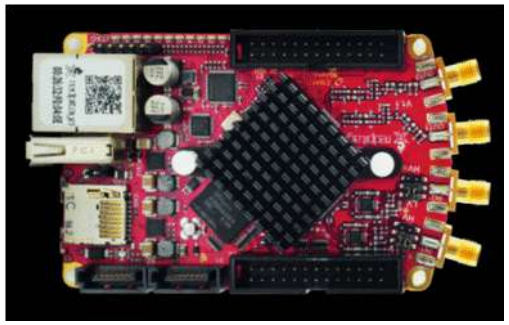
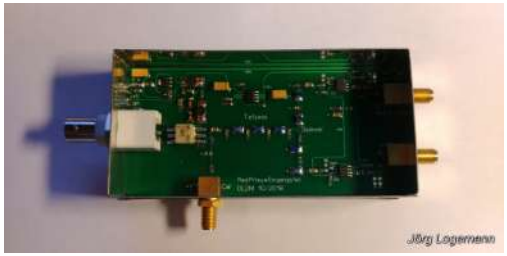
Für Rauschmessungen (konform zu ITU-R P.372-13) und als Empfangsantenne

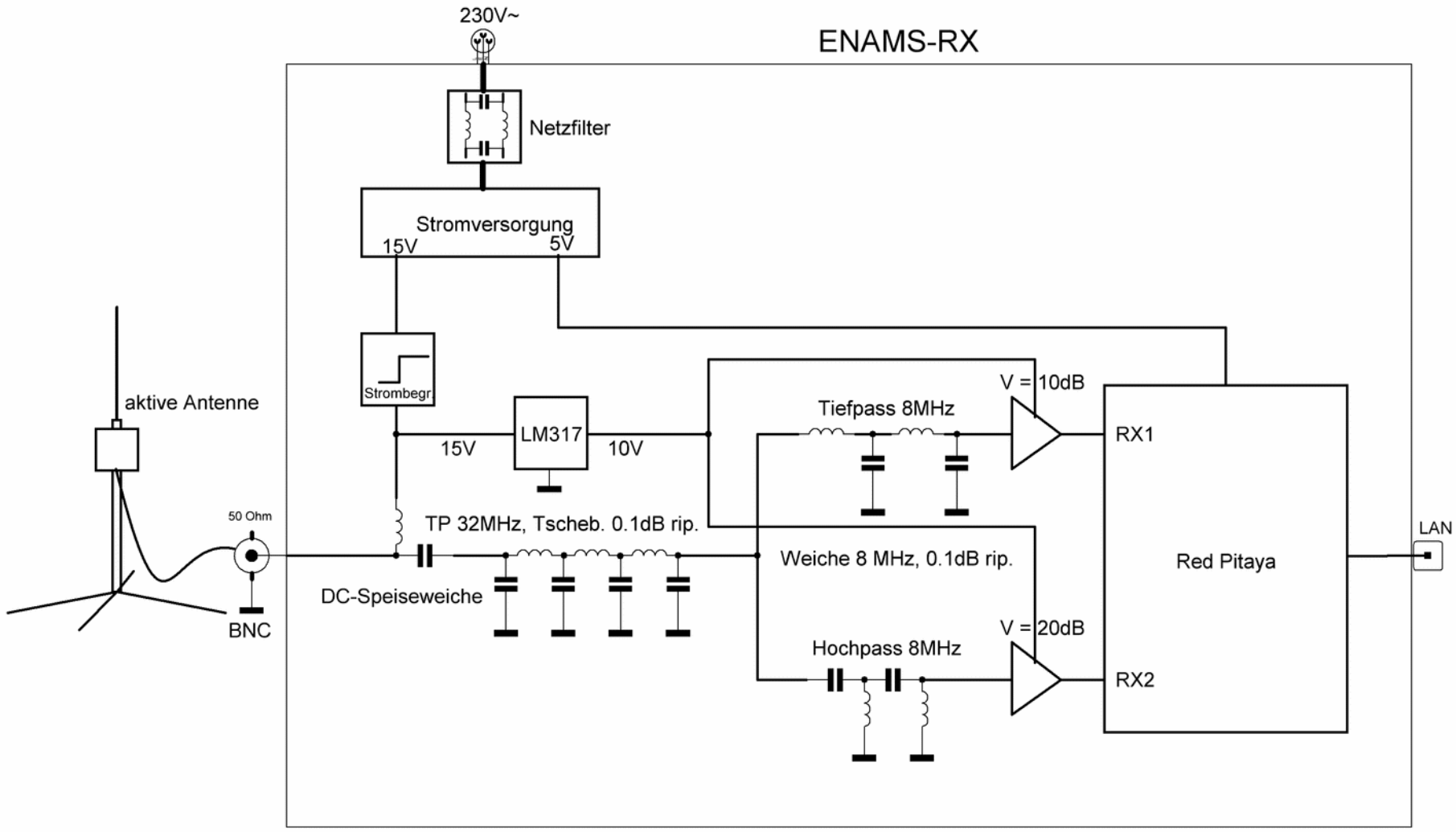
(siehe auch cqDL 3/17 und 2/18)



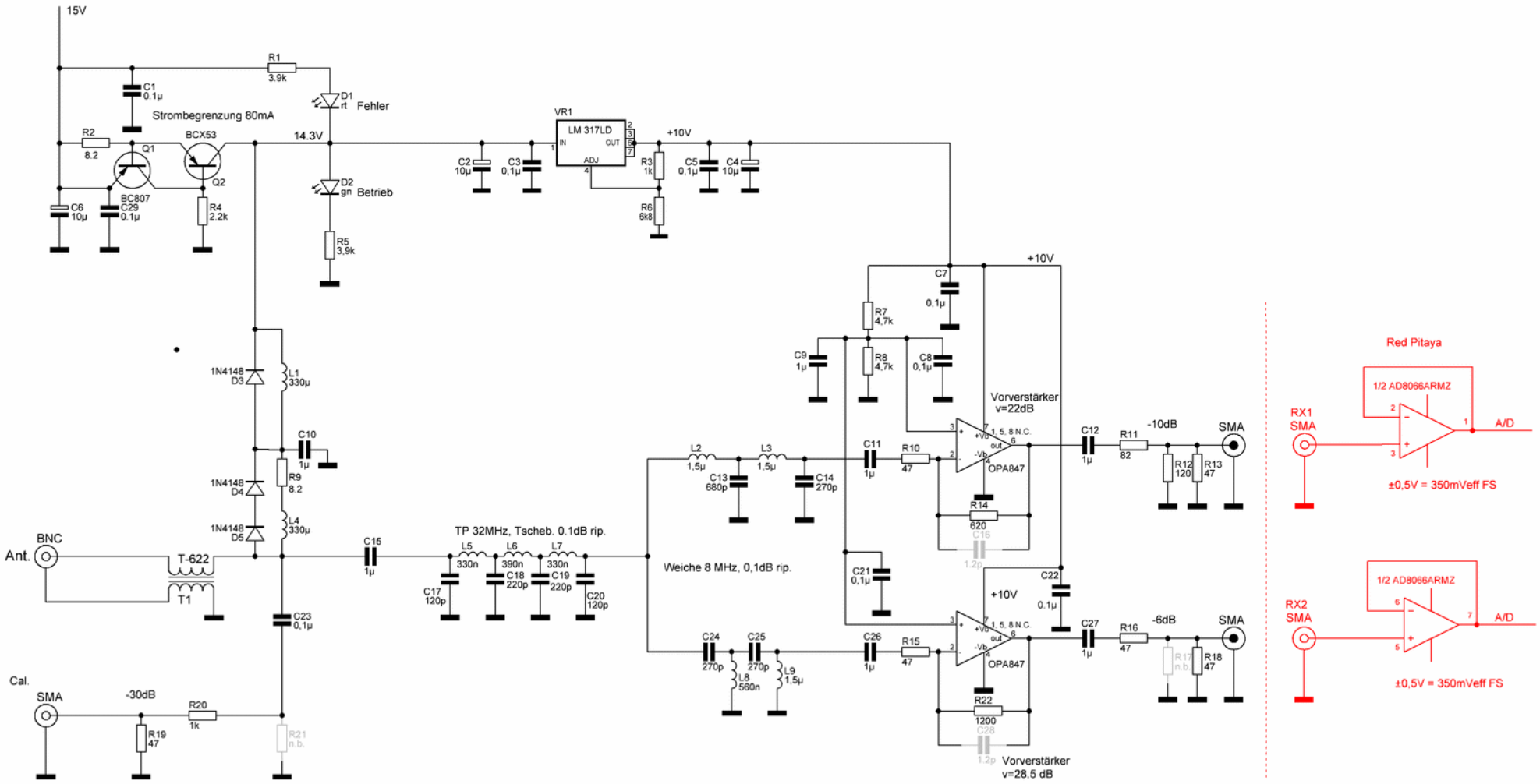


Jörg Logemann, DL2NI, Februar 2018, Juli 2019, April 2021

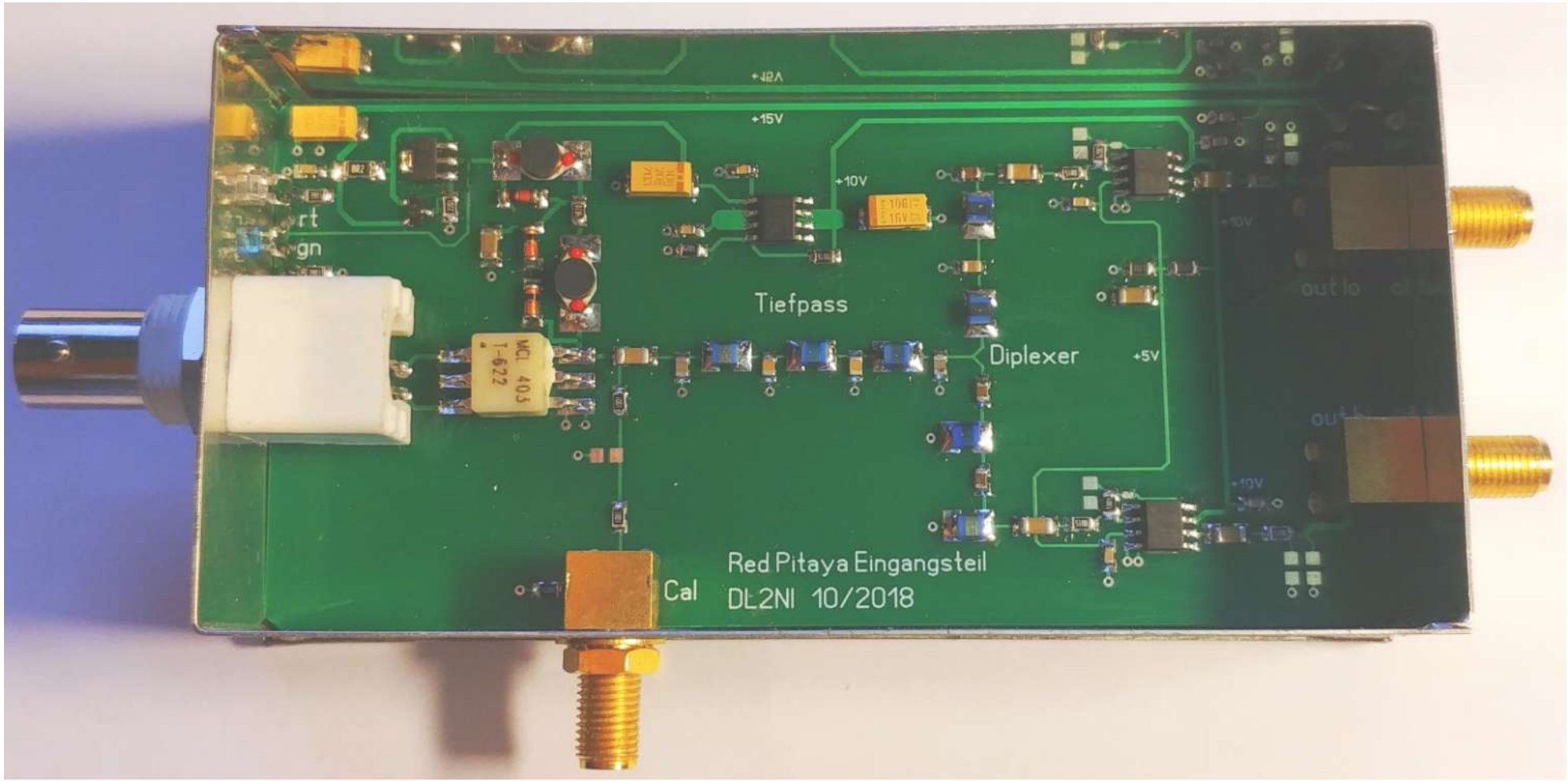
Blockschaltbild des RedPit-Empfängers



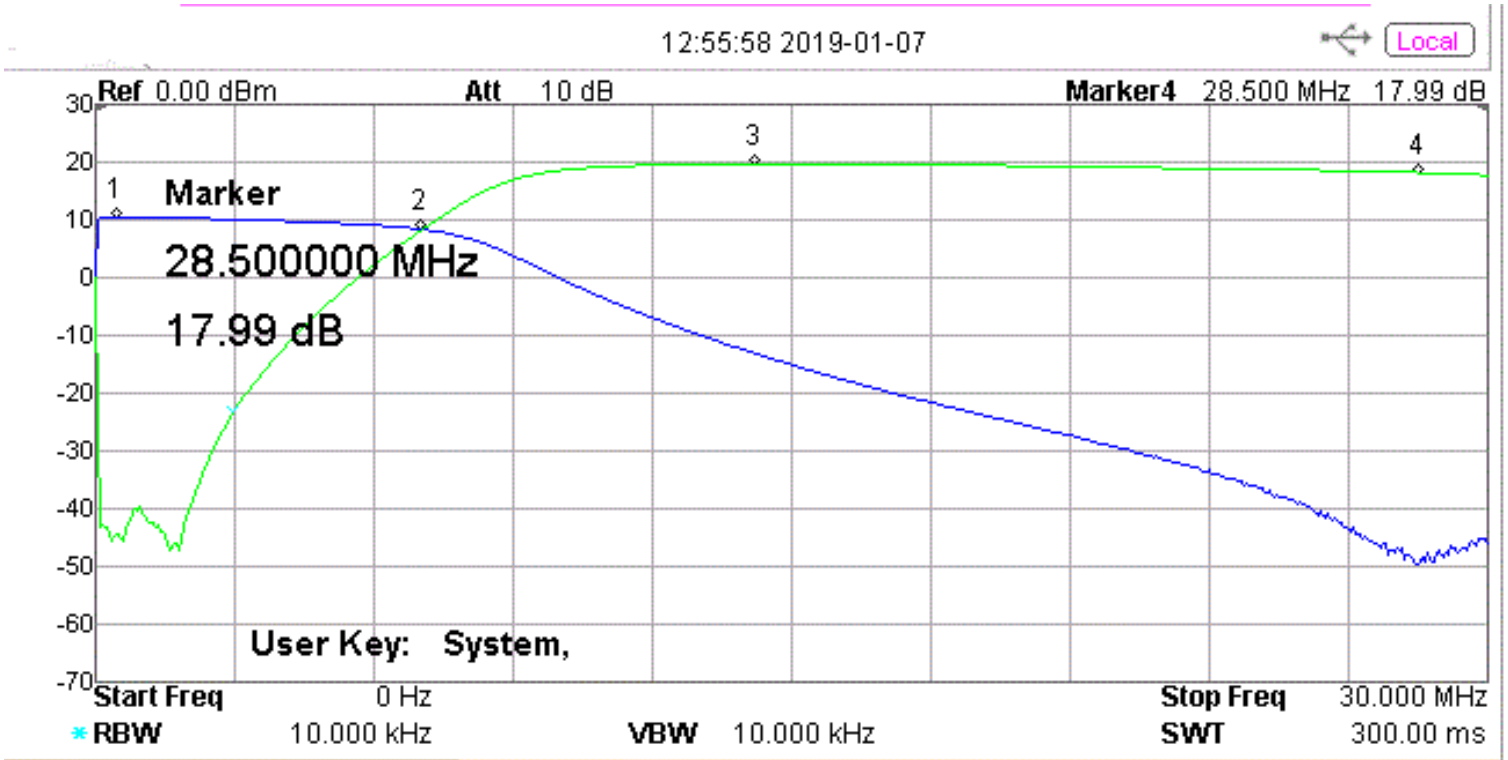
Schaltbild des RedPit-Eingangsteils



Aufbau des RedPit-Eingangsteils



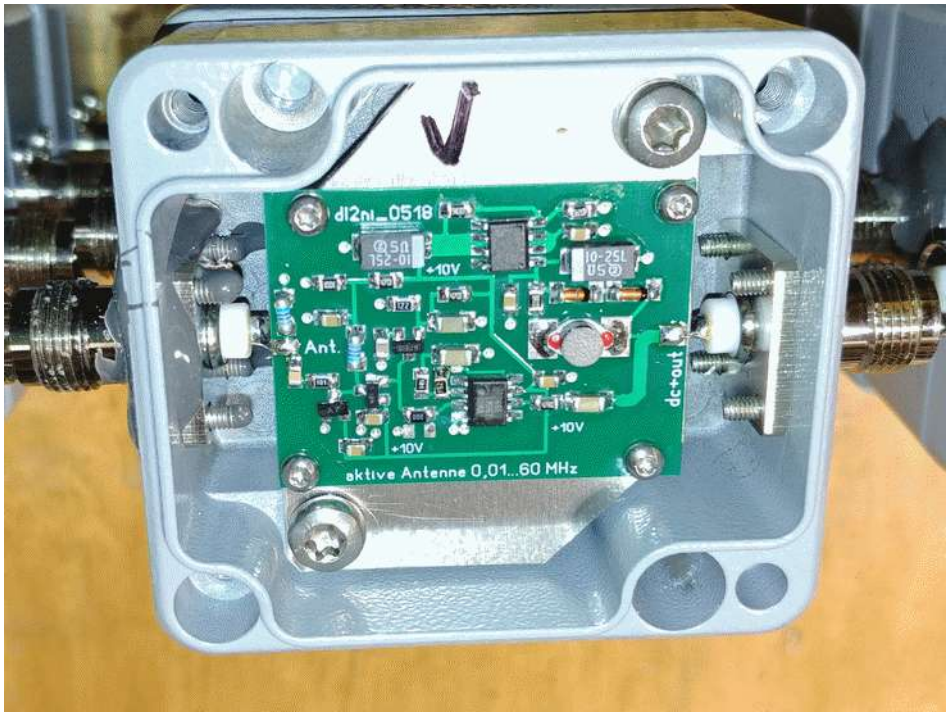
Frequenzgang des Eingangsteils



Marker Table

Marker	Trace	Type	X Axis	Amp
1D	1	Frequenz	450.000 kHz	10.34 dB
2D	1	Frequenz	7.000000 MHz	8.20 dB
3D	2	Frequenz	14.200000 MHz	19.55 dB
4D	2	Frequenz	28.500000 MHz	17.99 dB

Aktive Antenne, Messung nach ITU-R P.372-13



Grundlagen (Fußpunktimpedanz)

Bei einer $\lambda/4$ langen Antenne beträgt der Strahlungswiderstand ca. 36Ω (real). Bei idealem Erdnetz ist dies der Fußpunktwiderstand Za.

Bei $\lambda/20$ beträgt Za ca. 1Ω (real), bei $\lambda/200$ beträgt Za ca. 10mΩ (real).

Für aktive Antenne mit sehr kurzem Strahler gilt:

Realteil: wird vernachlässigt (μΩ...mΩ)

Imaginärteil (auch leicht frequenzabhängig):

11pF/m (8mm Draht), 10pF/m (3mm Draht)

Grundlagen (Verstärker)

Belastet der Verstärker die Antenne nicht und hat eine Verstärkung von 0dB, steht an seinem Ausgang die oben errechnete Spannung niederohmig (50Ω) zur Verfügung.

In der Praxis: Verstärker hat Eingangswiderstand (z.B. einige MΩ) und Eingangskapazität (z.B. einige pF)

Es wird ein Spannungsteiler 10pF der Antenne zu Eingangsimpedanz des Verstärkers gebildet

Grundlagen (Verstärker)

Messung der Verstärkung daher immer über Ersatzlast (hier 10pF)

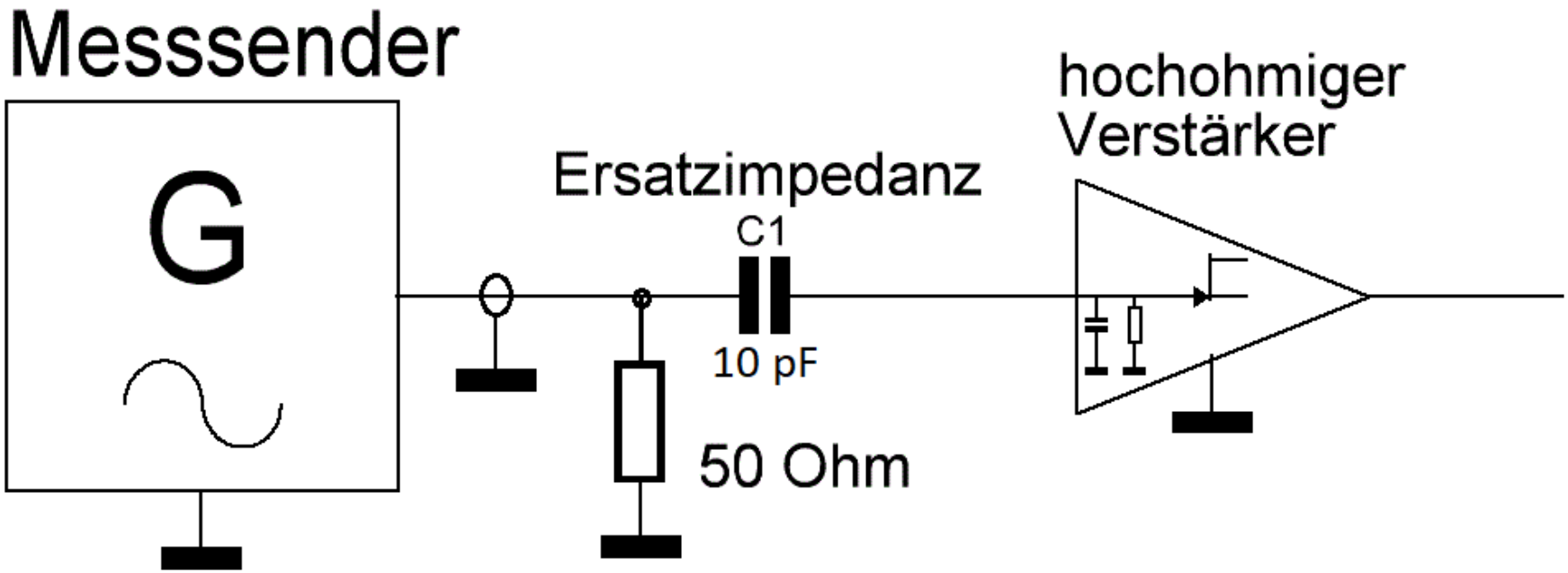
die Spannungsverstärkung liegt bei ca. -3,5dB,

so ist der k-Faktor der Antenne auf 1/m (= 0dB/m) gesetzt (Änderung leicht möglich)

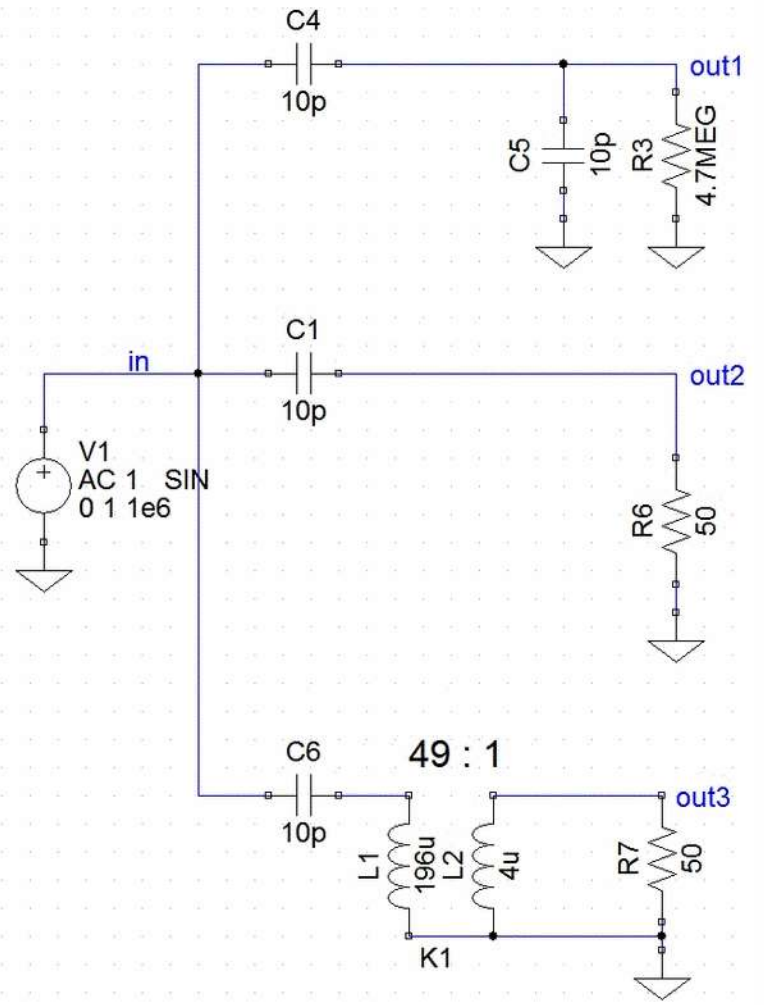
Die Einfügungsverstärkung liegt aber bei 10...40 dB oder mehr (Unterschied zwischen „Antennenstab direkt an 50Ω“ zu „Antennenstab über Verstärker an 50Ω“)

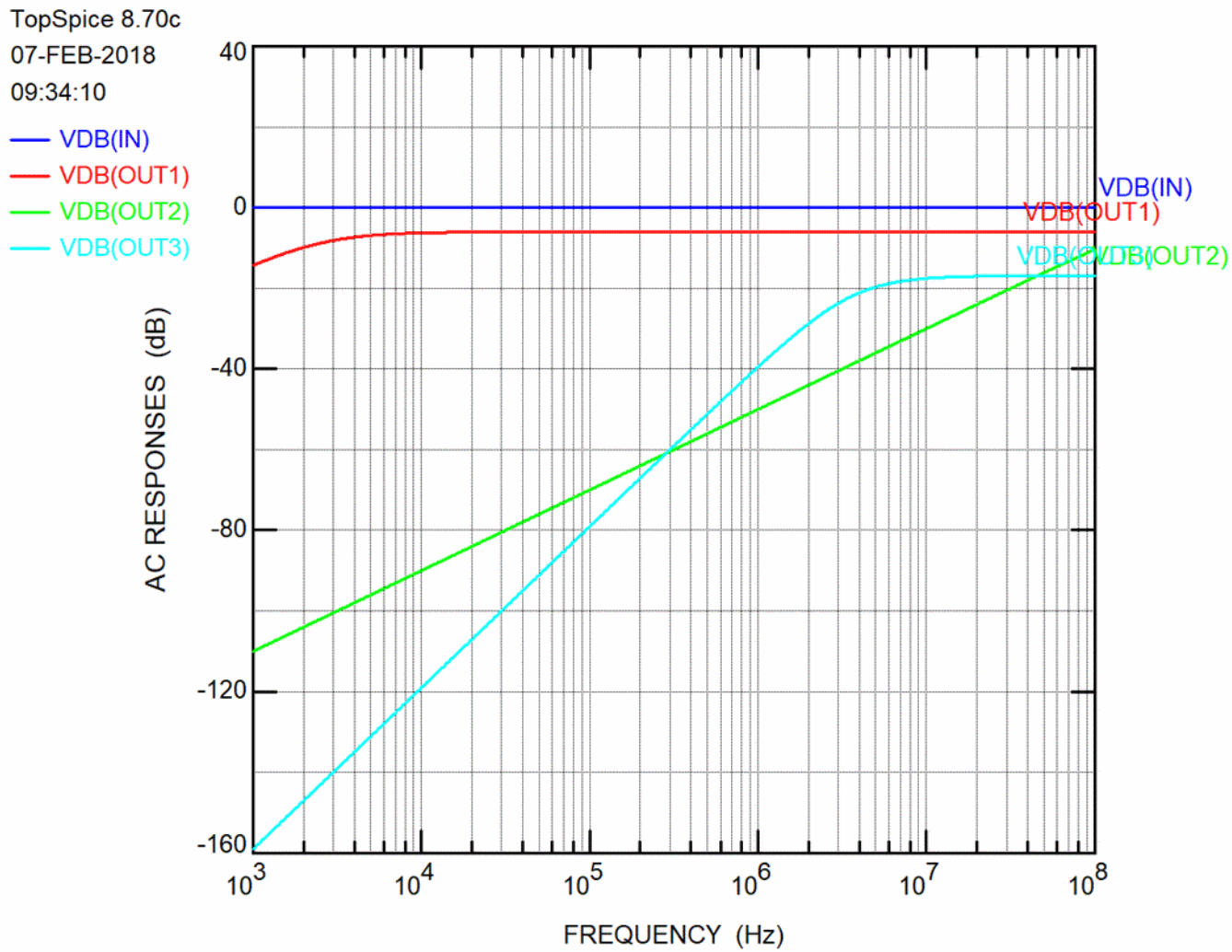
Messung der Verstärkung

Messung der Verstärkung der aktiven Antenne mit Ersatzimpedanz des Strahlers



Simulation Einfügungsverstärkung (SPICE)





mit Verstärker, ohne Verstärker, mit Trafo

DL2NI

Grundlagen (Nutzhöhe)

Zur Bestimmung der Ausgangsspannung verwendet man den Begriff „effektive Höhe“ oder „Nutzhöhe“.

Bei $\lambda/4$ gilt:

h_N = Nutzhöhe in m, l = Antennenlänge in m, λ = Wellenlänge in m, E = Feldst. In V/m

$$h_N = \frac{2 \bullet l}{\pi} \qquad h_N = \frac{\lambda}{2 \bullet \pi}$$

Antennenspannung (EMK):

$$u = E \bullet h_N = \frac{E \bullet \lambda}{2 \bullet \pi}$$

Grundlagen (Nutzhöhe)

Über die Nutzhöhe erfolgt die „rechnerische Kalibrierung“ der Antenne

Die Nutzhöhe ist die entscheidende Größe zur Umrechnung einer gemessenen Spannung in Feldstärke oder das Rauschmaß nach ITU

Hier: Nutzhöhe von kurzen Antennen mit

$l \ll \lambda/4$ auf Boden (evtl. mit kleinem Mast) mit Radialnetz

Grundlagen (Nutzhöhe)

Bei kurzen Monopolen (<< $\lambda/4$ auf Boden mit Radialnetz) mit der Strahlerlänge h_S gilt:

$$h_N = \frac{1}{2} h_S$$

die wirksame Antennenhöhe (Nutzhöhe) ist gleich der halben mechanischen Höhe.

Somit gilt: bei einer Feldstärke von 1 µV/m entsteht am 1 m-Strahler eine Spannung von 0,5 µV EMK

Grundlagen (Nutzhöhe)

Wird, wie im vorliegenden Fall, eine solche Antenne mit einem kleinen Mast oder Tragrohr der Länge hM betrieben, gilt :

$$h_N = \frac{1}{2} h_S + h_M$$

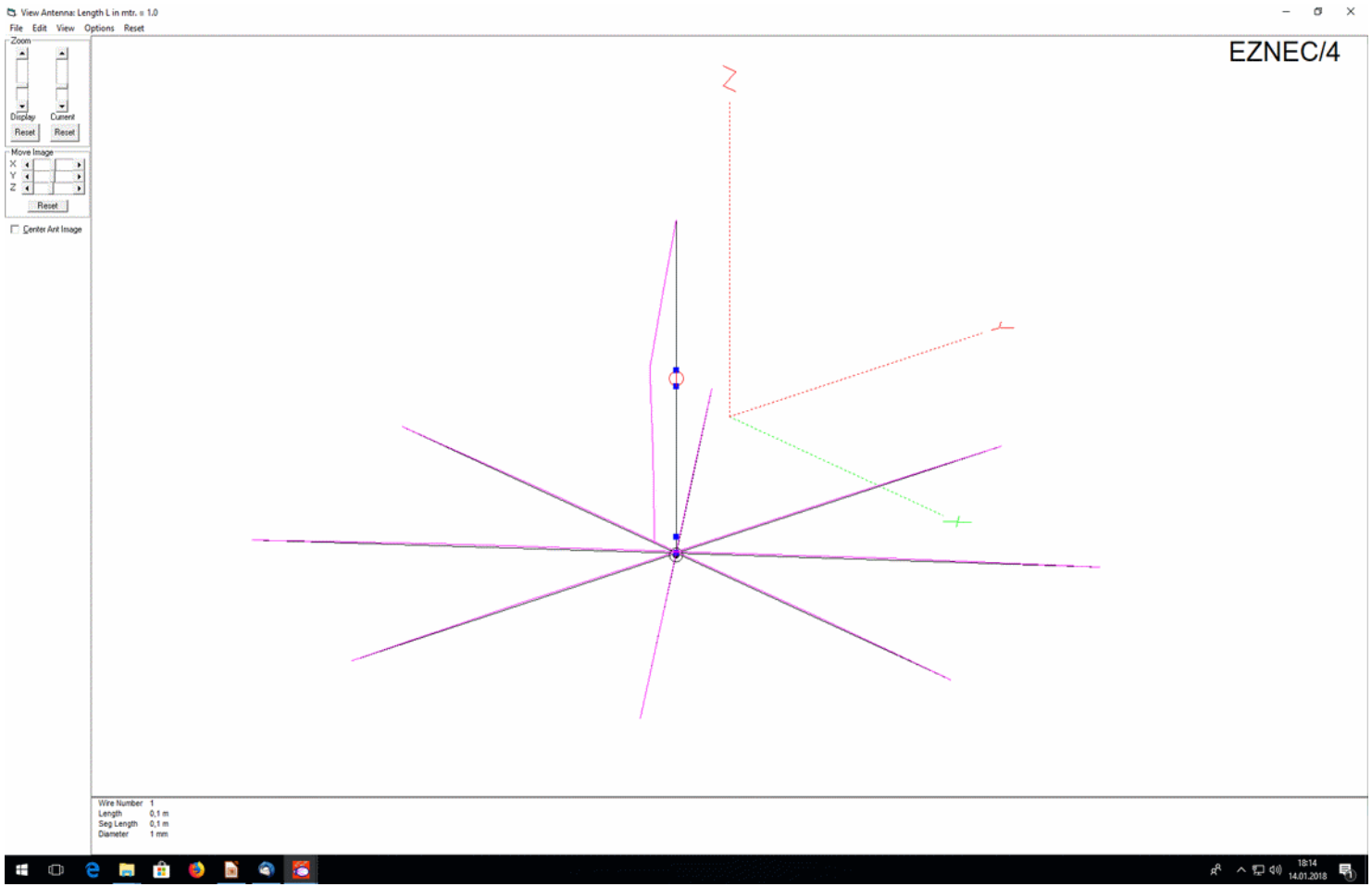
Achtung: Formel gilt nur für $h_S > 0$!

Bei jeweils 1 m Länge beträgt h_N also 1,5 m, bei 1 µV/m entstehen 1,5 µV EMK am Strahler, also das 3fache oder +9,5dB gegenüber Strahler ohne Mast vor dem (rauschenden) Verstärker!

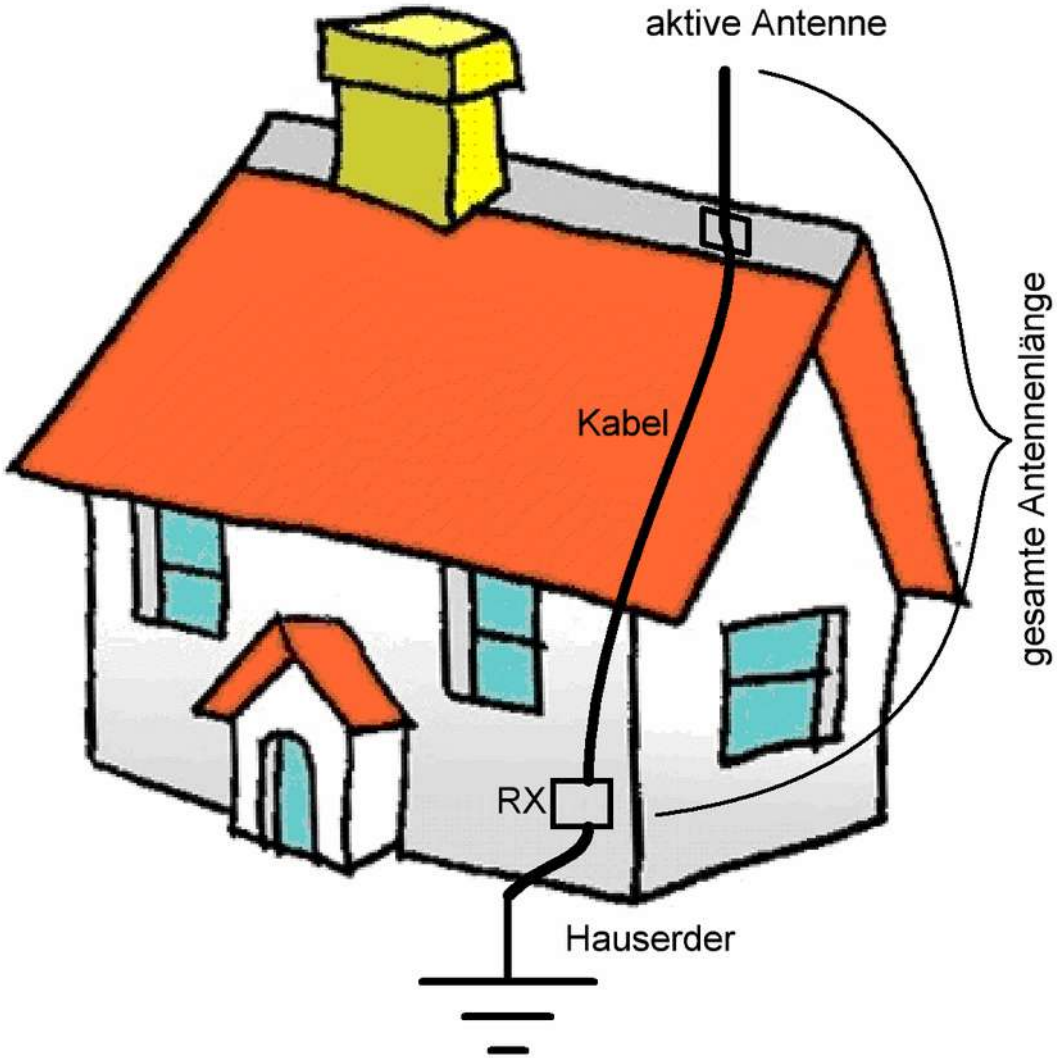
Grundlagen (Nutzhöhe)

Dreiecksförmiger Strombelag auf Strahler

Nahezu linearer Strombelag auf Standrohr

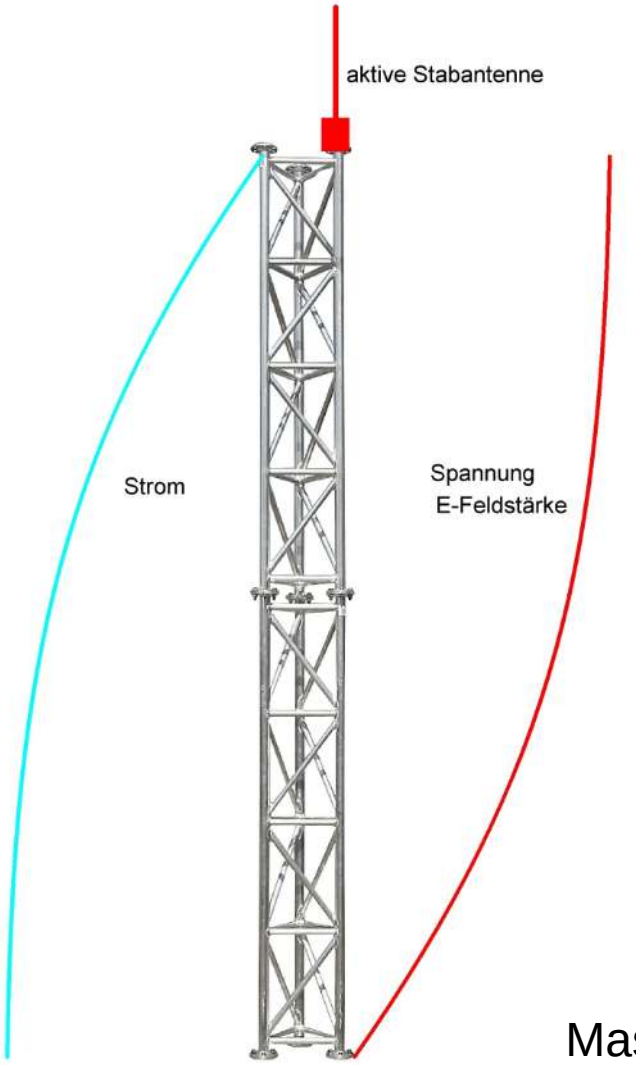


Antennenmontage auf Gebäude



Antennenmontage auf Mast

Mastresonanz!
Ein 10m-Mast hat bei etwa 7MHz seine Resonanz. Hier treten an seiner Spitze starke Erhöhungen der E-Feldstärke (bis zu 20dB) auf! Dasselbe gilt für die ungradzahligen Vielfachen: z.B. 21MHz. Bei λ/2 und Vielfachen davon haben wir dann Feldstärke Minima!
Folge: sehr ungleichmäßiger Frequenzgang, Übersteuerung des Verstärkers, IM!
Daher nicht für Messung von Feldstärken oder Rauschen geeignet!



Mast geerdet

Nutzhöhe auf Mast

Auswirkung der Masthöhe auf die Nutzhöhe

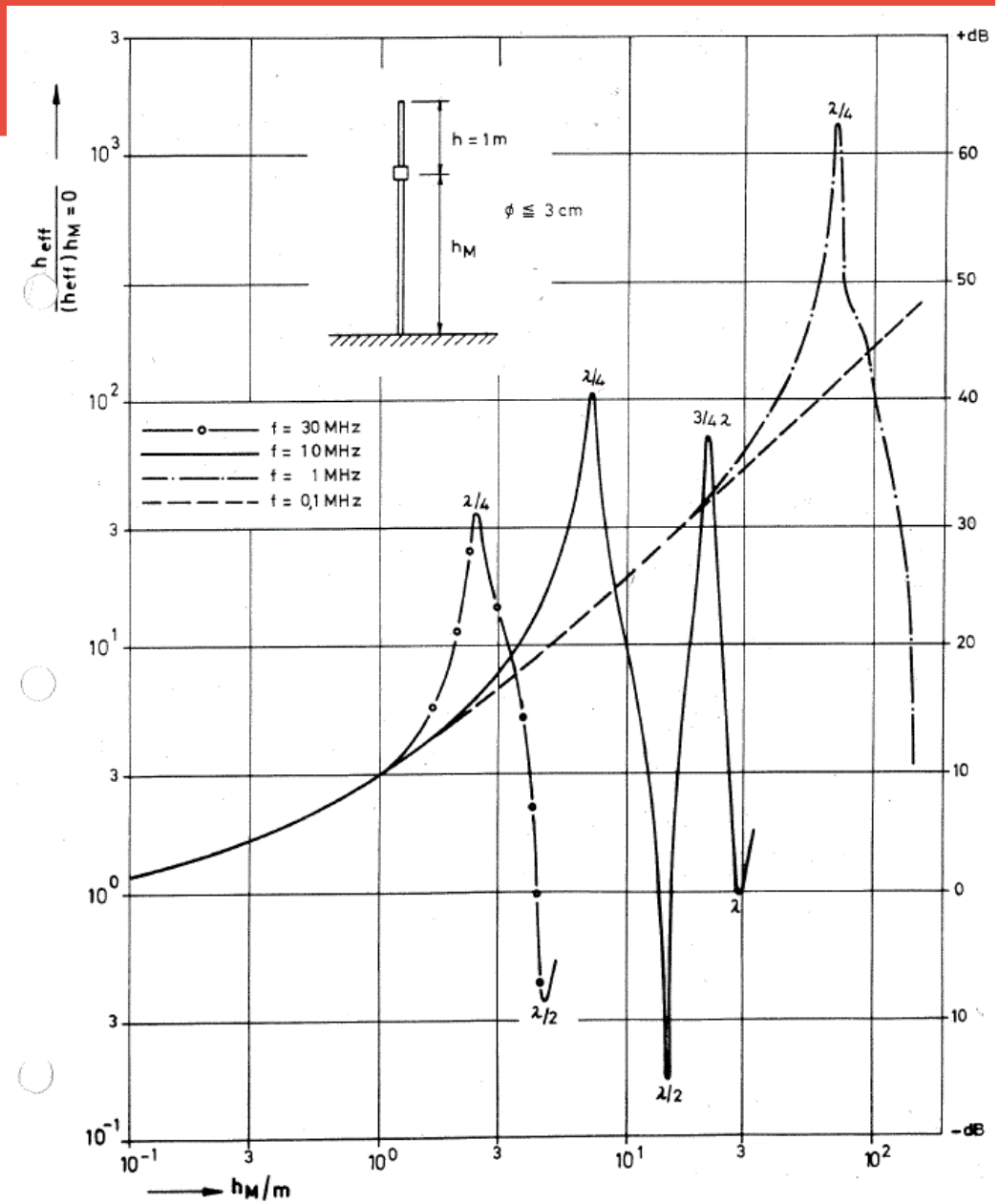
(nach Diekmann & Klapper, heute AAS)

Maximal zulässige Mast- (und Strahler-)höhe:

$$h_M / \lambda \leq 0{,}15$$

(für höchste Frequenz!)

bei h_M = 1m ist 50MHz die Grenze, 30MHz noch auf der sicheren Seite



Nutzhöhe bei Antennen auf Mast, Fazit

Schlussfolgerung für f<50MHz:

Optimale Aufstellung einer aktiven Stabantenne auf 1m Tragrohr auf dem Boden mit Radials!

Dadurch maximale Nutzhöhe bei gleichzeitig linearem Frequenzgang, keine Resonanzen im Nutzbereich

Eine aktive E-Feldantenne gehört nicht auf das Dach oder auf einen höheren Mast!

Technische Daten der Antenne

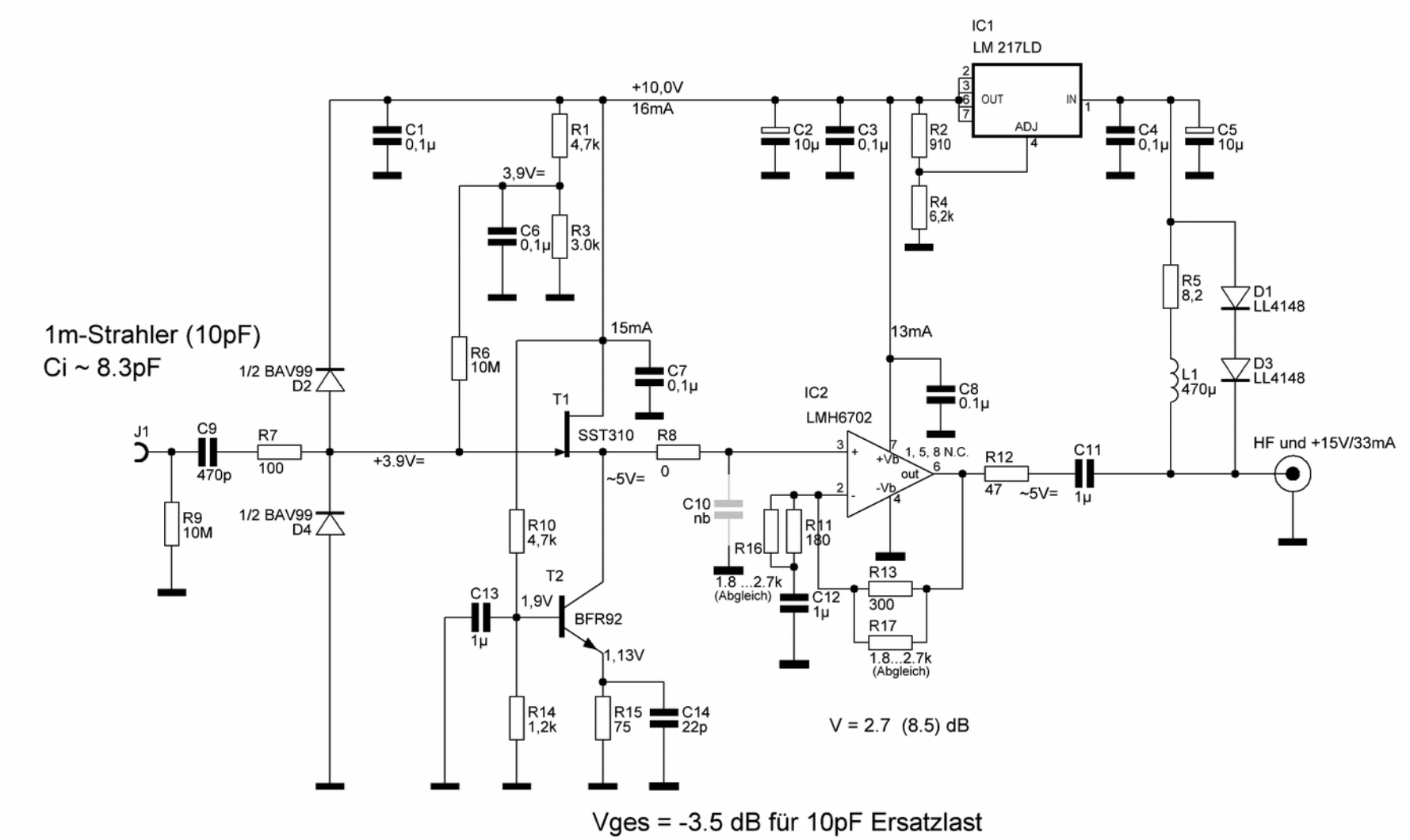
Die Antenne mit LMH6702 weist folgende Daten auf:

Verstärkung mit Nachbildung	V = -3.5dB
1dB Kompression (Ausg.)	P1dB = +11dBm
Intermodulation (am Ausgang)	OPIP2 = +56dBm
(2 x 0dBm, df = 1MHz)	OPIP3 = +43dBm
Stromaufnahme bei U=15V	I = 30mA
Empfindlichkeitsgrenze	E = -46dBµV/m@1Hz*

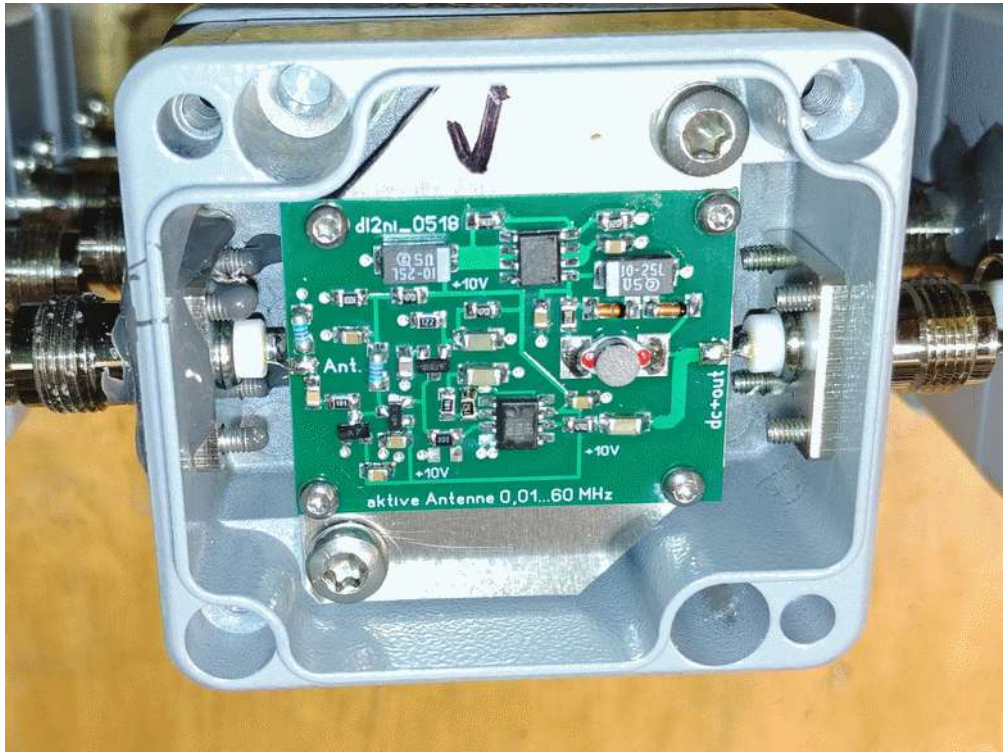
(f = 1…30MHz, 1m/1m, -49dBµV mit 1.4m/1.4m)

* mit OPA847 bis unter -50dBµV/m bei 1m/1m

Aktive Antenne mit OP (für DARC-ENAMS)



Fertiger Verstärker



Mechanischer Aufbau: Die Platine wird direkt auf eine Alu-Adapterplatte geschraubt und diese ins Rose-Gehäuse.
Antenne: TNC-Buchse, Ausgang: TNC-Buchse

Fertige Verstärker

Messen mit der Antenne

$$h_N = (\tfrac{1}{2}\, h_S + h_M) \bullet v$$

$$u = E \bullet h_N = E \bullet (\tfrac{1}{2}\, h_S + h_M) \bullet v$$

u = Spannung In V, E = Feldstärke in V/m, v = Verstärkungsfaktor

h_N = Nutzhöhe in m, h_S = Strahlerhöhe in m, h_M = Masthöhe in m

$$E = \frac{u}{(\tfrac{1}{2} \bullet h_S + h_M) \bullet v}$$

Umrechnung E-Feldsonde in kurzen Monopol

ITU verwendet kurzen verlustfrei angepassten Monopol auf idealem Boden.

Hier ist die Ausgangsspannung bei konstanter Feldstärke frequenzabhängig!

Bei unserer aktiven Antenne (E-Feldsonde) ist die Ausgangsspannung bei konstanter Feldstärke frequenzunabhängig!

Es ist daher eine Korrekturrechnung erforderlich!

Berechnung der Korrektur

$$korr = 20 * \log\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{480 * \pi^2}{50 * \lambda^2}}}\right)$$

Es sind: korr = Korrekturwert in dB, 50 ist die Systemimpedanz in Ohm, λ ist die Wellenlänge in m.

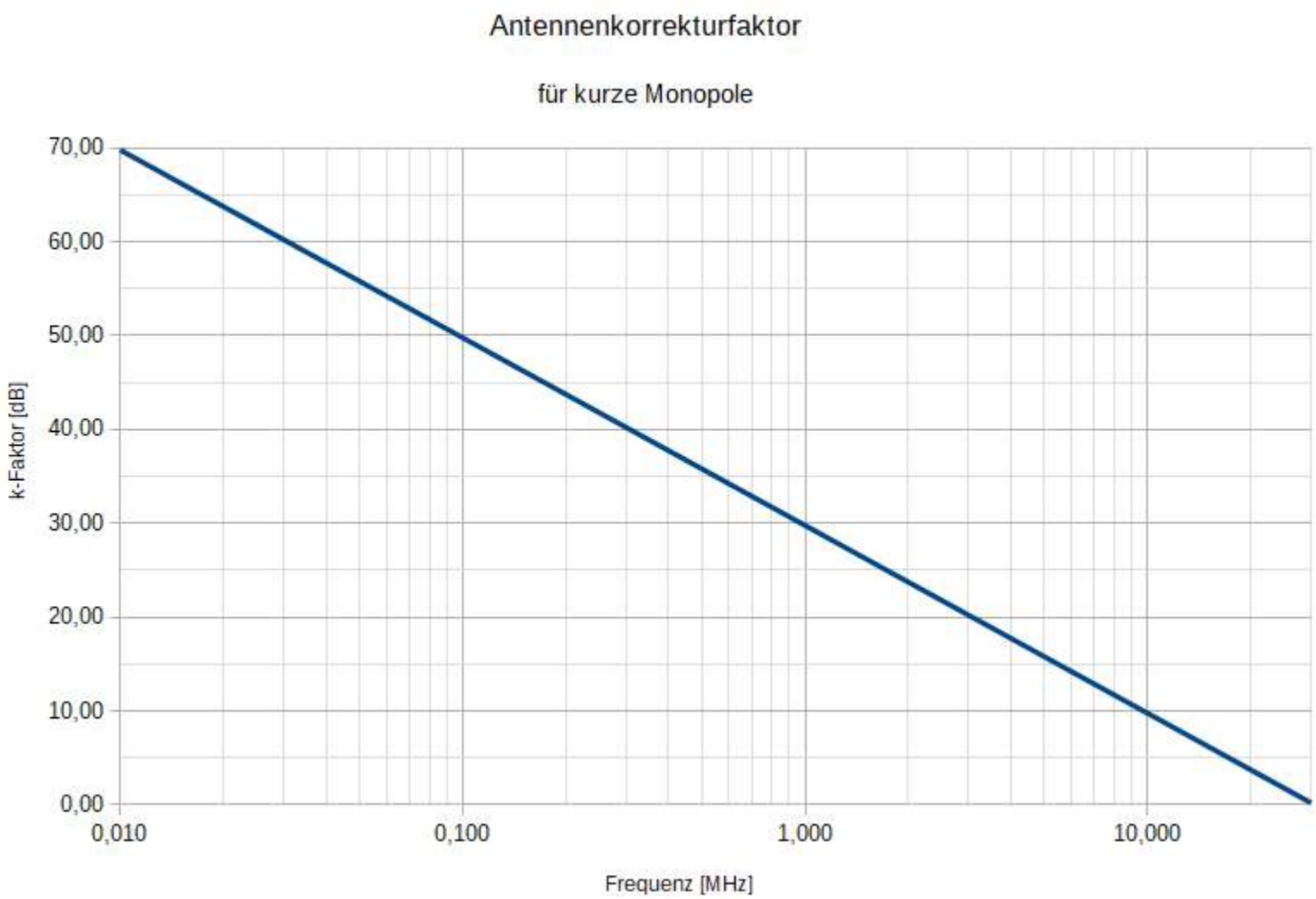
Berechnung der Korrektur (vereinfacht)

$$korr = 20 * \log \left(\frac{30{,}8}{f} \right)$$

Es sind: korr = Korrekturwert in dB, f = Frequenz in MHz

Dieser Korrekturwert in dB ist zum gemessenen Pegelwert an der aktiven Antenne (in dBm oder dBµV) zu addieren. So erhält man den Pegelwert, wie er an einer kurzen, verlustfrei angepassten Monopol-antenne auf idealem Boden herrschen würde!

Korrektur graphisch



Berechnung des Rauschmaßes nach ITU

Formel zur Berechnung des ITU-Rauschmaßes

$$F = P_n - 10 * \log(B_{bin}) + K_{RMS} + K_{Ant} + 20 * \log\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{480 * \pi^2}{50 * \lambda^2}}}\right) - (-174)$$

F	=	Rauschmaß in dB
P_n	=	Rauschflor in Spektrumanzeige des RX in dBm
B_{bin}	=	Bin-Bandbreite in Hz, Filtertype (wie Hanning usw...)
K_{RMS}	=	Rauschkorrektur RX in dB (Bewertung von Rauschen imRX, RMS? Peak?)
K_{ANT}	=	K-Faktor Antenne in dB
π	=	3.14159265…
λ	=	Wellenlänge in m

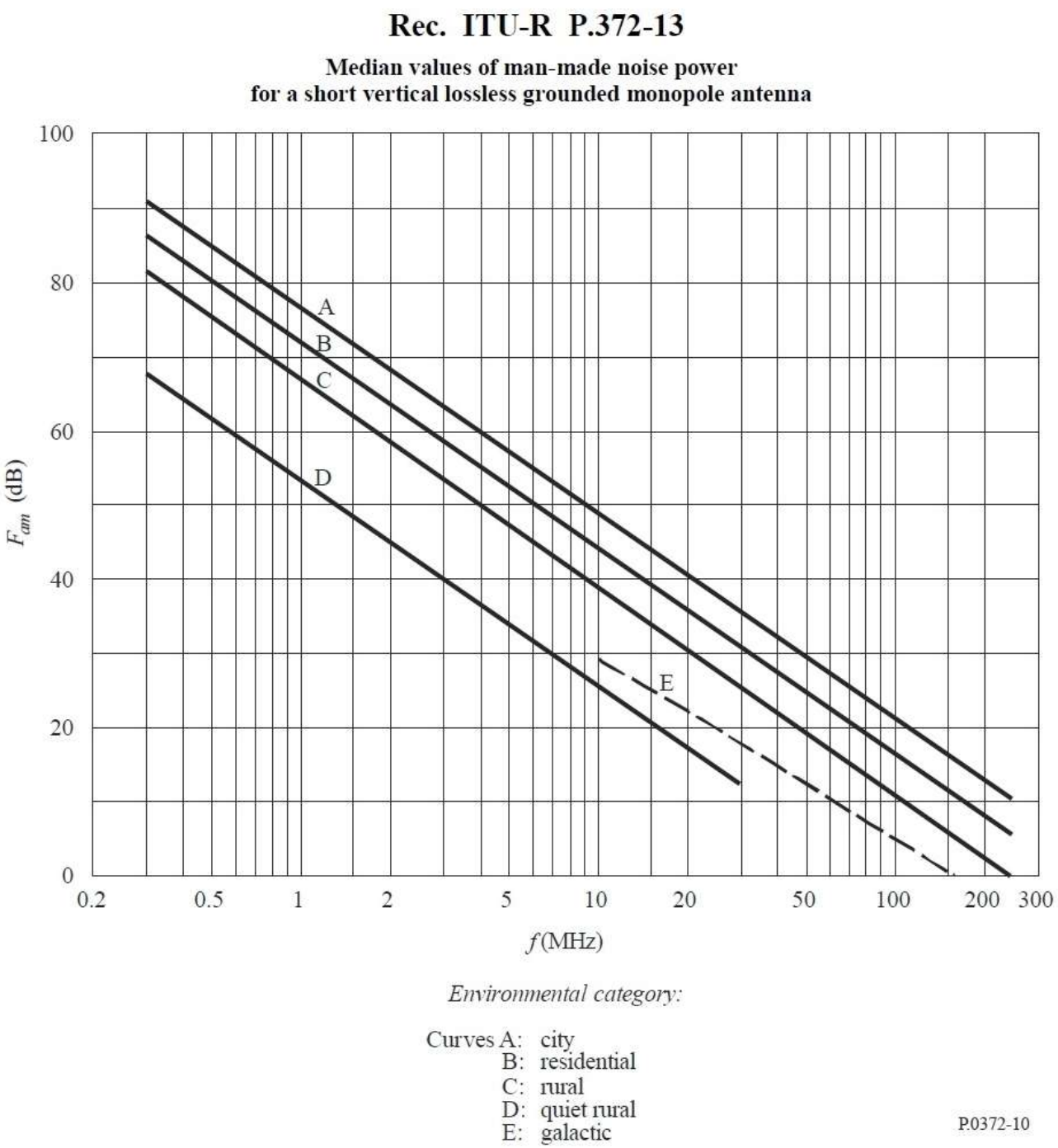
ITU-Rauschen, Formel vereinfacht

$$F = P_n - 10 * \log(B_{bin}) + K_{RMS} + K_{Ant} + 20 * \log\left(\frac{30{,}8}{f}\right) + 174$$

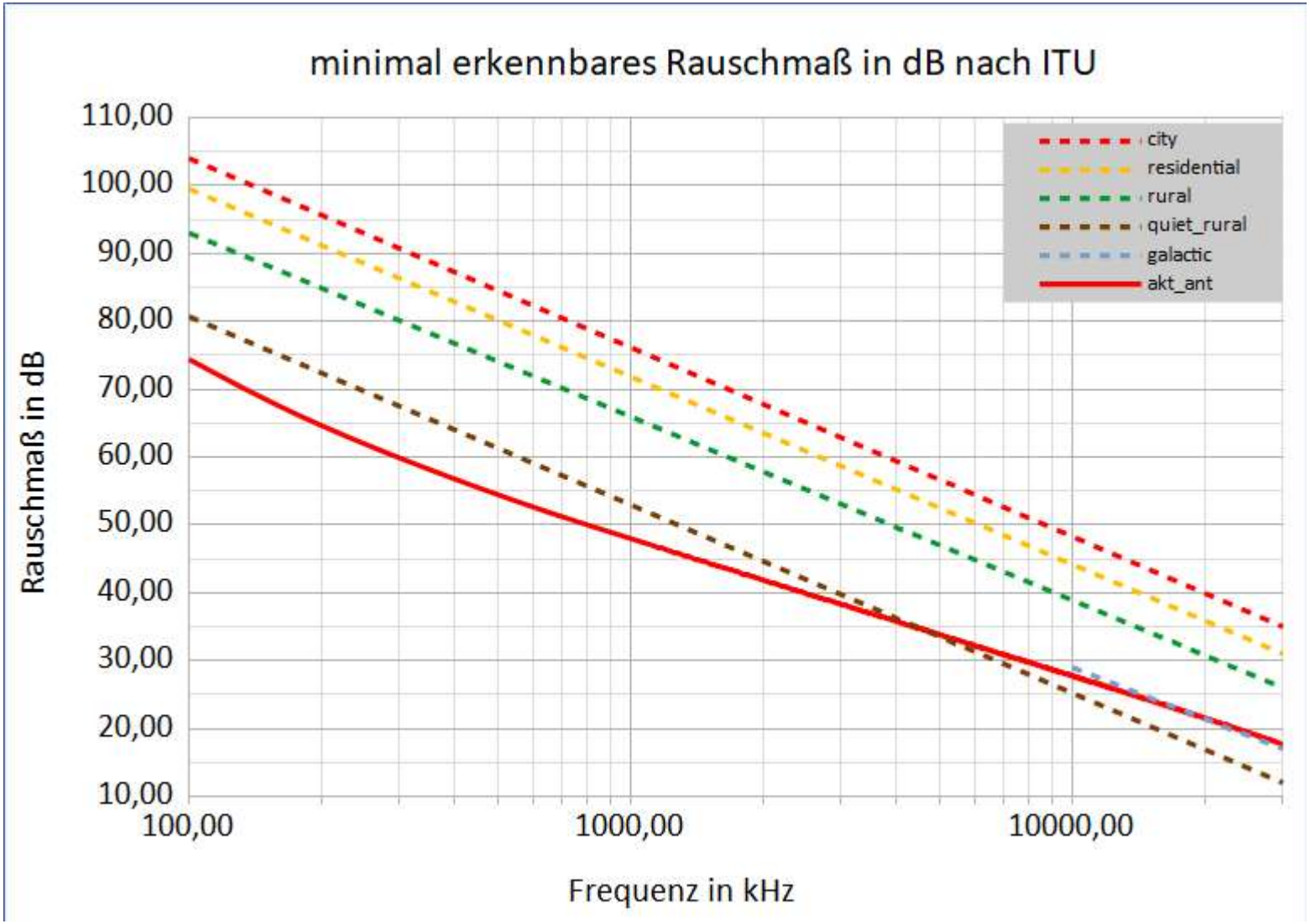
F	=	Rauschmaß des Außenrauschens in dB
P_n	=	Rauschflor in Spektrumanzeige des RX in dBm
B_{bin}	=	Bin-Bandbreite in Hz
K_{RMS}	=	Rauschkorrektur RX in dB (Bewertung von Rauschen, RMS? Peak?)
K_{Ant}	=	K-Faktor Antenne in dB
f	=	Frequenz in MHz

ITU-Kurven

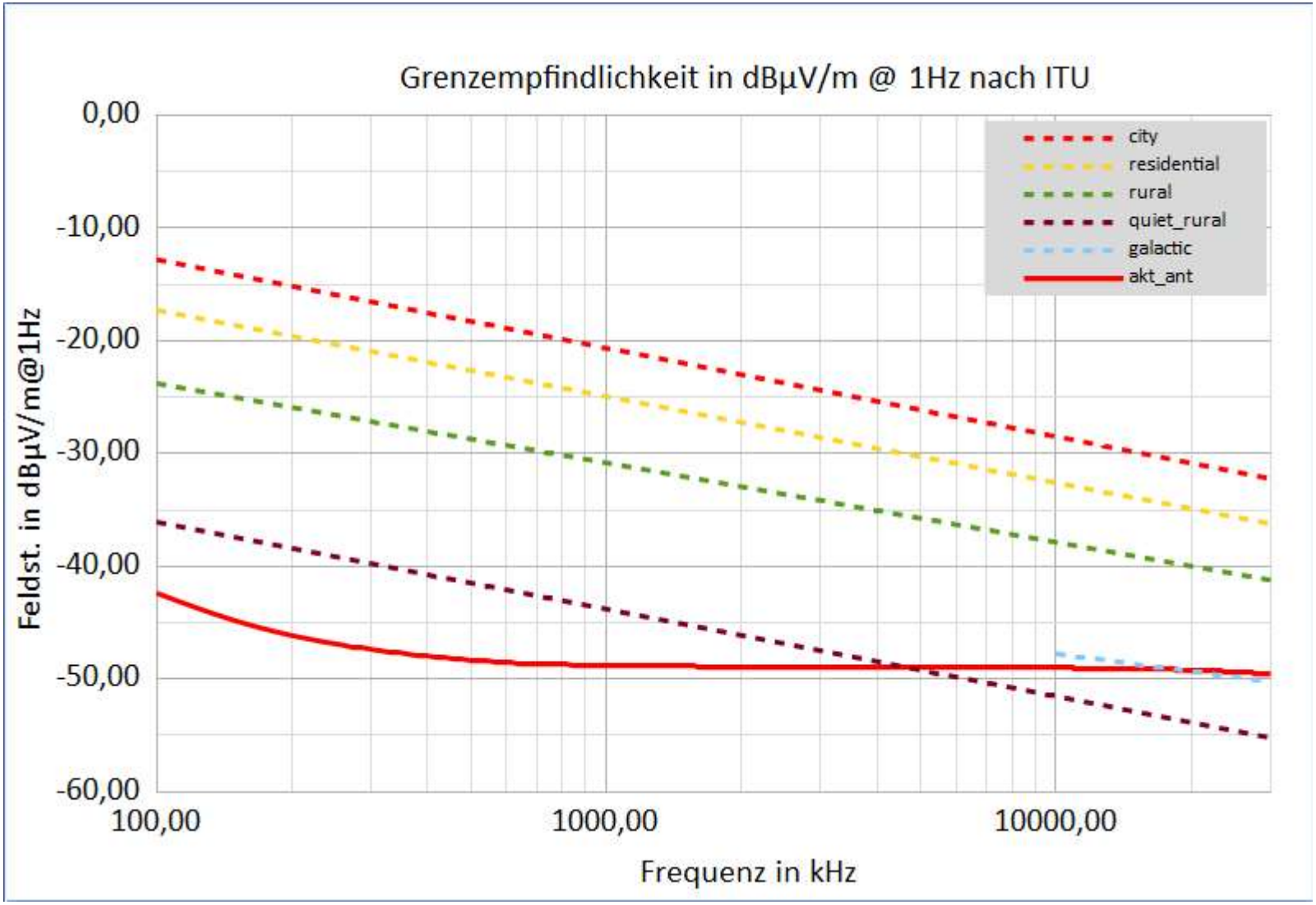
ITU-Kurven für „man-made noise“ basierend auf einem kurzen verlustfrei angepassten Vertikalstrahler auf idealem Erdnetz



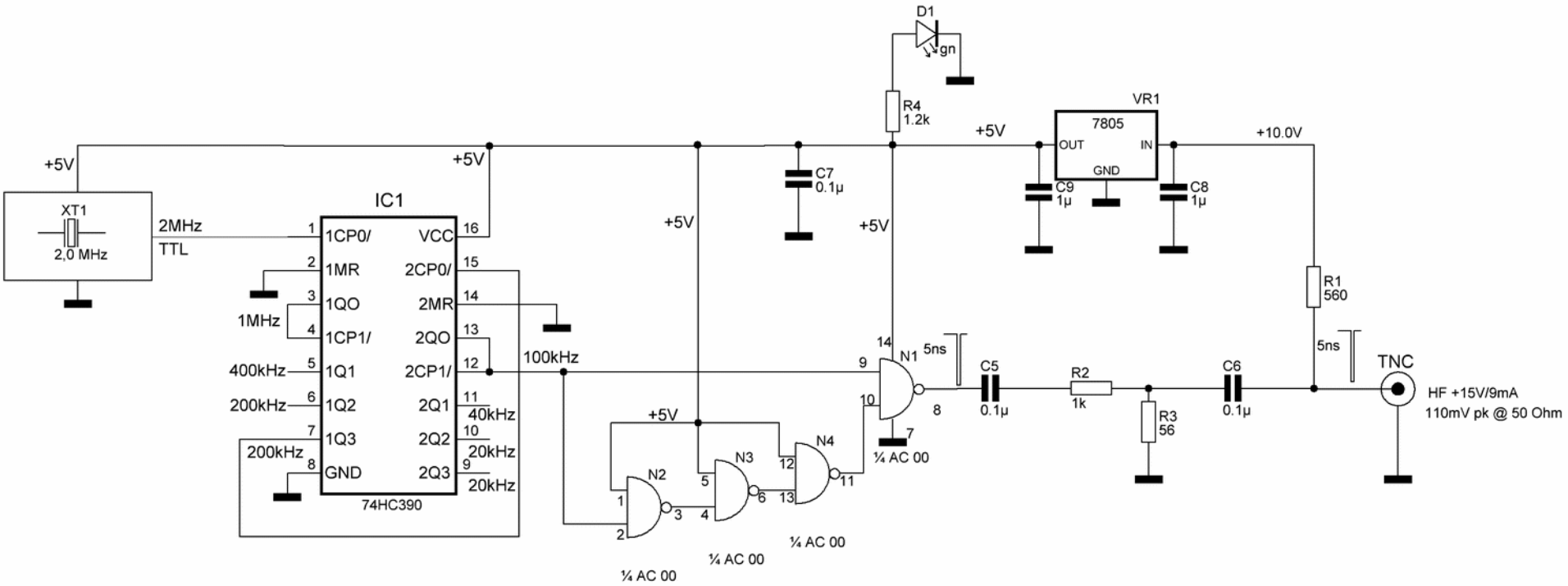
ITU-Kurven, min. Rauschmaß der Antenne



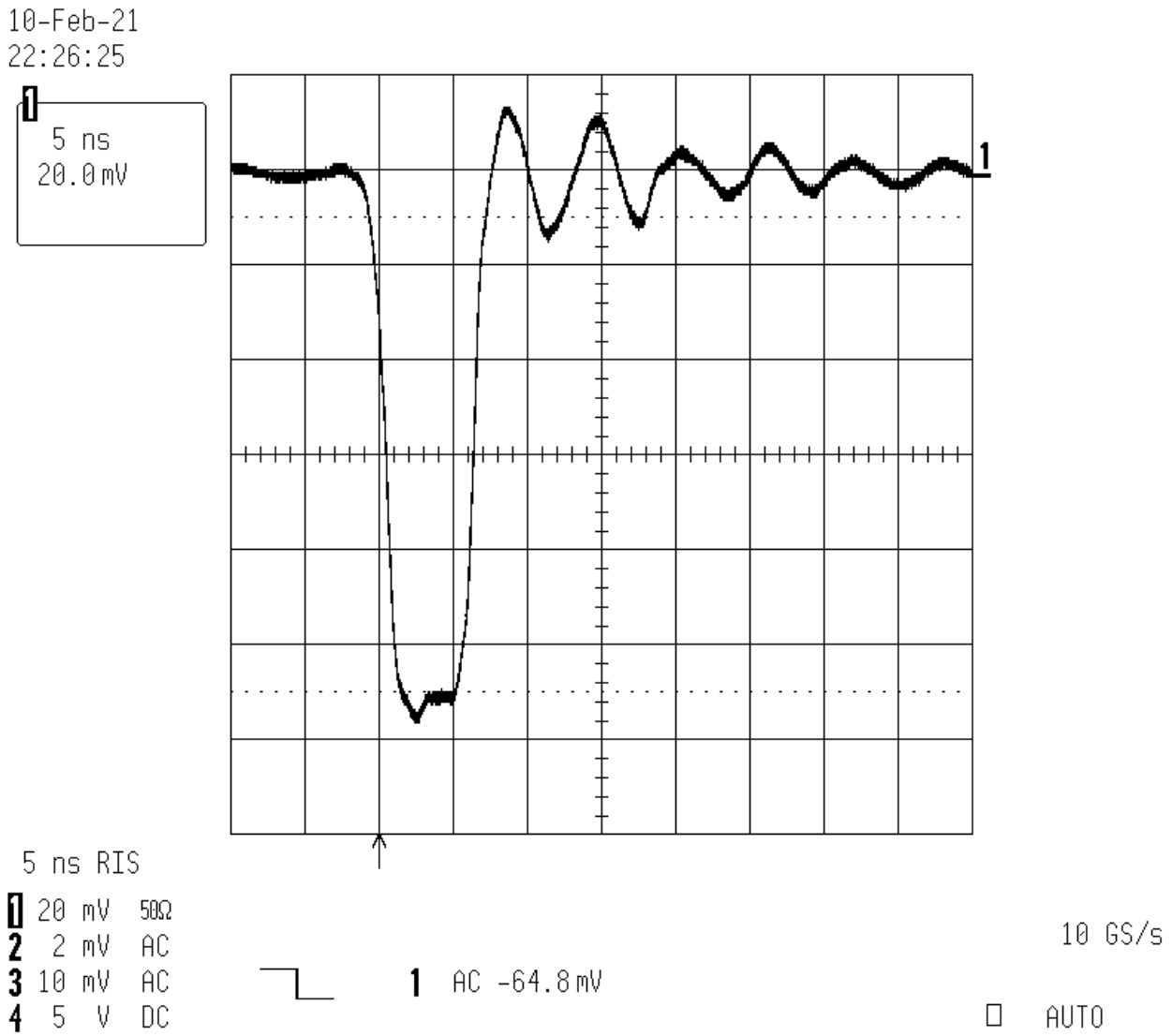
ITU-Kurven, Grenzempfindlichkeit der Antenne



Kalibrieren des Systems

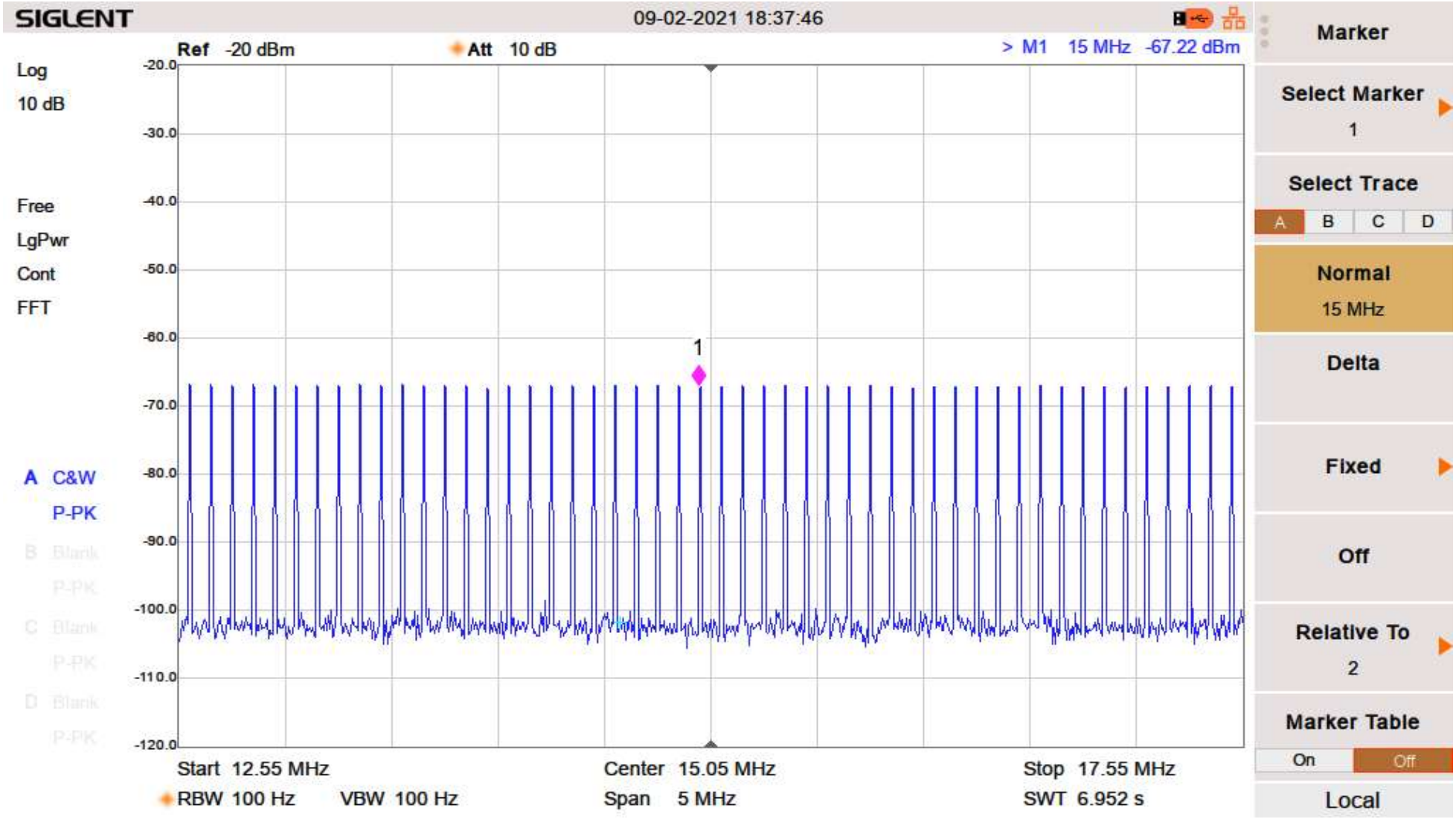


Kalibrieren des Systems



erzeugter Nadelpuls

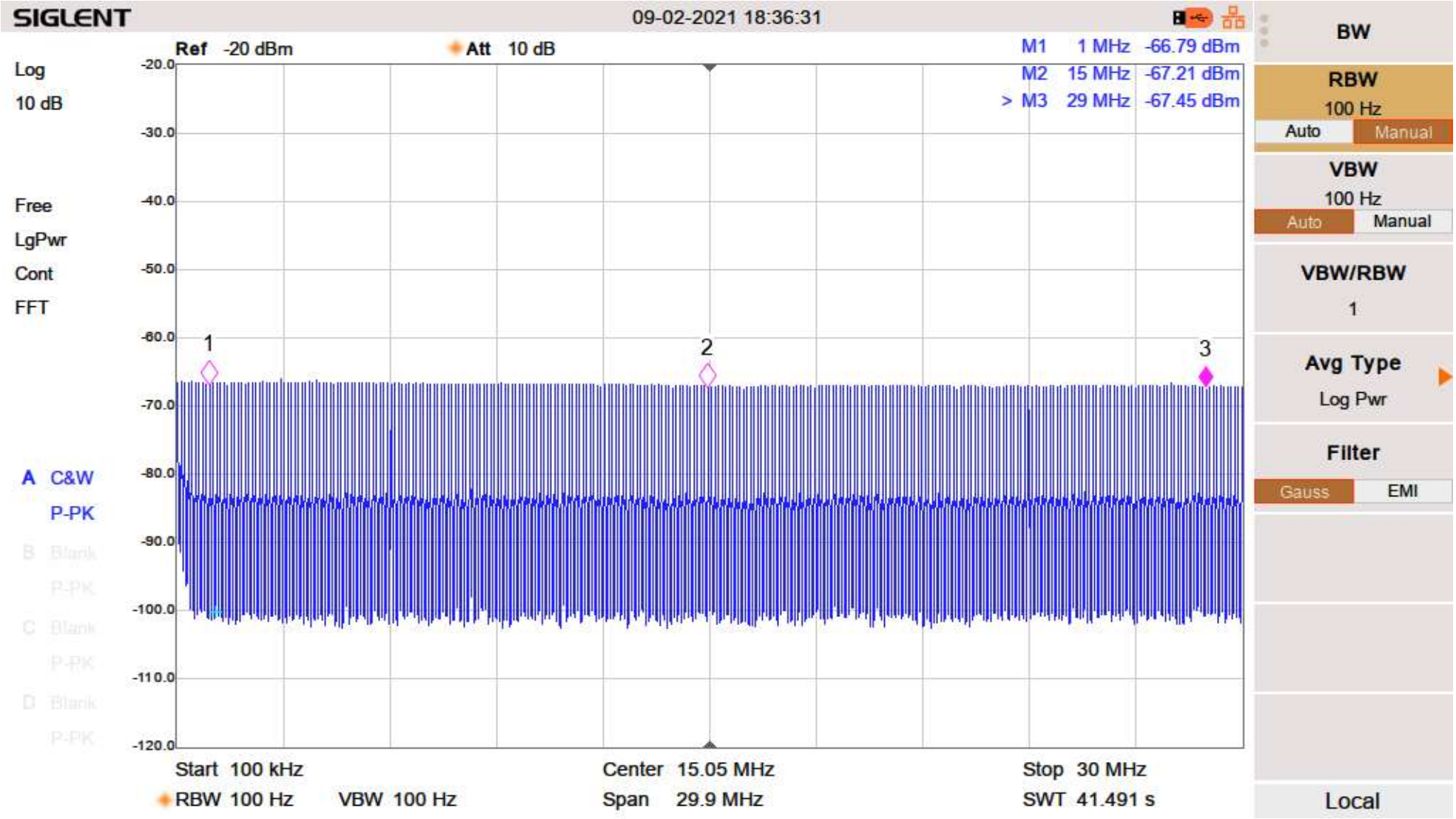
Kalibrieren des Systems



erzeugtes Nadelpulsspektrum

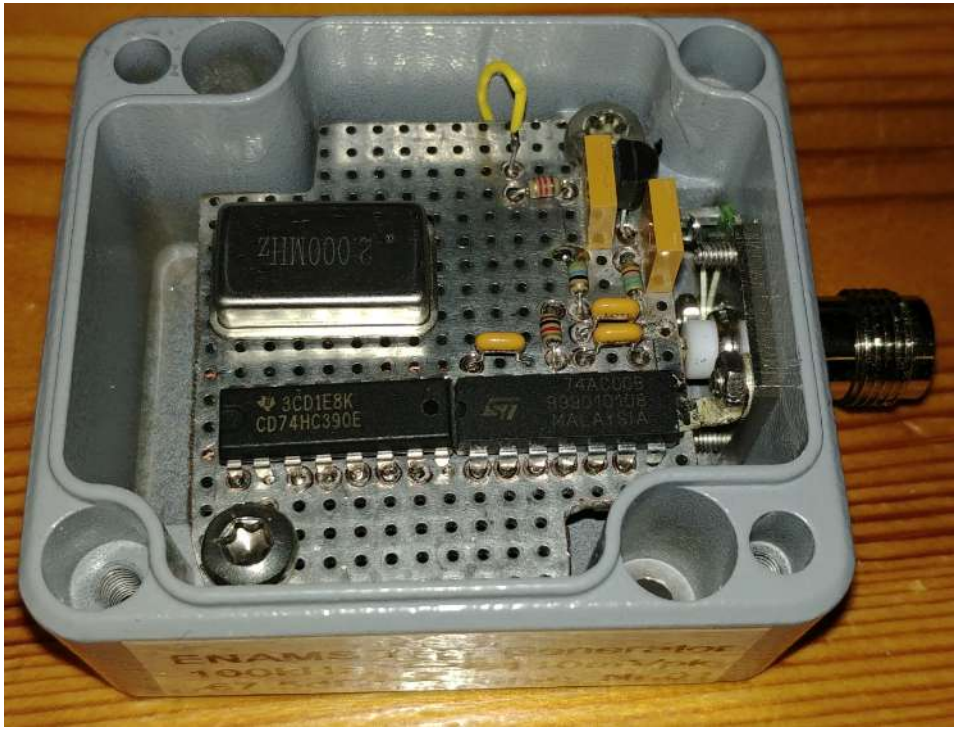
DL2NI

Kalibrieren des Systems



erzeugtes Nadelpulsspektrum

Kalibrieren des Systems



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Noch Fragen?

Dann noch einen schönen Tag...