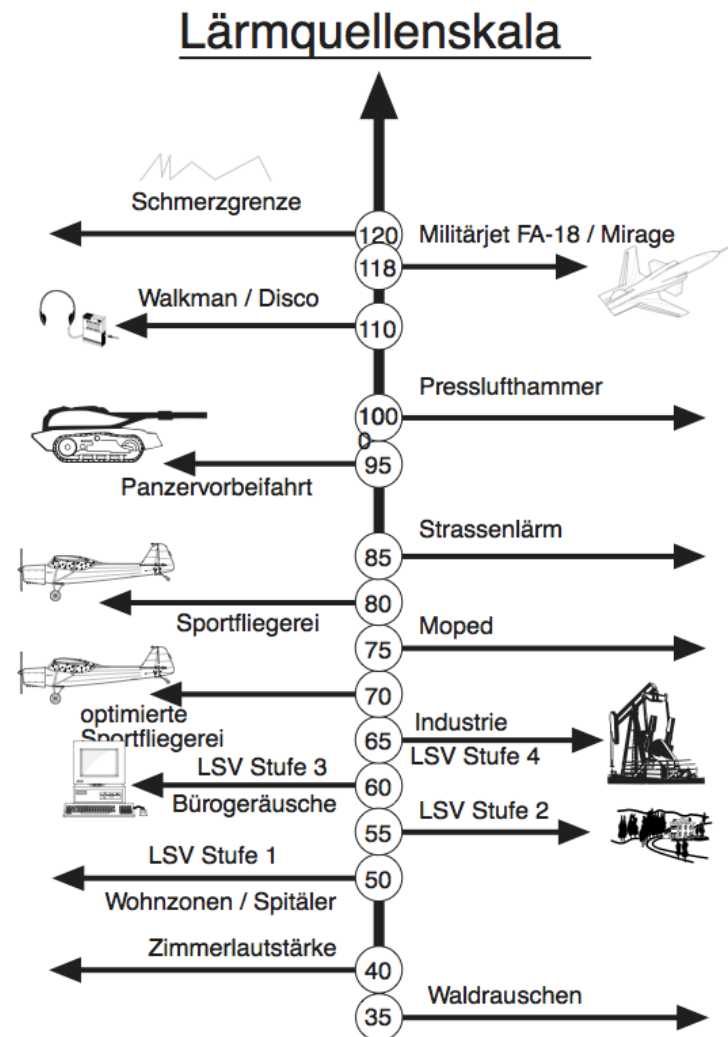
Schweizerischer Modellflugverband  
Fédération Suisse d'Aéromodélisme  
Federazione Svizzera di Aeromodellismo



*Ausbildungsanlass AG FIPI / Sicherheit*

*Olten 08022020*

# Wo stehen wir überhaupt in der Geräuschskala?



Was ist daran, dass  
Modellflugzeuge  
Geräusche  
erzeugen?

Eines ist klar; Geräusche  
erzeugen wir immer mit  
Modellen. Für die einen ist es  
Musik, und für die andern ist  
es schlicht unnötiger Lärm.

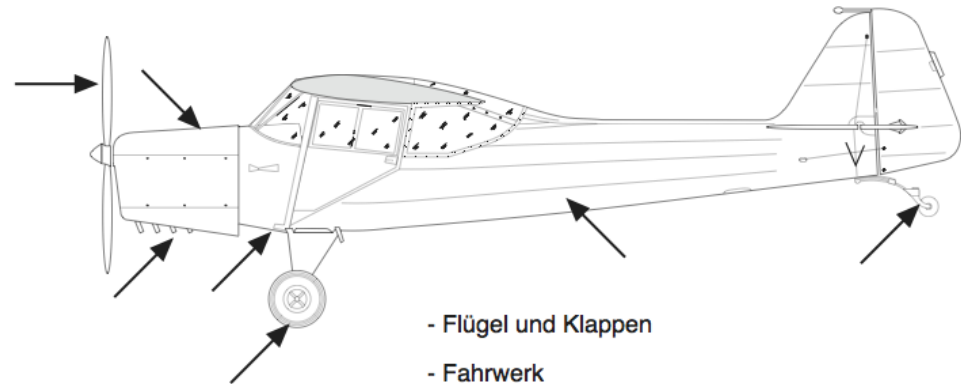
Wo muss man  
ansetzen, um die  
Geräusche in den  
Griff zu kriegen

ein Flugzeug erzeugt eine  
Menge von Geräuschen,  
nicht nur durch den Motor  
und Propeller.

# Was ist daran, dass Modellflugzeuge Geräusche erzeugen?

Eines ist klar; Geräusche erzeugen wir immer mit Modellen. Für die einen ist es Musik, und für die andern ist es schlicht unnötiger Lärm.

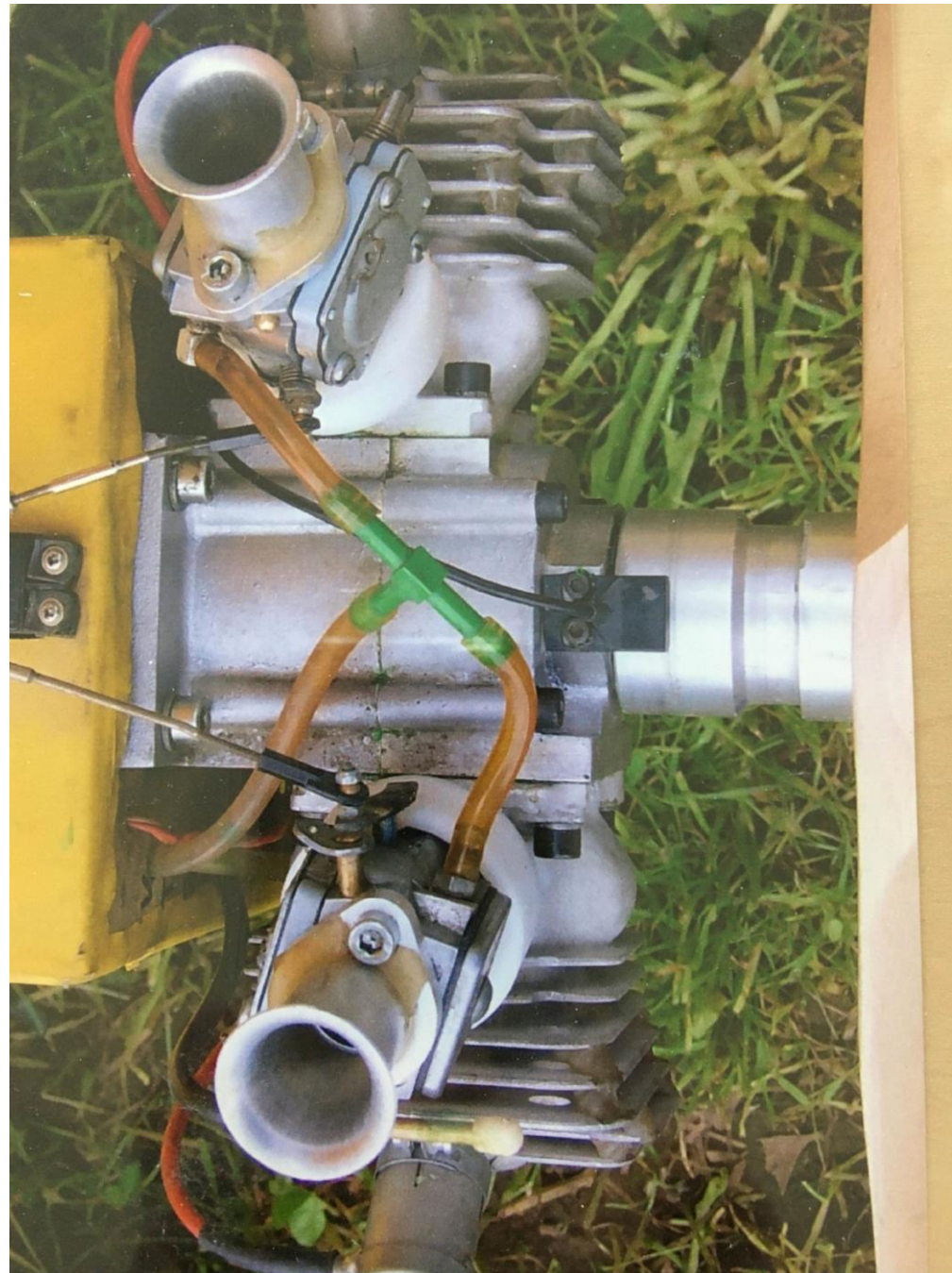
## Lärmquellen am Flugzeug



- Flügel und Klappen
- Fahrwerk
- Streben und sonstige vorst. Teile
- Motor und Zelle
- Auspuff

Kann man ein Modell  
so betreiben???

Ja!! Man kann.  
Aber hier geht es schlicht um  
unnötiger Lärm.  
Ansaug und Auspuff gehören  
heute im Rumpf verstaut.



## Was könnte man hier machen?

Ansaugbogen von Toni Clark  
ZG 80 Boxermotor.

Eigenbau funktioniert  
ebenfalls in Zeiten wie 3-D  
Druck



## Einflussgrößen

### Propeller

Wichtig ist, dass man den Effekt sieht.

Wird die Drehzahl reduziert, werden schneller, bessere Resultate erreicht.

Ein kleinerer Propeller geht auch, wenn man mehrere 3,- 4,-5,-) Blätter einsetzt. Das Resultat geht in dieselbe Richtung, man erreicht aber weniger.

Effekt eines kleineren Propellers

Anzahl Blätter	2	2	4	4
A	100	100	100	100
Durchmesser	2.1 Mtr	1.8 Mtr	1.6 Mtr	1.5 Mtr
Umdrehung	2700	2700	2700	2700
Leistung	119	119	119	119
Drehmoment	169	1690	1690	1690
dB A	77.7	71.5	68.1	66.7

Effekt durch Reduktion der UpM

Anzahl Blätter	2	2	4
A	100	100	100
Durchmesser	2.1 Mtr	2.1 Mtr	2.1 Mtr
Umdrehung	2700	1750	1300
Leistung	119	119	119
Drehmoment	1690	1690	1690
dB A	77.7	58.7	48.5

## Geräuschverteilung

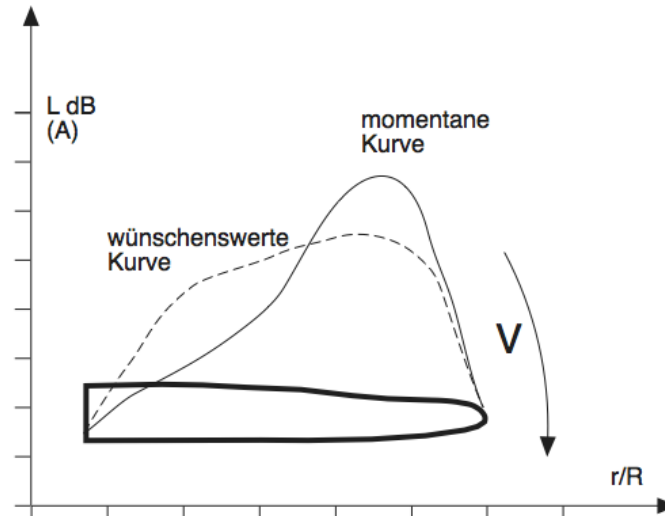
# Propeller

Hier sieht man deutlich, dass es sich beim Propeller um einen Drehflügler handelt.

Hier entstehen eigene Gesetze und Wirkungsweisen.

Leider lösen sich die Luftmoleküle im äusseren Drittel des Blattes, wo die höchste Geschwindigkeit herrscht.

in Abhängigkeit vom Druck auf der Propelleroberseite bei zunehmendem Durchmesser oder Radius

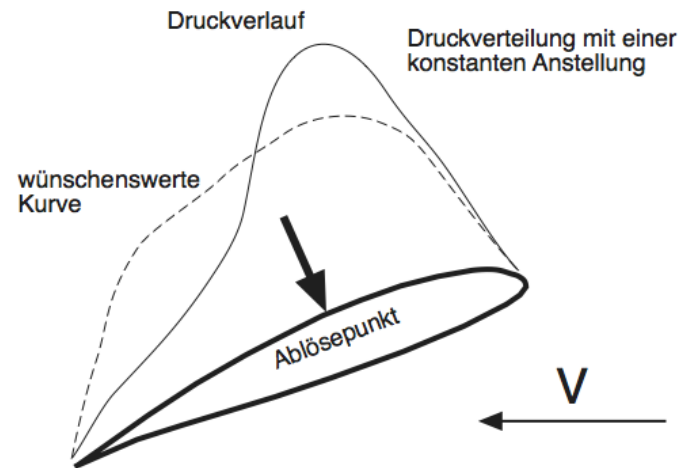
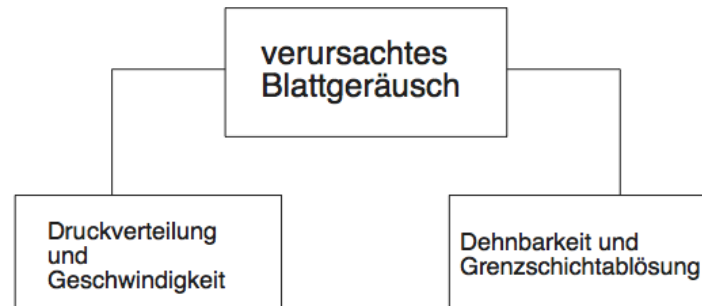




# Propeller

Auch im Schnitt sehen wir, dass sich die Luft wie bei einem Flügelprofil im ersten Drittel am Meisten aufbaut. Der Ablösepunkt liegt so viel zu weit vorne.

## Propellergeräusch



# Propeller

Der Propeller verursacht bekanntlich das Meiste Geräusch. Elementar ist es nun, die Blattspitzengeschwindigkeit zu rechnen. Hierzu die Formel.

Demzufolge sollte die Blattspitzengeschwindigkeit nicht über Mach 0,65 zu liegen kommen.

## Berechnung der Blattspitzengeschwindigkeit

Legende:	$V_{BS}$	Blattspitzengeschwindigkeit
	$V_u$	Umfangsgeschwindigkeit
	$V_v$	Vorwärtsgeschwindigkeit
	$R_p$	Drehzahl
	$M$	Steigung

Blattspitzengeschwindigkeit ist die Wurzel aus der Summe des Quadrats der Umfangsgeschwindigkeit und des Quadrats der Vorwärtsgeschwindigkeit.

$$V_{BS} = \sqrt{V_u^2 + V_v^2}$$

$$V_u = \frac{\pi \times \text{Ø} \times n}{60}$$

$$V_v = P \times n : 60$$

Beispiel:

Propellerdurchmesser von 26" mit einer Steigung von 10" bei einer Drehzahl von 5800 UpM.

$$V_u = 26" \times 0.0254 \times 3.14 \times 5800 : 60 = 200.5 \text{ m/s}$$

$$V_v = 10" \times 0.0254 \times 5800 : 60 = 24.55 \text{ m/s}$$

$$V_{BS} = \sqrt{200.5^2 + 24.55^2} = \sqrt{40'200,2 + 602,7} =$$

$$\mathbf{201.99 \text{ m/s} \times 3.6 = 727.19 \text{ km/h}}$$
$$\mathbf{201.99 \text{ m/s} : 330 \text{ m/s} = \text{Ma } 0.612}$$

## Propeller

oder eine weitere  
Berechnung eines Grossen  
32 Zoll grossen Propellers.

Also heisst das, keine  
Drehzahlen über 4'500-5'000  
Umdrehungen für  
Grosspropeller

Formel zur Berechnung der  
Blattspitzen-

Geschwindigkeit:

$32 \times 12 = 32$  Inches

Durchmesser mit 12 Inches  
Steigung

Inches zu cm  $\times \text{Pi} \times \text{RpM}$

$32 \times 2.54 = 81.28$ ,  $\times 3.14 =$

$255.21$ ,  $\times 4'500 \text{ RpM}$

1148. (Ueberschall ist bei 1180)

Weitere Drehzahlen und  
Grössen sind der

Tabelle zu entnehmen.

# Propeller

und hier die Tabelle

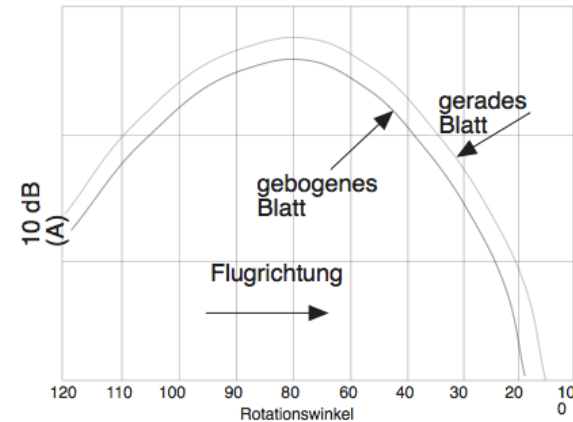
		Blattspitzengeschwindigkeit	145	155	165	175	185	195
		Machzahl (b/343)	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57
		Motorgrösse aus REM	<6.5cc	<10cc	<20cc	<30cc	>30cc	neu *1
Durchmesser Prop	Zoll	cm						
6	15		18171	19424	20678	21931	23184	24437
7	18		15575	16650	17724	18798	19872	20946
8	20		13628	14568	15508	16448	17388	18328
9	23		12114	12950	13785	14621	15456	16291
10	25		10903	11655	12407	13158	13910	14662
11	28		9912	10595	11279	11962	12646	13329
12	30		9086	9712	10339	10965	11592	12219
13	33		8387	8965	9544	10122	10700	11279
14	36		7788	8325	8862	9399	9936	10473
15	38		7268	7770	8271	8772	9274	9775
16	41		6814	7284	7754	8224	8694	9164
17	43		6413	6856	7298	7740	8183	8625
18	46		6057	6475	6893	7310	7728	8146
19	48		5738	6134	6530	6926	7321	7717
20	51		5451	5827	6203	6579	6955	7331
21	53		5192	5550	5908	6266	6624	6982
22	56		4956	5298	5639	5981	6323	6665
23	58		4740	5067	5394	5721	6048	6375
24	61		4543	4856	5169	5483	5796	6109
25	64		4361	4662	4963	5263	5564	5865
26	66		4193	4483	4772	5061	5350	5639
27	69		4038	4317	4595	4874	5152	5430
28	71		3894	4162	4431	4699	4968	5237
29	74		3760	4019	4278	4537	4797	5056
30	76		3634	3885	4136	4386	4637	4887
31	79		3517	3760	4002	4245	4487	4730
32	81		3407	3642	3877	4112	4347	4582
33	84		3304	3532	3760	3987	4215	4443
34	86		3207	3428	3649	3870	4091	4312
35	89		3115	3330	3545	3760	3974	4189
36	91		3029	3237	3446	3655	3864	4073
erlaubte Drehzahlbereiche gemäss REM91								
neu, *1: eigene Extrapolation der erlaubten REM Machzahl für Motoren > 70ccm								
neu, *2: eigene Extrapolation der erlaubten REM Machzahl für Motoren > 100ccm								
Schallgeschwindigkeit: <a href="http://134.176.128.63/schall.html">http://134.176.128.63/schall.html</a> (343m/s bei 20°C)								
Machzahl = Blattspitzengeschwindigkeit/Schallgeschwindigkeit								
<a href="http://134.176.128.63/schall.html">http://134.176.128.63/schall.html</a>								

# Propeller

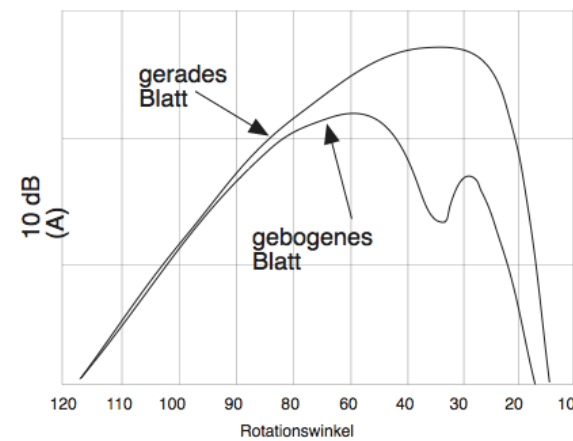
Ein weiterer Effekt ist, wenn man die gebogenen Blätter anschaut und vermisst. Diese schneiden allesamt besser ab, wenn man die nebenstehende Grafik betrachtet. Die Ablösepunkte sind unterschiedlich und somit besser.

## gebogene Blätter

Propellergeräusch bei Standschubmessungen



Propellergeräusch im Flug



# Propeller

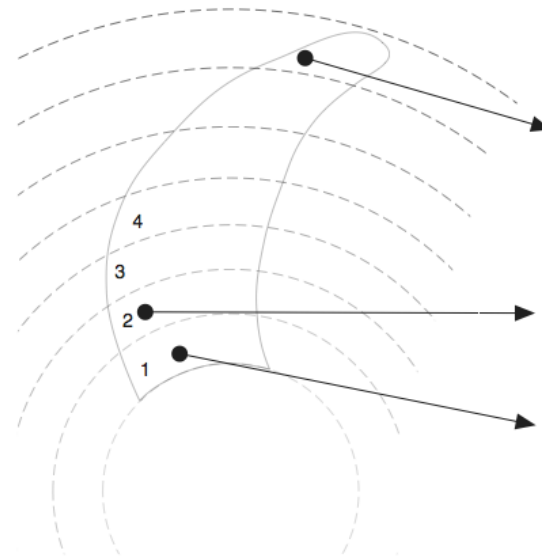
und hier ist der Beweis.

Neue beliebte Modelle (PC-21, Turboprop oder elektrisch) haben genau diese Charakteristik.

## Spezielle Blattform

Reduktion der Ma Zahl in  
Abhängigkeit des Blattbogens

Signalüberlagerung, basierend von diversen  
Radius-Sektoren



## ***Was kann man nun unternehmen, um in Zukunft ohne Probleme fliegen können?***

- Man müsste also einige Faktoren der vorangegangenen Erklärungen in die Überlegungen einfließen lassen und auf den Platz und die Umwelt ein gerechtes Konzept erstellen.
- Dies mehrfach überprüfen und schrittweise einführen.
- Damit ist ein langfristiger Erfolg garantiert!

# Typenprüfung / Abnahmemessung

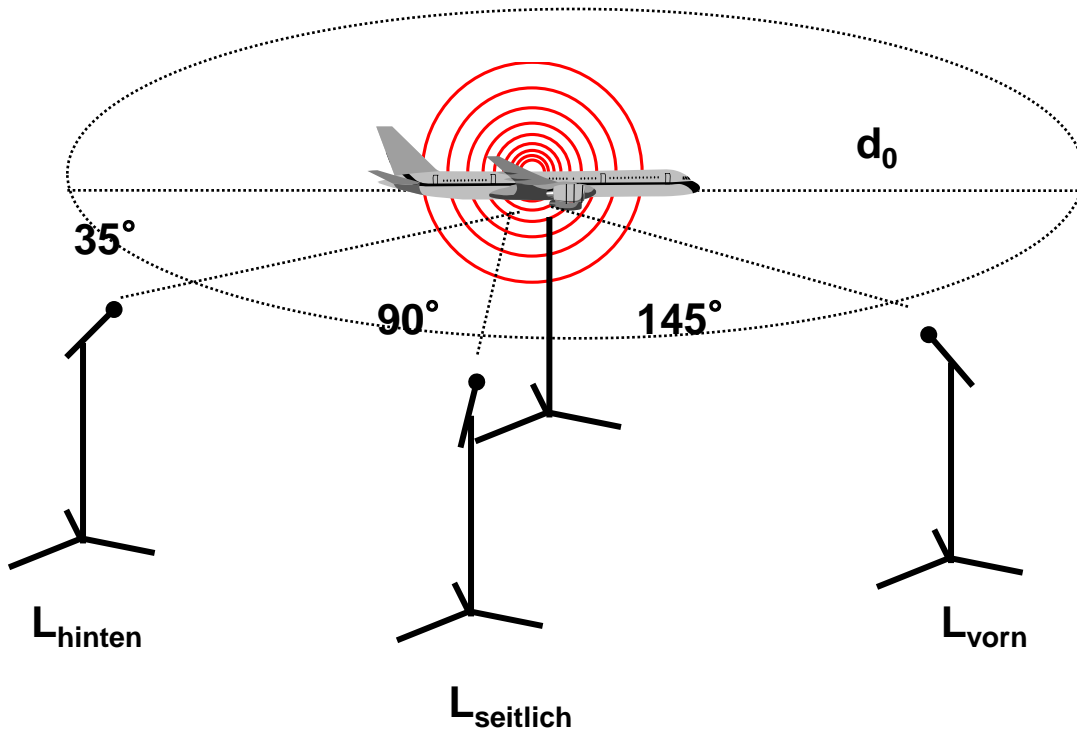
- Grundsatz: So einfach wie möglich!
- Definition..
  - der Betriebsbedingungen der Quelle,
  - des Abstands der Quelle zum Mikrofon,
  - der Messgrößen,
  - der Messeinrichtung (Höhe der Quelle sowie des Mikrofons über Boden, Rundummessung)
  - des Messablaufs
  - der Messumgebung (Bodenbeschaffenheit, Bebauung, atmosphärische Bedingungen)
  - ...
- Orientierung an den Richtlinien des SMV, evtl. des DMFV.



# Das Drei-Stufen Konzept der Geräuschbekämpfung

- Vorsorgliche Emissionsbegrenzung
  - Reduktion des Lärms mit Massnahmen bei der Quelle
  - Kontrolle durch Typenprüfung / Abnahmemessung
- Verschärfte Emissionsbegrenzung zur Einhaltung der gesetzlichen festgelegten Immissionen
  - Weitere Reduktion mit zusätzlichen Massnahmen an der Quelle (Schalldämpfer, Massnahmen am Propeller, etc.)
  - Kontrolle durch Typenprüfung / Abnahmemessung
  - Massnahmen auf dem Ausbreitungsweg des Schalls (alle Flugrouten, Gespräche mit Beteiligten)
- Schallschutz beim Empfänger
  - Routenwahl der Schlepper, **Hören aus der Sicht des Empfängers**

# Vorschlag zur Typenprüfung



## **Messumgebung / Messbedingung:**

- Gras, kurz geschnitten; für Beton- oder Asphaltboden +2 dB
- Freifeld (keine reflektierenden Oberflächen)
- Windgeschwindigkeit nicht grösser als 2m/s
- ...

## **Messung:**

- Kurze Messdistanz ( $d_0 = 3, 7, 10$  Meter)
- Maximalpegel messen (Geräte-Einstellung slow)
- 3 Messpositionen ( $35^\circ, 90^\circ, 145^\circ$ )
- Dreimal auf jeder Position messen
- Für jede Position den arithmetischen Mittelwert bilden.
- Energetischer Mittelwert der gemittelten Positionsmessungen bilden.
- Wenn Asymmetrie, Flugzeug drehen und Messung wiederholen.
- ...

# Welches ist der zulässige Pegel

Distanz, m	$\Delta L_A$	$L_{max}$	IGW in $L_r$	PW in $L_r$
1	9.5 dB(A)	103.5 dB(A)		
2	3.5 dB(A)	97.5 dB(A)		
3	0.0 dB(A)	94.0 dB(A)	Zulässiger Maximalpegel (gemessen)	
7	-7.4 dB(A)	86.6 dB(A)		
10	-10.5 dB(A)	83.5 dB(A)		
20	-16.5 dB(A)	77.5 dB(A)		
50	-24.4 dB(A)	69.6 dB(A)		
85	-29.0 dB(A)	65.0 dB(A)	ES III	
100	-30.5 dB(A)	63.5 dB(A)		
150	-34.0 dB(A)	60.0 dB(A)	ES II	ES III
200	-36.5 dB(A)	57.5 dB(A)		
265	-38.9 dB(A)	55.1 dB(A)	ES I	ES II
300	-40.0 dB(A)	54.0 dB(A)		
400	-42.5 dB(A)	51.5 dB(A)		
475	-44.0 dB(A)	50.0 dB(A)		ES I
500	-44.4 dB(A)	49.6 dB(A)		
600	-46.0 dB(A)	48.0 dB(A)		
700	-47.4 dB(A)	46.6 dB(A)		
800	-48.5 dB(A)	45.5 dB(A)		
900	-49.5 dB(A)	44.5 dB(A)		
1000	-50.5 dB(A)	43.5 dB(A)		
1500	-54.0 dB(A)	40.0 dB(A)		
2000	-56.5 dB(A)	37.5 dB(A)		

$L_{max} \neq L_r$

Maximalpegel  $L_{max}$  ist eine gemessene Grösse

Beurteilungspegel  $L_r$  ist eine berechnete Grösse unter Berücksichtigung der...

- ...Schalleistung der Quelle
- ...Anzahl Ereignisse
- ...Betriebstage
- ...Betriebszeit
- ...etc.

# Der Beurteilungspegel $L_r$

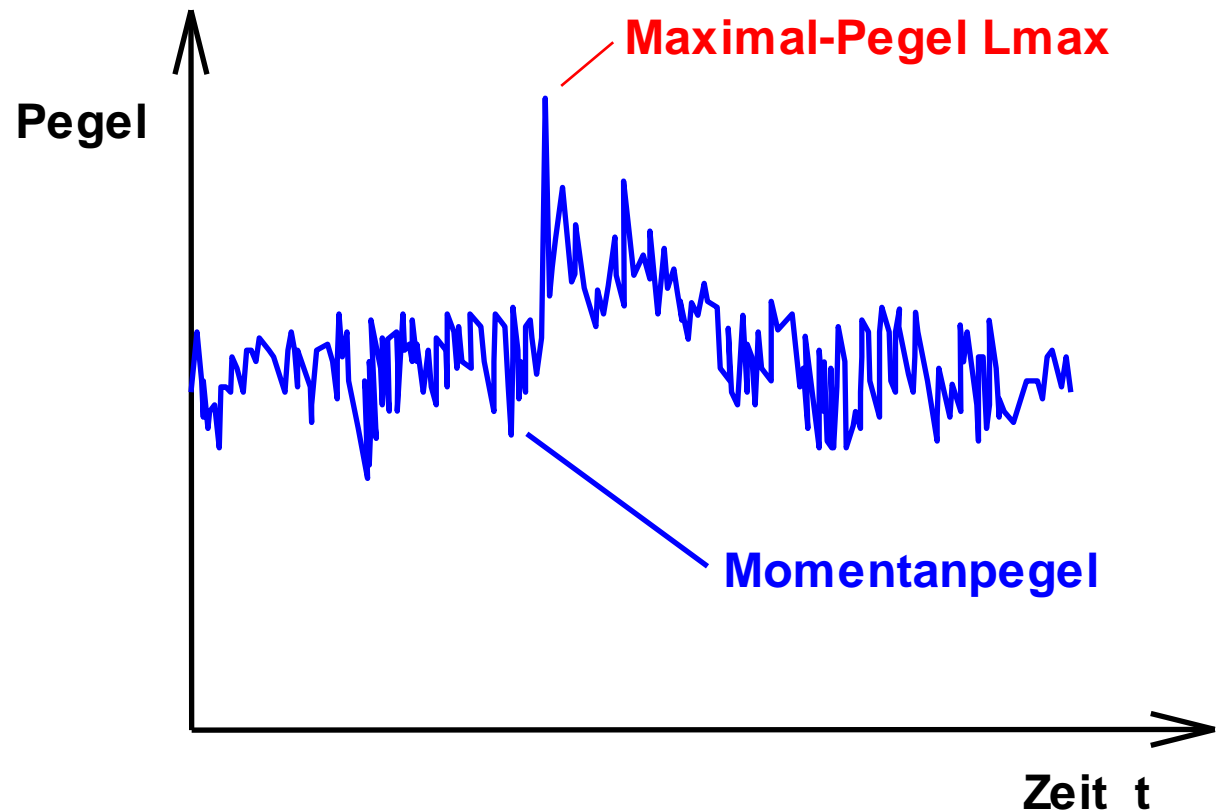
$$L_r = L_{eq} + K$$

**Beurteilungspegel** = **Mittelungspegel** +  
**Korrekturen**

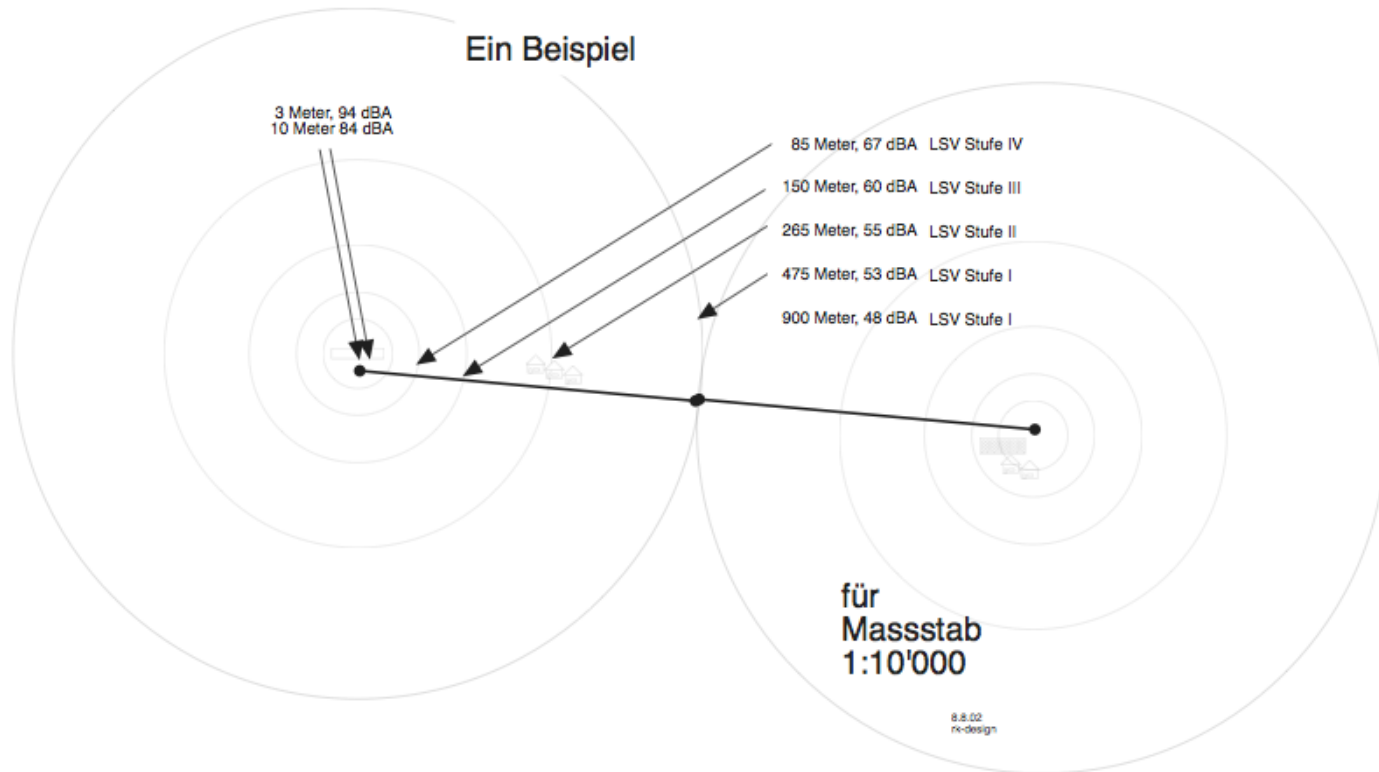
→ Der **Beurteilungspegel  $L_r$**  ist keine  
physikalische Grösse mehr sondern ein  
**Mass für die Lärmstörung!**

# Der Pegel

Das Ergebnis der Skalentransformation nennt man (generell) Pegel  $L$  und wird in  $\text{dB}$  angegeben.



# Maximalpegel und Beurteilungspegel in Funktion der Distanz



## Empfehlung

Grossvolumige Motoren und Grosse Propeller (ab 80 ccm) haben einen sehr hohen Schalldruck, der innerhalb 10 Meter schlechte Resultate bringt. So gehe ich nun bei derartigen Motoren hin, und messe diese auf 100 Meter bei 64 dbA.

## Messmethode

das Modell wird auf eine Stütze gebunden und rundum gemessen für eine Minute bei Vollgas.

Das so erzielte Resultat entspricht einer «ankommenden Messmethode», also aus der Sicht des Einsprechers/Nachbars.

# Messen der Jets

Da ich noch Obmann der Schänis Model Flyers bin und auf diesem Platz vorwiegend Jets fliegen, ist es naheliegend, dass Jets in verschiedenen Methoden gemessen werden und so evtl. adequate Resultate vorliegen könnten.

## Wie weiter?

War es das schon, oder gibt es neue Projekte?

Ja, es gibt welche . . .





# Fragen?

Ich wünsche allen  
beim Messen und  
Umsetzen neuer  
Ideen viel Spass.  
Bei Fragen oder  
Hilfestellungen; bin  
ich immer in der Nähe



*Ausbildungsanlass AG FIPI / Sicherheit*

*Olten 08022020*

**SMV**  **FSAM**

Schweizerischer Modellflugverband  
Fédération Suisse d'Aéromodélisme  
Federazione Svizzera di Aeromodellismo

  
AERO CLUB