

Reichweitenverbesserung durch Vorverstärker



Whitepaper 902931



90293100T87Z000K000

V1.00/DE/00698811

1	Grundlagen: Rauschen, Empfindlichkeit und Reichweite	5
1.1	Die Reichweite einer Funkstrecke	5
1.2	Zusatzrauschen, Rauschmaß und Empfindlichkeit eines Funkempfängers	6
2	Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker	9
2.1	Spezifikationen des Empfängers und der empfohlenen Zusatzbaugruppen.	9
2.2	Antenne - Kabel - Empfänger	12
2.3	Antenne - Kabel - Vorverstärker - Empfänger.	13
2.4	Antenne - Vorverstärker - Kabel - Empfänger.	14
2.5	Antenne - Vorverstärker - Bias Tee - Kabel - Bias Tee - Empfänger.	15
2.6	Antenne - Splitter/Combiner - Kabel - Vorverstärker - Empfänger	16
3	Zusammenfassung und Bezug zur Praxis	17

Inhalt

1 Grundlagen: Rauschen, Empfindlichkeit und Reichweite

1.1 Die Reichweite einer Funkstrecke

Die Reichweite einer Funkstrecke wird durch die abgestrahlte Sendeleistung, die Empfängerempfindlichkeit sowie durch die Beschaffenheit des Mediums zwischen Sender und Empfänger bestimmt. Gleichung (1) liefert die Streckendämpfung SD zwischen der Sende- und der Empfangsantenne in dB:

$$SD(d) = 20 \cdot \lg \frac{4\pi \cdot 1 \text{ m}}{\lambda} + 10 \cdot n \cdot \lg \frac{d}{1 \text{ m}} \quad (1)$$

Darin sind λ die Wellenlänge, d der Abstand zwischen Sende- und Empfangsantenne sowie n der sogenannte Verlustexponent.

Im freien unverbauten Raum, das heißt, wenn Sende- und Empfangsantenne in großem Abstand zur Erde aufgebaut sind und sich zwischen ihnen keine Hindernisse befinden, ist der Verlustexponent $n = 2$.

Abb. 1-1 zeigt die Streckendämpfung im freien Raum als Funktion des Abstands d für drei häufig verwendete lizenzfreie Frequenzbänder.

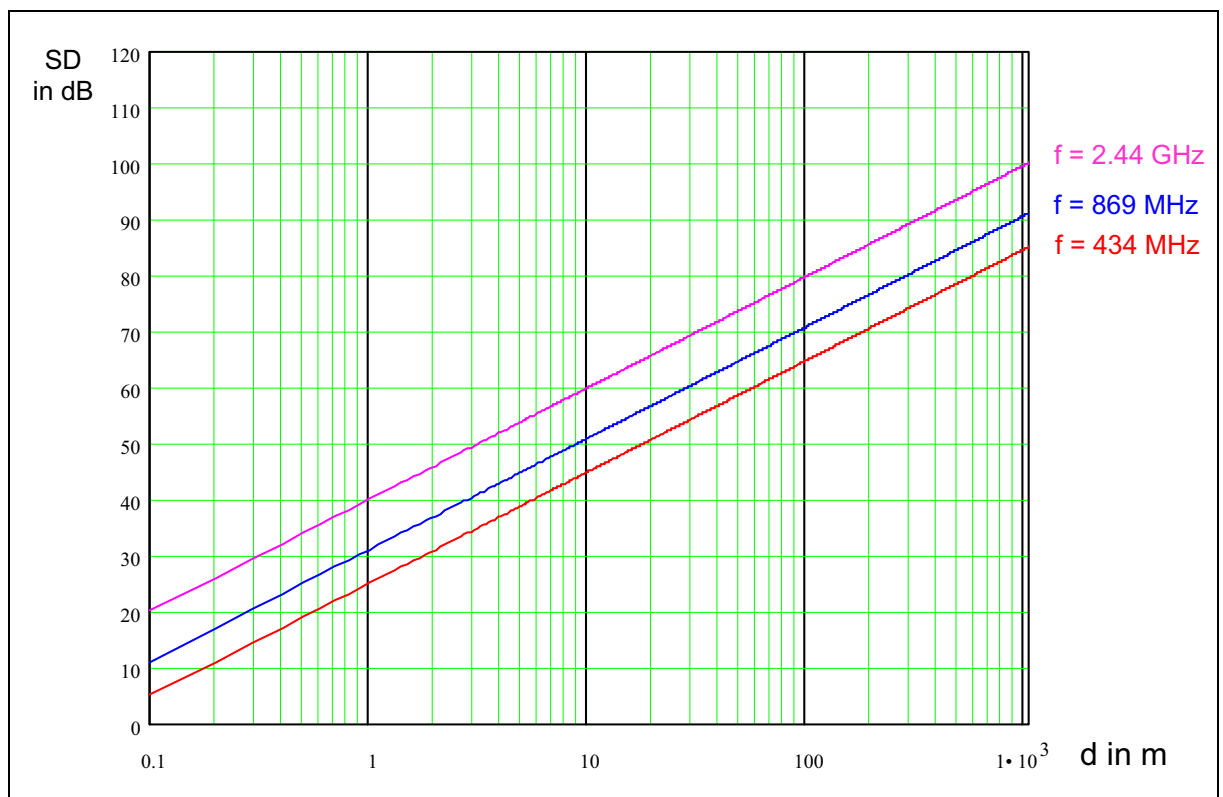


Abb. 1-1 Streckendämpfung im freien Raum ($n = 2$)

Abb. 1-1 kann als erster Anhaltspunkt für die zu erwartende Reichweite einer Funkstrecke verwendet werden. Es ist zu erkennen, dass im freien Raum eine Verdoppelung der Entfernung zu einer um 6 dB höheren Streckendämpfung führt. Umgekehrt ergibt eine um 6 dB höhere Sendeleistung die doppelte Reichweite.

In der Praxis ist der Fall, dass der Verlustexponent $n = 2$ ist, allerdings selten gegeben. Innerhalb von Gebäuden kann n Werte zwischen 3 und 4 annehmen. Bei Verdoppelung der Entfernung steigt die Streckendämpfung dann auf Werte zwischen 9 und 12 dB. Oft wird daher die Faustformel verwendet, dass eine um 10 dB höhere Sendeleistung (oder um 10 dB bessere Empfindlichkeit) zu einer Verdoppelung der Reichweite führt.

1 Grundlagen: Rauschen, Empfindlichkeit und Reichweite

Sind die Sendeleistung, die Antennengewinne und die Beschaffenheit der Übertragungsstrecke gegeben, besteht die einzige Möglichkeit, die Reichweite zu vergrößern, darin, die Empfängerempfindlichkeit zu verbessern. Welche Einflussgrößen die Empfindlichkeit eines Empfängers bestimmen, soll daher im nächsten Abschnitt untersucht werden.

1.2 Zusatzrauschen, Rauschmaß und Empfindlichkeit eines Funkempfängers

Im hier betrachteten Frequenzbereich setzt das thermische Rauschen der Empfindlichkeit von Funkempfängern eine theoretische Grenze. Das thermische Rauschen resultiert aus der brownischen Bewegung der Ladungsträger, die bei Temperaturen oberhalb des absoluten Nullpunkts zu einer Rauschspannung an den Anschlüssen eines jeden Widerstands führt. Die spektrale Leistungsdichte des thermischen Rauschens beträgt bei Raumtemperatur -174 dBm/Hz .

Das thermische Rauschen kann als weißes Rauschen mit konstanter spektraler Leistungsdichte betrachtet werden. Die Rauschleistung ist also gleich der Rauschleistungsdichte, multipliziert mit der Bandbreite. Daher können Funkempfänger für kleine Datenraten empfindlicher sein als solche für die schnelle Übertragung von Daten.

Jede (selbst eine ideal rauschfreie) Baugruppe hat einen Eingangsrauschpegel, der bei Raumtemperatur nicht unter der thermischen Rauschleistung von -174 dBm in 1 Hz Bandbreite liegen kann. Das thermische Rauschen ist mit einer Leistungsdichte von -174 dBm/Hz an jeder Stelle einer Schaltung oder eines Systems präsent.

Leider fügt jeder in der realen Welt existierende Verstärker dem unvermeidlichen thermischen Rauschen noch ein Zusatzrauschen hinzu. Dieses Zusatzrauschen ist die Folge zum Beispiel von Oberflächeneffekten, Verunreinigungen, Kontakteffekten. Abb. 1-2 zeigt den Effekt des Zusatzrauschens auf das Signal-Rausch-Verhältnis eines Verstärkers.

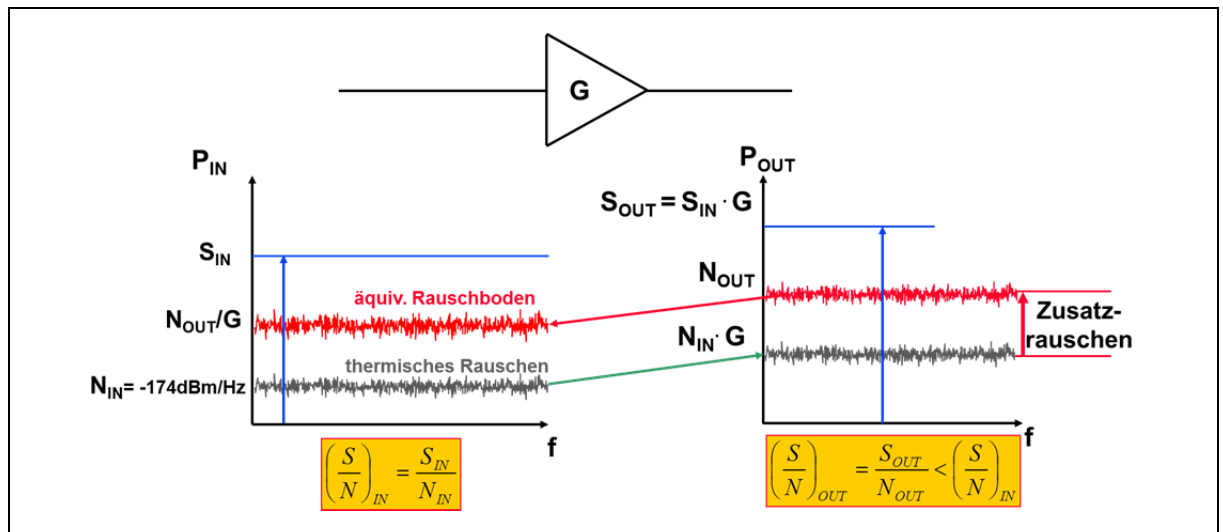


Abb. 1-2 Verschlechterung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch das Zusatzrauschen

Das Signal-Rausch-Verhältnis am Ausgang einer Baugruppe ist infolge des Zusatzrauschens immer schlechter als an deren Eingang. Diese Verschlechterung wird durch die Rauschzahl quantitativ beschrieben:

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{IN}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{OUT}} \quad (2)$$

1 Grundlagen: Rauschen, Empfindlichkeit und Reichweite

Im logarithmischen Maßstab wird gern das Rauschmaß NF verwendet:

$$NF = 10 \cdot \lg F \quad (3)$$

Das Rauschmaß beschreibt das durch die Baugruppe erzeugte Eigenrauschen und ist gleichbedeutend mit der Verschlechterung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch die Baugruppe unter der Bedingung, dass am Eingang der Baugruppe nur thermisches Rauschen betrachtet werden muss. Das Signal-Rausch-Verhältnis am Ausgang einer Baugruppe kann niemals größer sein als an deren Eingang, durch das unvermeidliche Zusatzrauschen der Baugruppe ist es immer kleiner als am Eingang.

Alle Rauschquellen eines Empfängers, bezogen auf dessen Eingang, ergeben den äquivalenten Rauschboden. Das Rauschmaß sagt aus, um wieviel dB der äquivalente Rauschboden am Eingang einer Baugruppe höher ist als das thermische Rauschen von -174 dBm/Hz .

Die Empfindlichkeit eines Funkempfängers ist dann gleich der Leistung des äquivalenten Rauschbodens an seinem Eingang plus dem Signal-Rausch-Verhältnis, das zum Beispiel für eine bestimmte Bitfehlerrate erforderlich ist.

Als Beispiel dient die Rauschzahl eines Dämpfungsglieds (Abb. 1-3).

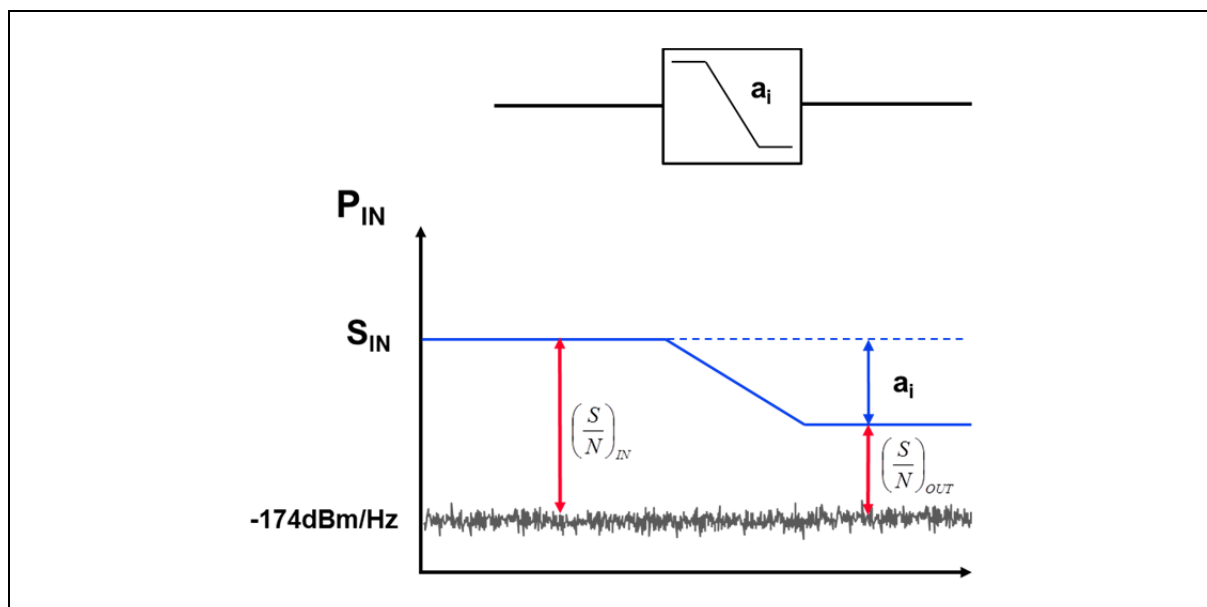
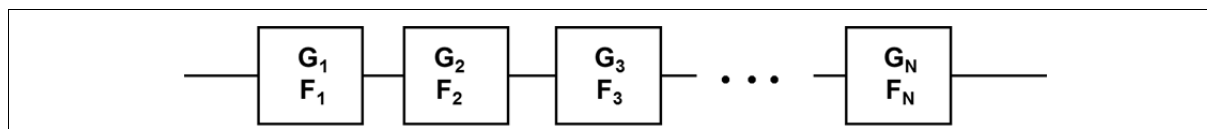


Abb. 1-3 Wirkung eines Dämpfungsglieds: Das Rauschmaß ist gleich der Dämpfung

Am Ausgang des Dämpfungsglieds ist die Signalleistung um den Betrag der Dämpfung a_i kleiner als an dessen Eingang. Die thermische Rauschleistungsdichte ist aber mit -174 dBm/Hz überall im gesamten System gleich groß. Das Signal-Rausch-Verhältnis am Ausgang des Dämpfungsglieds ist daher um den Betrag seiner Dämpfung kleiner als an seinem Eingang. Das Rauschmaß eines Dämpfungsglieds ist somit gleich seiner Dämpfung. Das Signal-Rausch-Verhältnis kann im weiteren Signalverlauf nie wieder größer als $(S/N)_{OUT}$ am Ausgang des Dämpfungsglieds werden. In einer praktischen Anwendung kann das Dämpfungsglied zum Beispiel durch ein Kabel, einen Leistungsteiler oder einen Steckverbinder gebildet werden.

Generell berechnet sich die Rauschzahl einer Kettenschaltung von Baugruppen mit den Rauschzahlen F_i und den Verstärkungen G_i nach der Frijs-Formel (4):



1 Grundlagen: Rauschen, Empfindlichkeit und Reichweite

$$F_{\text{KETTE}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_{N-1}} \quad (4)$$

Erkenntnisse:

- 1) Die Rauschzahl der ersten Baugruppe in einer Kette wird direkt zur Gesamtrauschzahl addiert, die Wirkung des Rauschens der folgenden Stufen wird durch die Verstärkung der vorhergehenden Stufen verringert.
- 2) Die Verbesserung der Empfindlichkeit durch einen Vorverstärker ist nicht etwa gleich seiner Verstärkung, sondern entspricht der Verbesserung der Gesamtrauschzahl nach der Frijs-Formel.

Wichtig ist, dass in Formel (4) lineare Werte, nicht etwa dB-Werte, eingesetzt werden!

Ein Beispiel soll das verdeutlichen:

Die Empfindlichkeit eines Empfängers mit einem Rauschmaß von 6 dB soll durch einen Vorverstärker mit einem Rauschmaß von 1 dB und einer Verstärkung von 15 dB verbessert werden. Wie groß ist die zu erwartende Verbesserung der Empfängerempfindlichkeit in dB?

Lösung:

Zunächst müssen die logarithmischen Werte des Rauschmaßes NF und der Verstärkung in die linearen Werte der Rauschzahl F umgewandelt werden:

$$F_1 = 10^{\frac{NF_1}{10}} = 10^{\frac{1}{10}} = 1,259 \quad (5)$$

$$F_2 = 10^{\frac{NF_2}{10}} = 10^{\frac{6}{10}} = 3,981 \quad (6)$$

$$G_1 = 10^{\frac{15}{10}} = 31,6 \quad (7)$$

Die Frijs-Formel ergibt dann:

$$F_{\text{gesamt}} = 1,259 + \frac{3,981 - 1}{31,6} = 1,353 \quad (8)$$

Das Rauschmaß der Kette ist:

$$NF_{\text{gesamt}} = 10 \cdot \lg 1,353 = 1,31 \text{ dB} \quad (9)$$

Die Empfindlichkeitsverbesserung ist also 6 dB - 1,31 dB = 4,69 dB.

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker

2.1 Spezifikationen des Empfängers und der empfohlenen Zusatzbaugruppen

Die Empfindlichkeit des Empfängers JUMO Wtrans T01.ECI bei einer Datenrate von 100 kBit/s und einem Frequenzhub von ± 50 kHz beträgt typischerweise -95 dBm. Das entspricht etwa einem Rauschmaß von $NF = 13$ dB oder einer linearen Rauschzahl von $F = 20$. Mit Hilfe eines Vorverstärkers kann die Empfindlichkeit bedeutend verbessert werden.

Der JUMO Wtrans T01.ECI wurde für die Verwendung mit der $\lambda/4$ -Antenne (Teile-Nr. 00503151) auf dem Antennenwandhalter (Teile-Nr. 00482648) ausgelegt. Diese Antenne stellt elektrisch eine Monopolantenne mit Massefläche dar und hat einen Gewinn von circa 5 dBi. Wird die Antenne statt auf dem Antennenhalter direkt auf dem Wtrans T01.ECI montiert, ist aufgrund der fehlenden Massefläche mit einer um bis zu 40 % kleineren Reichweite zu rechnen.

Vorverstärker

JUMO empfiehlt zur Verbesserung der Empfindlichkeit und Reichweite den Einsatz des rauscharmen Vorverstärkers **ZX60-0916LN-S+** von Mini-Circuits. Dieser Verstärker hat im 868-MHz-Band folgende typische Kennwerte:

Rauschmaß, typ.:	$NF = 0,6$ dB (entspricht linearer Rauschzahl $F = 1,15$)
Verstärkung, typ.:	$G = 18$ dB (entspricht linearer Leistungsverstärkung von 63)
Betriebsspannung:	$V_{\text{suppl}} = 5,0$ V typ., 5,5 V Grenzwert
Stromaufnahme:	$I_{\text{suppl}} = 40$ mA typ.
Betriebstemperatur:	-40 bis +85 °C



Abb. 2-1 Rauscharmer Vorverstärker ZX60-0916LN-S+ von Mini Circuits

Power Splitter/Combiner

Es gibt Anwendungen, in denen mehrere Antennen an einen Empfänger oder mehrere Empfänger an eine Antenne angeschlossen werden sollen. In diesen Fällen muss sichergestellt werden, dass alle Baugruppen mit der Systemimpedanz von 50Ω abgeschlossen sind. Hierfür empfiehlt JUMO den Power Splitter/Combiner **ZAPD-1-S+** von Mini-Circuits für den Fall, dass zwei Kabel an einen Eingang oder Ausgang angeschlossen werden sollen sowie den **ZB4PD1-930-S+** für den Anschluss von vier Kabeln an einen Ein- oder Ausgang.

Die Power Splitter/Combiner sind, wie der Name schon vermuten lässt, reziproke Bauelemente, das heißt, sie können sowohl zur Verteilung eines Signals auf zwei Eingänge als auch zur Kombination zweier Signale eingesetzt werden.

Der **ZAPD-1-S+** verfügt über ein Summenanschluss S, das sich auf einer Seite des Gehäuses befindet, sowie über zwei zueinander identische Anschlüsse auf der gegenüberliegenden Seite, die mit „1“ und „2“ gekennzeichnet sind.

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker



Abb. 2-2 Anschlüsse des Leistungsteilers ZAPD-1-S+

Wird ein Signal in den Summenanschluss S eingespeist, verteilt sich die Leistung gleichmäßig auf die beiden Anschlüsse 1 und 2, die Einfügedämpfung beträgt im Frequenzbereich um 868 MHz typischerweise 3,35 dB. Die gleiche Einfügedämpfung wird erreicht, wenn ein Signal in Anschluss 1 oder 2 eingespeist und am Summenanschluss abgenommen wird. Ein besonderer Fall tritt auf, wenn an beide Anschlüsse 1 und 2 Signale mit gleicher Amplitude, Frequenz und Phase angeschlossen werden: Die Einfügedämpfung zum Summenanschluss beträgt dann nur noch 0,35 dB.

Die Anschlüsse 1 und 2 sind voneinander entkoppelt: Die Dämpfung zwischen diesen beiden Anschlüssen beträgt mehr als 30 dB.

Alle diese Angaben gelten unter der Voraussetzung, dass alle Anschlüsse des Power Splitter/Combiners mit 50 Ω abgeschlossen sind.

Hier noch einmal die wichtigsten Spezifikationen zusammengefasst:

Einfügedämpfung S \leftrightarrow 1 oder S \leftrightarrow 2:	3,35 dB
Isolation 1 \leftrightarrow 2:	>30 dB
Einfügedämpfung 1+2 \rightarrow S:	0,35 dB bei gleicher Frequenz, Amplitude und Phase

Der **ZB4PD1-930-S+** kommt zum Einsatz, wenn vier Kabel mit einem Ein- oder Ausgang verbunden werden sollen. Die wichtigsten Spezifikationen dieses Power Splitter/Combiners sind:

Einfügedämpfung S \leftrightarrow 1 bis 4:	6,3 dB
Isolation 1 bis 4:	>30 dB
Einfügedämpfung 1+2+3+4 \rightarrow S:	0,3 dB bei gleicher Frequenz, Amplitude und Phase an allen Eingängen

Der zuletzt erwähnte Fall, dass Frequenz, Amplitude und Phase an allen vier Eingängen exakt gleich groß sind, dürfte in der Praxis allerdings kaum vorkommen.

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker

Bias Tee

Die letzte Zusatzbaugruppe, die hier beschrieben werden soll, ist das so genannte Bias Tee. Ein Bias Tee wird verwendet, um Baugruppen über ein Hochfrequenzkabel mit Gleichstrom zu versorgen. Abbildung Abb. 2-3 zeigt die prinzipielle Schaltung:

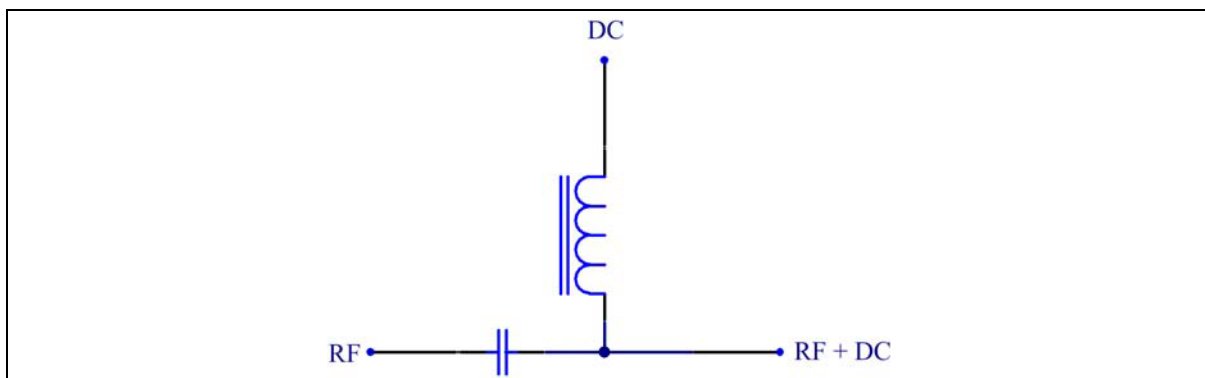


Abb. 2-3 Prinzipschaltbild eines Bias Tees

Bias Tees sind dahingehend optimiert, eine gute Entkopplung zwischen dem Hochfrequenz- und dem Gleichstrompfad über einen weiten Frequenzbereich zu gewährleisten. Ein geeignetes Bias Tee ist der Typ **ZFBT-4R2G-FT+** von Mini-Circuits. Die hier interessantesten Spezifikationen für den Frequenzbereich um 869 MHz sind:

Einfügedämpfung des HF-Pfads:	0,33 dB typ.
Isolation zwischen Gleichstrom- und HF-Pfad:	40 dB typ.
maximal zulässige HF-Leistung:	+30 dBm
maximal zulässige Gleichspannung:	30 V
maximal zulässiger Gleichstrom:	500 mA

Für den Anschluss abgesetzter Antennen bietet JUMO das Koaxialkabel RG174 in Längen von 3 m, 5 m und 10 m an. Dieses Kabel ist für Umgebungstemperaturen von bis zu 85 °C spezifiziert. Für höhere Temperaturen von bis zu 125 °C ist das Koaxialkabel RG316 in 10-m-Länge verfügbar. Die Dämpfung dieser Kabel beträgt etwa 0,95 dB/m für das RG174 und 0,9 dB/m für das RG 316, überschlägig wird von einer Kabeldämpfung von 1 dB/m ausgegangen.

Im Folgenden werden einige Kombinationen des Empfängers JUMO Wtrans T01.ECI mit den hier beschriebenen Zusatzbaugruppen untersucht.

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker

2.2 Antenne - Kabel - Empfänger

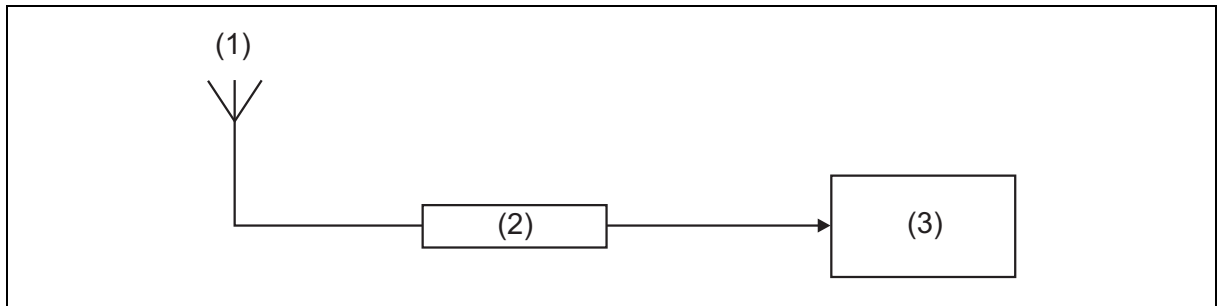


Abb. 2-4 Antenne – Kabel – Empfänger

- (1) Antenne
- (2) Kabel
- (3) Empfänger

Das erste Element im Signalverlauf ist hier ein Dämpfungsglied, die Dämpfung des Kabels wird direkt zur Rauschzahl und damit auch zur Empfindlichkeit addiert. Ein 10 m langes Kabel verschlechtert also zum Beispiel die Empfindlichkeit von -95 dBm auf -85 dBm.

Folgende Tabelle enthält die Gesamtrauschzahl und die Empfängerempfindlichkeit für die drei durch JUMO angebotenen Kabellängen sowie für Kabellängen von 20 m und 30 m.

Kabellänge	NF _{ges}	Empfängerempfindlichkeit
3 m	16 db	-95 dBm - 13 db + 16 dB = -92 dBm
5 m	18 db	-95 dBm - 13 db + 18 dB = -90 dBm
10 m	23 db	-95 dBm - 13 db + 23 dB = -85 dBm
20 m	33 db	-95 dBm - 13 db + 33 dB = -75 dBm
30 m	43 db	-95 dBm - 13 db + 43 dB = -65 dBm

Tab. 2-1 Empfängerempfindlichkeiten der Anordnung Antenne – Kabel – Empfänger

Es ist zu erkennen, dass sich insbesondere bei großen Kabellängen die Empfindlichkeit drastisch verschlechtert.

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker

2.3 Antenne - Kabel - Vorverstärker - Empfänger

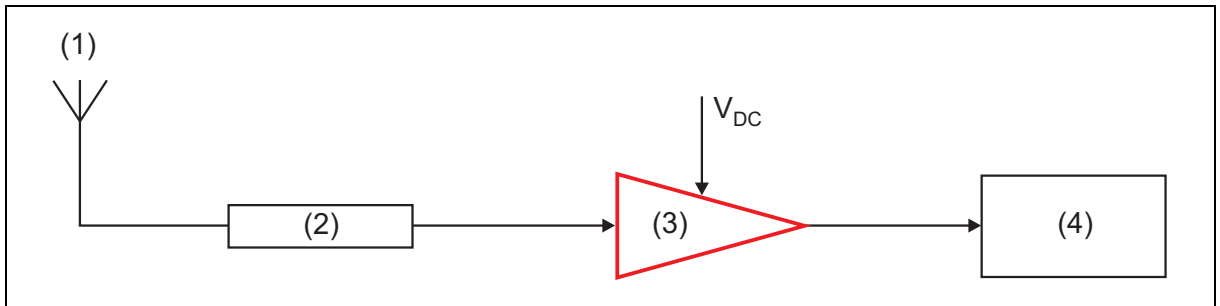


Abb. 2-5 Antenne – Kabel – Vorverstärker – Empfänger

- (1) Antenne
- (2) Kabel
- (3) Vorverstärker ZS60-0916LN-S+
- (4) Empfänger

In dieser Anordnung hilft der Vorverstärker, das Zusatzrauschen des Empfängers zu unterdrücken, die Kabeldämpfung wird jedoch zur Gesamtrauschzahl addiert.

Die Rauschzahl des Empfängers plus Vorverstärker (ohne Kabel) ist nach der Frijs-Formel:

$$F_{RX + VV} = 1,15 + \frac{20 - 1}{63} = 1,45 \quad (10)$$

Dem entspricht das logarithmische Rauschmaß:

$$NF_{RX + VV} = 10 \cdot \lg 1,45 = 1,62 \text{ dB} \quad (11)$$

Dazu wird die Kabeldämpfung in dB addiert. Dies ergibt das Rauschmaß NF_{ges} des Empfängers mit Antennenkabel. Die Empfindlichkeit des Empfängers mit einem ursprünglichen Rauschmaß von 13 dB verbessert sich um $13 \text{ dB} - NF_{ges}$ auf $-95 \text{ dBm} - 13 \text{ dB} + NF_{ges}$.

Für die hier betrachteten Kabellängen bedeutet das:

Kabellänge	NF_{ges}	Empfängerempfindlichkeit
3 m	4,62 dB \approx 4,6 dB	$-95 \text{ dBm} - 13 \text{ dB} + 4,6 \text{ dB} = -103,4 \text{ dBm}$
5 m	6,62 dB \approx 6,6 dB	$-95 \text{ dBm} - 13 \text{ dB} + 6,6 \text{ dB} = -101,4 \text{ dBm}$
10 m	11,62 dB \approx 11,6 dB	$-95 \text{ dBm} - 13 \text{ dB} + 11,6 \text{ dB} = -96,4 \text{ dBm}$
20 m	21,62 dB \approx 21,6 dB	$-95 \text{ dBm} - 13 \text{ dB} + 21,6 \text{ dB} = -86,4 \text{ dBm}$
30 m	31,62 dB \approx 31,6 dB	$-95 \text{ dBm} - 13 \text{ dB} + 31,6 \text{ dB} = -76,4 \text{ dBm}$

Tab. 2-2 Empfängerempfindlichkeiten der Anordnung Antenne – Kabel – Vorverstärker – Empfänger

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker

2.4 Antenne - Vorverstärker - Kabel - Empfänger

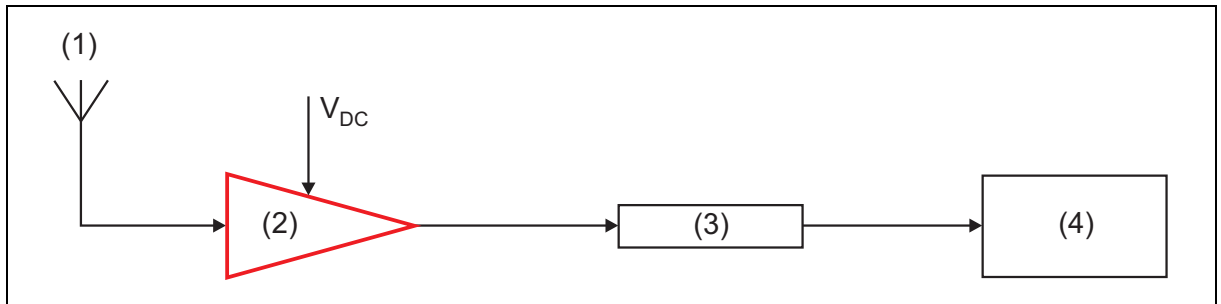


Abb. 2-6 Antenne – Vorverstärker – Kabel – Empfänger

- (1) Antenne
- (2) Vorverstärker ZS60-0916LN-S+
- (3) Kabel
- (4) Empfänger

In den bisher betrachteten Konfigurationen addiert sich die Kabeldämpfung im logarithmischen Maßstab direkt zum Gesamtrauschmaß und damit zur Empfängerempfindlichkeit. Bei längeren Kabeln kann dieser Effekt beträchtlich sein.

Die beste Empfindlichkeit wird erreicht, wenn der Vorverstärker direkt an der Antenne, das heißt vor dem Kabel, angebracht wird. Da die Dämpfungen des Kabels direkt zum Rauschmaß von 13 dB des Wtrans T01.ECI addiert werden kann, bedeutet dies für die Gesamttrauschzahl:

$$F_{\text{ges}} = 1,15 + \frac{10^{\frac{13 + a_{\text{Kabel}}}{10}} - 1}{63} \quad (12)$$

Das ergibt die folgenden Werte der Gesamttrauschzahl und Empfindlichkeit:

Kabellänge	F_{ges}	NF_{ges}	Empfängerempfindlichkeit
3 m	1,77	2,47 dB	-95 dBm - 13 db + 2,5 dB = -105,5 dBm
5 m	2,14	3,30 dB	-95 dBm - 13 db + 3,3 dB = -104,7 dBm
10 m	4,30	6,34 dB	-95 dBm - 13 db + 6,3 dB = -101,7 dBm
20 m	32,8	15,15 dB	-95 dBm - 13 db + 15,2 dB = -92,8 dBm
30 m	317,8	25,02 dB	-95 dBm - 13 db + 25,0 dB = -83,0 dBm

Tab. 2-3 Empfängerempfindlichkeiten der Anordnung Antenne – Vorverstärker – Kabel – Empfänger

Der Vergleich mit Tabelle 2 zeigt, dass diese Konfiguration besonders bei großen Kabellängen eine wesentlich bessere Empfindlichkeit als die Anordnung nach Abb. 2-4 ergibt.

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker

2.5 Antenne - Vorverstärker - Bias Tee - Kabel - Bias Tee - Empfänger

Oftmals ist es erwünscht, dem Vorverstärker die Betriebsspannung gleich über das HF-Kabel zuzuführen. Dafür wird in diesem Fall je ein Bias Tee an jedem Ende des Kabels benötigt:

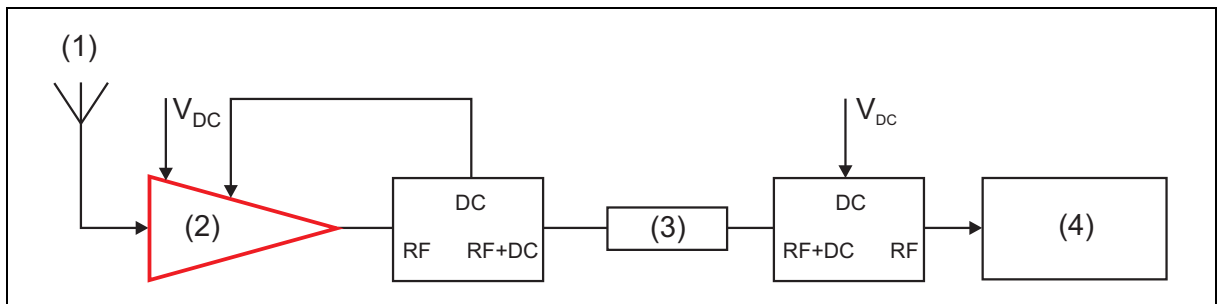


Abb. 2-7 Antenne – Vorverstärker – Kabel – Empfänger, Fernspeisung über Bias Tees

- (1) Antenne
- (2) Vorverstärker ZS60-0916LN-S+
- (3) Kabel
- (4) Empfänger

Für die Berechnung der Empfindlichkeit bedeutet das, dass zur Kabeldämpfung die Einfügedämpfung $2 \times a_{iBT}$ der beiden Bias Tees addiert werden muss. Die Gesamtrauschzahl wird dann:

$$F_{ges} = 1,15 + \frac{10}{63} \frac{13 + a_{Kabel} + 2 \cdot a_{iBT}}{10} - 1 \quad (13)$$

Für die betrachteten Kabellängen ergeben sich die folgenden Werte der Gesamtrauschzahl F_{ges} , des dem entsprechenden Rauschmaßes NF_{ges} und der Empfindlichkeit des gesamten Empfängers:

Kabellänge	F_{ges}	NF_{ges}	Empfängerempfindlichkeit
3 m	1,87	2,72 dB	-95 dBm - 13 db + 2,7 dB = -105,3 dBm
5 m	2,30	3,62 dB	-95 dBm - 13 db + 3,6 dB = -104,4 dBm
10 m	4,82	6,83 dB	-95 dBm - 13 db + 6,8 dB = -101,2 dBm
20 m	38,0	15,80 dB	-95 dBm - 13 db + 15,8 dB = -92,2 dBm
30 m	369,8	25,68 dB	-95 dBm - 13 db + 25,7 dB = -82,3 dBm

Tab. 2-4 Empfängerempfindlichkeiten der Anordnung Antenne – Vorverstärker – Kabel – Empfänger bei Fernspeisung des Vorverstärkers über Bias Tees

Verglichen mit der Konfiguration nach Abb. 2-5 ergibt sich eine nur geringfügige Verschlechterung der Empfindlichkeit.

2 Verbesserung der Empfindlichkeit durch Vorverstärker

2.6 Antenne - Splitter/Combiner - Kabel - Vorverstärker - Empfänger

Splitter/Combiner können eingesetzt werden, um mehrere Antennen an einen gemeinsamen Empfänger anzuschließen. Vom Standpunkt der Empfindlichkeitsberechnung ist die Behandlung recht einfach: Abgesehen vom unwahrscheinlichen Fall, dass an beiden Eingängen des Splitter/Combiners ein Signal, das von einem Sender kommt, mit genau der gleichen Amplitude und Phasenlage anliegt, tritt der Splitter/Combiner mit seiner Einfügedämpfung von 3,35 dB beziehungsweise 6,3 dB in Erscheinung.

Gelangt allerdings das Signal ein- und desselben Senders auf beide Antennen und von da aus auf beide Eingänge des Splitter/Combiners, muss die Phasenbeziehungen zwischen den beiden Signalen berücksichtigt werden: Ist die Phasendifferenz Null oder ein ganzzahliges Vielfaches von 360° , addieren sich beide Signale; es ergibt sich ein um 3 dB höherer Signalpegel. Ist die Phasendifferenz 180° oder ein ungeradzahliges Vielfaches davon, löschen sie sich aus. Daraus ergibt sich eine Richtcharakteristik, die stark von der der einzelnen Antenne abweicht: In einigen Richtungen verbessert sich die Empfindlichkeit geringfügig, in anderen ist überhaupt kein Empfang mehr möglich.

Infolge von Mehrwegeausbreitungen durch Reflexionen an den Wänden, am Boden, an Gebäuden usw., kann die Feldstärke am Empfangsort stark variieren. Eine Verschiebung einer einzelnen Antenne um einige Zentimeter kann zu einer Vergrößerung oder Verkleinerung des empfangenen Signalpegels von bis zu 40 dB führen.

Diesem Effekt, der Fading genannt wird, kann durch die Verwendung mehrerer Antennen, dem so genannten Antenna Diversity, entgegengewirkt werden. Die Grundidee des Antenna Diversity ist, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich alle Antennen in einem Bereich mit sehr geringer Feldstärke befinden, geringer ist als die für nur eine Antenne.

Im Fall der Antenna Diversity dürfen die Signale der einzelnen Antennen aber nicht ohne weiteres addiert werden. Die Folge könnte nämlich sein, dass sich die Signale von zwei Antennen, die beide ein gleich starkes Signal empfangen, infolge einer ungünstigen Phasendifferenz auslöschen. Die Addition von Signalen mehrerer Antennen führt immer zu der oben beschriebenen veränderten Richtcharakteristik.

Soll der Effekt des Fading durch Antenna Diversity verringert werden, ist entweder ein HF-Umschalter erforderlich, der beide Antennen abwechselnd mit dem Empfängereingang verbindet oder jede Antenne muss einen eigenen Empfänger bekommen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der phasenrichtigen Addition der Signale beider Antennen. Der Aufwand hierfür ist aber sehr groß, so dass diese Varianten hier nicht weiter betrachtet werden sollen.

Der Einsatz von zwei oder mehr Antennen in Verbindung mit einem Splitter/Combiner wird daher nur empfohlen, wenn die einzelnen Antennen Signale unterschiedlicher Sensoren empfangen sollen, die sich zum Beispiel in unterschiedlichen Räumen befinden oder aber die Sensoren beweglich sind und die Gefahr besteht, dass sie sich aus dem Empfangsbereich einer Antenne entfernen. In jedem Fall ist der Effekt der veränderten Richtcharakteristik zu berücksichtigen. Die günstigsten Positionen der Antennen müssen durch Versuch ermittelt werden.

3 Zusammenfassung und Bezug zur Praxis

Der JUMO Wtrans Empfänger T01.ECI wurde für die Verwendung mit einer $\lambda/4$ -Antenne auf einem Antennenwandhalter ausgelegt. Diese Kombination stellt elektrisch eine Monopolantenne mit Massefläche dar. Wird die Antenne statt auf dem Antennenhalter direkt auf den Empfänger montiert, ist aufgrund der fehlenden Massefläche mit einer um bis zu 40 % geringeren Reichweite zu rechnen. Die Empfindlichkeit des Empfängers in Kombination mit der Wandhalterung und einem 3-m-Antennenkabel beträgt typischerweise -92 dBm. Damit ist im Freifeld eine Datenübertragung über eine Distanz von ungefähr 300 m möglich.

Bei Verwendung einer Antennenwandhalterung ist darauf zu achten, dass ein möglichst kurzes Antennenkabel verwendet wird. Hier gilt, je länger das Kabel, desto höher die Dämpfung und geringer die Empfindlichkeit und die Reichweite. Die von JUMO verwendeten Antennenkabel haben eine Dämpfung von circa 1 dB/m.

Vorverstärker

Durch den Einsatz eines Vorverstärkers kann die Empfindlichkeit des Empfängers erhöht werden. Wird die Entfernung im freien Raum verdoppelt, so erhöht sich die Dämpfung um circa 6 dB. Umgekehrt ergibt eine um 6 dB höhere Sendeleistung näherungsweise die doppelte Reichweite. Da eine Datenübertragung üblicherweise nicht im freien Raum, sondern zum Beispiel innerhalb eines Gebäudes stattfindet, wird in der Praxis oft die Faustformel verwendet, dass eine um 10 dB höhere Sendeleistung (oder um 10 dB bessere Empfindlichkeit) zu einer Verdopplung der Reichweite führt.

Kabel- länge [m]	Empfängerempfindlichkeit [dBm]		
	Kombination A Antenne – Kabel – Empfänger (Abb. 2-4)	Kombination B Antenne – Kabel – Vorverstärker – Empfänger (Abb. 2-5)	Kombination C Antenne – Vorverstärker – Kabel – Empfänger (Abb. 2-6)
3	-92	-103,4	-105,5
5	-90	-101,4	-104,7
10	-85	-96,4	-101,7
20	-75	-84,4	-92,8
30	-65	-76,4	-83,0

Tab. 3-1 Empfängerempfindlichkeit in Abhängigkeit von Kabellängen und Hardwareaufbau des Empfängers

Beispiel:

- 1) Bei Verwendung einer 3-m-Antennenleitung kann die Empfindlichkeit durch den Einsatz eines Vorverstärkers (Kombination A auf B) von -92 dBm auf 103,4 dBm erhöht werden. Innerhalb eines Gebäudes würde sich dadurch die Reichweite laut Faustformel mehr als verdoppeln.
- 2) Wird bei Kombination A die Kabellänge von 3 m auf 30 m geändert und ein Vorverstärker angeschlossen (Kombination B), verringert sich die Empfindlichkeit aufgrund der deutlich größeren Kabeldämpfung von -92 dBm auf -83 dBm. In der Praxis würde man mit diesem Aufbau nur noch die halbe Reichweite erzielen.

Das zweite Beispiel zeigt den großen Einfluss der Kabellänge. Trotz des Einsatzes eines Vorverstärkers kann die Dämpfung des um 27 m längeren Kabels nicht kompensiert werden und die Reichweite verringert sich.

Bias Tee

Befindet sich der Vorverstärker an der Antenne, kann die Spannungsversorgung für den Vorverstärker mit Hilfe von zwei Bias Tee über das Antennenkabel realisiert werden. Die Empfindlichkeit verschlechtert sich durch das Bias Tee nur geringfügig.

3 Zusammenfassung und Bezug zur Praxis

Power Splitter/Combiner

Ein Power Splitter/Combiner kann eingesetzt werden, um mehrere Antennen an einen gemeinsamen Empfänger anzuschließen oder mehrere Empfänger an nur eine Antenne. Beim Einsatz eines Power Splitter/Combiner teilt sich die Leistung auf die Anzahl der Anschlüsse auf. Die Einfügedämpfung beträgt 3,35 dB (zwei Anschlüsse) oder 6,3 dB (vier Anschlüsse).

Beim Einsatz von zwei Antennen am Antenneneingang des Empfängers besteht die Gefahr, dass sich das empfangene Signal eines Senders durch die zwei Antennen so überlagert, dass es ausgelöscht wird. Somit wird der Einsatz mit zwei Antennen nur empfohlen, wenn die einzelnen Antennen so positioniert sind, dass diese Signale unterschiedlicher Sensoren empfangen (zum Beispiel befinden sich Sensoren/Antennen in unterschiedlichen Räumen). Die richtige Positionierung der Antennen muss durch Versuche ermittelt werden.

Untersuchte Geräte

Vorverstärker:	ZX60-0916LN-S+
Bias Tee:	ZFBT-4R2G-FT+
Power Splitter/Combiner:	ZAPD1-S+ und ZB4PD1-930-S+



JUMO GmbH & Co. KG

Moritz-Juchheim-Straße 1
36039 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-722/724
Telefax: +49 661 6003-601/688
E-Mail: mail@jumo.net
Internet: www.jumo.net

Lieferadresse:
Mackenrodtstraße 14
36039 Fulda, Germany

Postadresse:
36035 Fulda, Germany

Technischer Support Deutschland:

Telefon: +49 661 6003-9135
Telefax: +49 661 6003-881899
E-Mail: service@jumo.net

JUMO Mess- und Regelgeräte GmbH

Pfarrgasse 48
1230 Wien, Austria

Telefon: +43 1 610610
Telefax: +43 1 6106140
E-Mail: info.at@jumo.net
Internet: www.jumo.at

Technischer Support Österreich:

Telefon: +43 1 610610
Telefax: +43 1 6106140
E-Mail: info.at@jumo.net

JUMO Mess- und Regeltechnik AG

Laubisrütistrasse 70
8712 Stäfa, Switzerland

Telefon: +41 44 928 24 44
Telefax: +41 44 928 24 48
E-Mail: info@jumo.ch
Internet: www.jumo.ch

Technischer Support Schweiz:

Telefon: +41 44 928 24 44
Telefax: +41 44 928 24 48
E-Mail: info@jumo.ch

