



WISSEN / FUNKTECHNIK / PRAXIS

ANTENNEN HANDBUCH

Verstehen · Auswählen · Planen · Messen · Betreiben



FACHHANDBUCH · AUSGABE 1.0

Verifizierte Grundlagen | keine pauschalen Reichweitenversprechen

OKTOBER 2026

meshcore-hessen.de

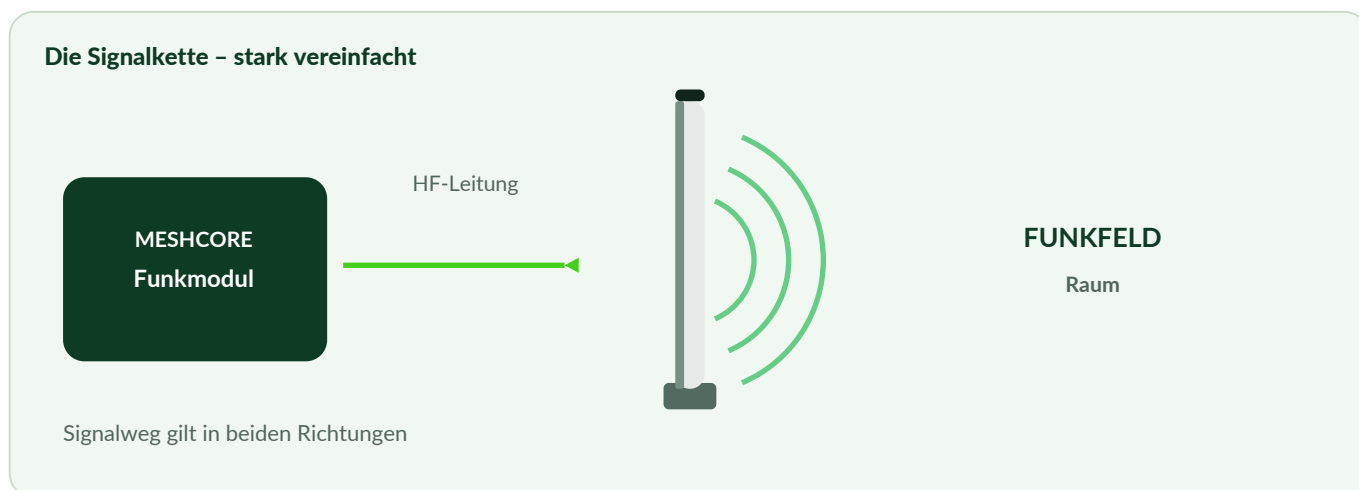
01 / EINSTIEG

Wofür ist die Antenne zuständig?

Von der geschriebenen Nachricht bis zur elektromagnetischen Welle: Die Antenne bildet den Übergang zwischen Funkgerät und Umgebung.

Senden und Empfangen – derselbe Antennenweg

MeshCore überträgt kurze Nachrichten mithilfe von LoRa-Funkhardware. Der Repeater verarbeitet geeignete Funkpakete und leitet sie entsprechend den MeshCore-Regeln weiter. Beim **Senden** gelangt hochfrequente elektrische Energie vom Funkmodul zur Antenne; beim **Empfangen** entsteht an der Antenne aus eintreffenden Funkwellen ein elektrisches Empfangssignal. [Q1, Q2]



Was eine Antenne nicht leistet

Eine Antenne erzeugt keine zusätzliche Energie. Antennengewinn bedeutet vor allem, dass die elektromagnetische Energie **richtungsabhängig** verteilt wird. Die Empfangswirkung ist ebenfalls richtungsabhängig; die Antenne allein kann Berge, Gebäude, Störungen oder ungünstige Funkkonfigurationen nicht aufheben. [Q3, Q4]

MESHCORE IST KEIN LORAWAN

Die in diesem Handbuch herangezogenen LoRaWAN-Fachquellen erläutern gemeinsame Funk- und Antennenphysik. MeshCore besitzt ein eigenes Kommunikations- und Weiterleitungssystem; LoRaWAN-Gateway-Funktionen werden nicht als MeshCore-Funktionen ausgegeben.

Wodurch ändert sich die Reichweite?

- Funkpfad, Gelände, Gebäude, Vegetation und Montagehöhe.
- Abstrahldiagramm, Polarisierung, Funkfrequenz und Antennenzustand.
- Kabeldämpfung, Anpassung, Störungen sowie tatsächliche Geräteparameter.

02 / RAUM UND RICHTUNG

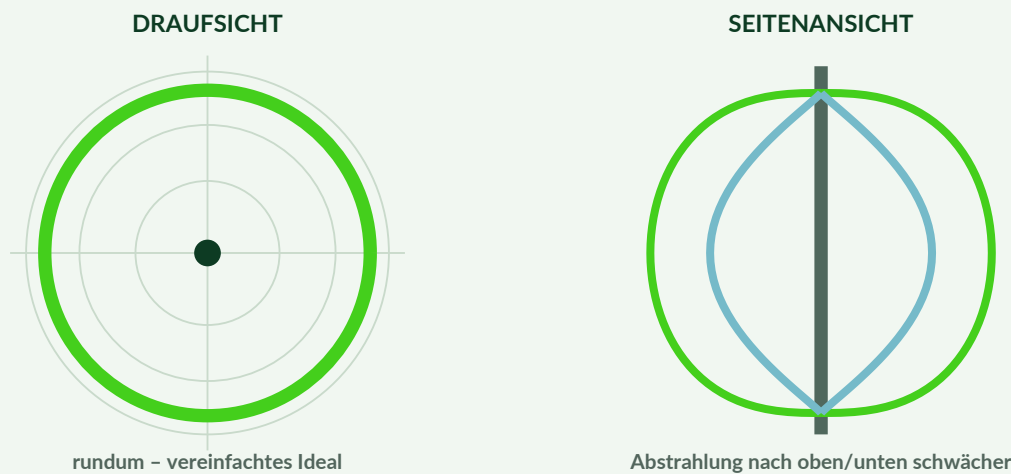
Strahlungsdiagramme verstehen

„Rundum“ bedeutet bei einer echten Antenne nicht „gleich gut in jede Richtung“. Zwei Blickrichtungen helfen, die Abstrahlung richtig zu lesen.

Horizontaler und vertikaler Schnitt

Eine senkrechte Dipol- oder Rundstrahlantenne kann in der **Draufsicht** weitgehend rundum abstrahlen. Im **Seitenschnitt** ist die Abstrahlung dagegen nicht gleichmäßig: Bei einer idealisierten Dipolcharakteristik liegt das Maximum quer zur Antennenachse, während oben und unten schwächere Richtungen liegen. Die LoRa Alliance belegt diesen Unterschied ausdrücklich für LoRa-Rundstrahler. [Q3, Q4]

Zwei Ansichten derselben senkrechten Antenne



Mehr Gewinn – häufig schmalere vertikale Bündelung

Bei vielen kollinearen Rundstrahlern führt höherer Maximalgewinn zu stärkerer Konzentration in einem engeren vertikalen Winkelbereich. Ein Repeater auf einem Höhenzug kann deshalb mit einer stark gebündelten Antenne bestimmte Stationen begünstigen und andere in steilen Höhenwinkeln benachteiligen. **Die tatsächliche Form ist dem Strahlungsdiagramm des konkreten Modells zu entnehmen**; die Grafiken oben sind keine Hersteller-Messkurven. [Q3, Q5]

WICHTIG BEIM DATENBLATT

Draufsicht = Azimut/Horizontalebene. Seitenansicht = Elevation/Vertikalebene. Antennengewinn und Halbwertsbreite beziehen sich auf die jeweils spezifizierten Messbedingungen; „360°“ in der Horizontalebene beweist noch keine breite Abstrahlung nach unten.

03 / KENNZAHLEN

dB, dBi, dBd und dBm

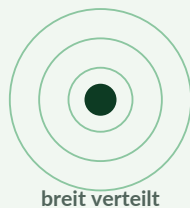
Vier ähnlich klingende Angaben beschreiben unterschiedliche Sachverhalte. Die Unterscheidung ist für den Antennenvergleich und das Funkrecht entscheidend.

Begriff	Bedeutung	Bei Antennen wichtig
dB	Logarithmisches Verhältnis	Gewinn oder Verlust im Vergleich
dBm	Absolute Leistung bezogen auf 1 mW	Ausgangsleistung des Senders
dBi	Gewinn zum idealen isotropen Strahler	Typischer Antennen-Datenblattwert
dBd	Gewinn zum Halbwellendipol	Relevant bei ERP-Angaben

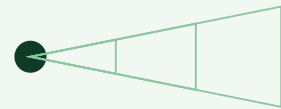
Rechenregeln ohne „Wundergewinn“

Bei Leistungsverhältnissen entsprechen ungefähr **+3 dB einer Verdopplung** und **-3 dB einer Halbierung**. Die Größe **dBi** gibt keinen Verstärker an, sondern eine Richtwirkung. Ein idealer Halbwellendipol besitzt etwa 2,15 dBi Gewinn, weshalb gilt: **dBi = dBd + 2,15 dB**. [Q6]

Gleicher Sender, andere Verteilung



breit verteilt



stärker gerichtet

Eine Antenne kann nicht „5 dBi Leistung senden“

Eine Angabe wie **5,8 dBi** beschreibt den nominellen Antennengewinn; die Sendeleistung des Funkgeräts steht beispielsweise in **dBm**. Erst zusammen mit Leitungsverlusten ergibt sich die abgestrahlte Vergleichsleistung **EIRP** beziehungsweise **ERP**. Diese Größen werden auf Seite 11 rechnerisch voneinander abgegrenzt. [Q6, Q7]

VERGLEICH NUR BEI GLEICHER BEZUGSGRÖSSE

Antennenangaben von 5 dBi und 5 dBd sind nicht identisch: 5 dBd entsprechen rund 7,15 dBi. Keine dBi-Werte mit mW oder dBm verwechseln.

Stabantenne und Rundstrahler

Für die flächige Versorgung in mehrere Himmelsrichtungen werden vor allem rundum ausgerichtete Antennen betrachtet.

Die kompakte Stabantenne

Stab- oder „Gummiantennen“ enthalten ein Antennenelement unter einer Schutzummantelung. Sie sind auf vielen LoRa-Geräten direkt am Funkanschluss montiert und benötigen dann kein langes Koaxialkabel. Je nach Aufbau können sie Viertelwellen- oder Halbwellenausführungen sein; Frequenzbereich, elektrische Konstruktion und Montageumgebung sind deshalb ausdrücklich zu prüfen. [Q8]

Glasfaser-Rundstrahler für Außenstandorte

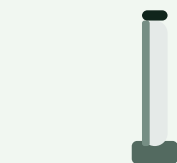
Längere Rundstrahlantennen besitzen häufig mehrere übereinander angeordnete Strahlerelemente, beispielsweise in kollinearer Anordnung. Sie sind für fest montierte Antennenanlagen interessant, wenn mehrere Himmelsrichtungen abgedeckt werden sollen. Das Schutzrohr aus Glasfaser ist nur ein Teil der Außenbeständigkeit: Anschlusskabel, Stecker, Halter und Dichtungen müssen ebenfalls zum Montageort passen. [Q5, Q8]

Belegte Herstellerbeispiele: RAKwireless-Glasfaserantennen

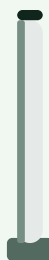
3 dBi

5,8 dBi

8 dBi



360 ± 10 mm



800 ± 10 mm



1.300 ± 25 mm

Die RAKwireless-Produktseite dokumentiert diese drei nominellen Gewinnklassen mit **50 Ω**, vertikaler Polarisation, N-Steckanschluss und unterschiedlichen Abmessungen. Sie dokumentiert für alle drei auch „360°“ in der Horizontalebene, aber kein einheitliches vertikales Strahlungsdiagramm. Die zugehörige Datenseite bzw. das Datenblatt des exakten Modells ist entscheidend. [Q5]

KEINE PAUSCHALE RANGLISTE

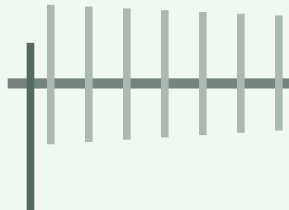
Eine höhere dBi-Angabe ist kein Beweis für bessere Versorgung eines Dorfes im Tal. Entscheidungskriterium ist die Verteilung der Zielstationen nach Himmelsrichtung und Höhenwinkel.

Yagi, Panel und integrierte Antennen

Gerichtete Antennen begünstigen bestimmte Richtungen. Kompakte interne Antennen sparen dagegen vor allem Platz.

Drei Bauformen – maßstabsfreie Illustrationen

Yagi



gerichtete Ausführung

Panel / Patch



flächige Bauform

PCB / Feder



platzsparend

Richtantennen

Eine **Yagi** besteht aus mehreren auf einem Träger angeordneten Elementen und erzeugt eine bevorzugte Strahlungsrichtung. **Panel- und Patchantennen** sind flächige Konstruktionen, deren Strahlungscharakteristik typischerweise ebenfalls gerichtet ist. Sie kommen in Betracht, wenn ein bestimmter Funkkorridor oder Sektor erreicht werden soll. Dafür ist die Versorgung hinter und seitlich der Antenne nicht mit einer Rundstrahlantenne gleichzusetzen. [Q4, Q8]

Leiterplatten- und Federantennen

Bei **PCB-Antennen** bildet eine Leiterbahn einen Teil des Antennensystems; bei **Federantennen** verkürzt eine gewickelte Bauform die mechanische Länge. Die Eigenschaften hängen stark von der Konstruktion und Einbauumgebung ab. Solche Bauformen gehören nicht automatisch in dieselbe Leistungsklasse wie eine außen montierte, abgestimmte Antenne. [Q8]

EIN REPEATER MIT NUR EINEM HF-ANSCHLUSS

Der Anschluss mehrerer unterschiedlicher Antennen über beliebige T-Stücke ist keine normale Lösung. Signalverteilung, Impedanz und Anpassung müssen dafür eigens konstruiert und nachgewiesen werden; hier wird keine universelle Verschaltung angegeben.

06 / WINKEL UND POLARISATION

Ausrichten statt nur montieren

Zwei Antennen können die gleiche Frequenz verwenden und trotzdem wegen ihrer Lage deutlich unterschiedliche Empfangspegel liefern.

Polarisation – die Richtung des elektrischen Feldes

Bei einer linear polarisierten Antenne beschreibt die Polarisation die Orientierung des elektrischen Feldes. Das RAKwireless-Datenblatt nennt für seine betrachteten Glasfaserantennen ausdrücklich **vertikale Polarisation**. Sind beide Funkpartner mit passenden vertikal polarisierten Antennen ausgerichtet, vermeiden sie den zusätzlichen Verlust einer bewusst gekreuzten Polarisation. Ein horizontal zur vertikalen Antenne gedrehter linearer Strahler ist im idealisierten Fall stark fehlangepasst hinsichtlich der Polarisation. [Q5, Q9]



Was ist bei der Montage zu kontrollieren?

- Herstellervorgabe zur Einbaulage und vorgesehenen Polarisation.
- Abstände und Montageeinfluss von Mast, Brüstung, Dachkante und Metallteilen.
- Ausrichtung einer Richtantenne sowohl im Azimut als auch im Höhenwinkel.

Die Luftlinie allein bestimmt den Höhenwinkel nicht. Ein hoher Repeater und ein tiefer liegender Empfänger stehen in einer anderen vertikalen Richtung zueinander als zwei Stationen auf vergleichbarer Höhe. Für die Bewertung sind daher der Standort und das **vertikale** Antennendiagramm gemeinsam erforderlich. [Q3, Q4]

NICHT AUS ABBILDUNGEN ABLESEN

Unsere Ausrichtungsbilder sind Lehrgrafiken. Der tatsächliche Gewinn bei einem bestimmten Winkel ist nur mit Hersteller-Messdiagramm oder geeigneter Messung zu bestimmen.

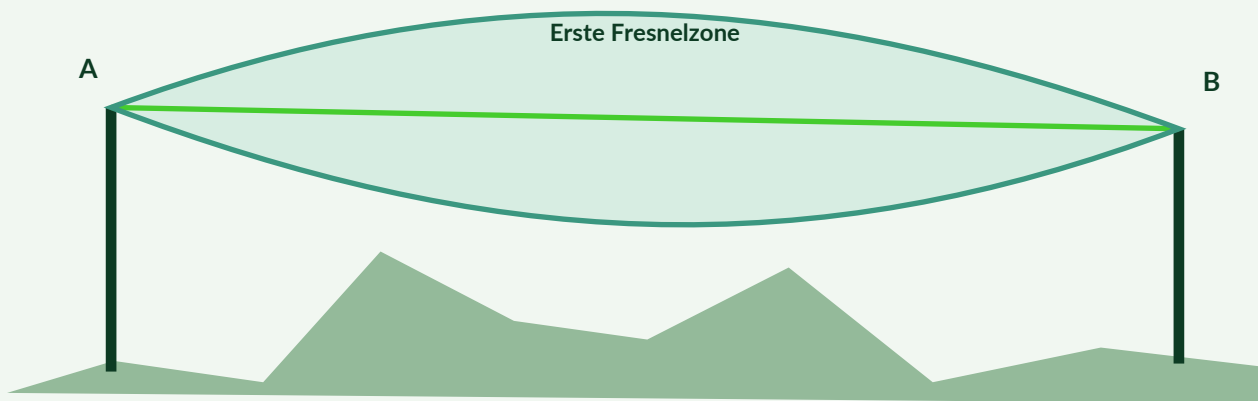
Höhe, Sichtlinie und Fresnelzone

Freie Sicht und ein geeigneter Standort begünstigen die Funkstrecke. Die direkte Sichtlinie allein beschreibt sie jedoch nicht vollständig.

Warum eine Bergkante den Link stören kann

Funkwellen breiten sich räumlich aus. Selbst wenn sich zwei Antennen optisch sehen, können Hindernisse innerhalb der **ersten Fresnelzone** zusätzliche Verluste verursachen. Cisco beschreibt für die Planung von Richtfunkstrecken die Bedeutung einer möglichst freien Fresnelzone; als planerisches Beispiel werden ungefähr 60 % freie erste Fresnelzone genannt. Das ist **keine Reichweitenzusage** und kein standortunabhängiger MeshCore-Grenzwert. [Q10]

Funkkorridor zwischen zwei Standorten – Prinzipskizze



Was sich durch einen höheren Mast ändert

Eine größere Montagehöhe kann Abschattung durch Dächer, Bäume und Geländekanten reduzieren. Sie kann außerdem die Fresnelzonen-Freihaltung verbessern. Ob ein anderer Standort besser ist, hängt von den tatsächlichen Gegenstellen, der Topografie und dem Funkfeld ab. MeshCore selbst empfiehlt erhöhte Repeaterstandorte, garantiert jedoch keine feste Kilometerzahl. [Q1, Q10]

AN EXPONIERTE FUNKSTANDORTEN

Andere Sender auf demselben Mast können den Empfang durch Übersteuerung oder Störungen beeinträchtigen. Die LoRa Alliance beschreibt solche Koexistenzprobleme ausdrücklich. Die Installation an fremden Antennenträgern sowie Blitzschutzarbeiten erfordern fachkundige Freigabe. [Q3, Q11]

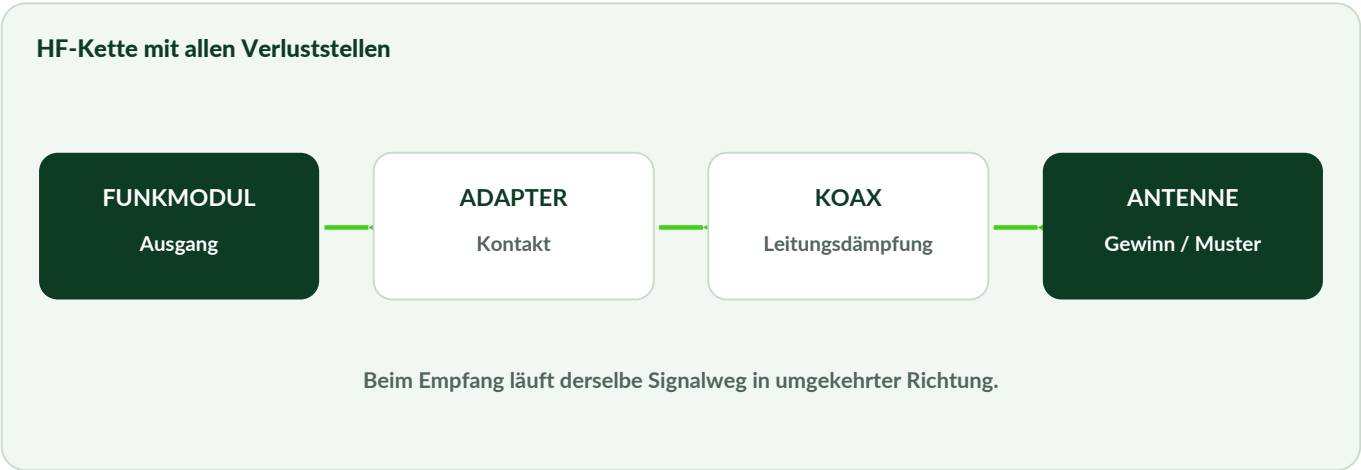
08 / KABEL UND STECKER

Der gesamte HF-Weg zählt

Ein guter Antennenwert allein genügt nicht: Das Kabel und jede Verbindung sind Teil der Funkstrecke.

Senden und Empfangen durch dieselben Verluste

Koaxialkabel dämpfen Hochfrequenzsignale. Beim Senden erreicht deshalb weniger Leistung die Antenne; beim Empfangen gelangt ein schwächeres Signal zum Funkmodul. Entscheidend sind der **konkrete Kabeltyp**, die Länge, die Betriebsfrequenz, die Verbinder und der Montagezustand. Verluste werden in dB beschrieben, nicht pauschal in „Kilometern Reichweite“. [Q7, Q12]



Die gängigen Anschlüsse nicht verwechseln

Anschluss	Wofür er genutzt wird	Worauf achten
U.FL / I-PEX	Miniaturanschluss auf Leiterplatten	Mechanisch empfindlich; passendes Pigtail
SMA / RP-SMA	Kompakte HF-Steckverbinder	Innenkontakt und Geschlecht prüfen
N-Stecker	Häufig bei Außenantennen	Passende, wettergeeignete Gegenstücke

Die Herstellerseite der hier betrachteten RAKwireless-Glasfaserantennen nennt **N-Type male**; der teils mitgelieferte RP-SMA-auf-N-Adapter ist laut Hersteller für **Innenbetrieb** ausgelegt. Aus dem Vorhandensein eines Adapters darf daher keine Outdoor-Freigabe abgeleitet werden. [Q5, Q12]

QUELLEN: Q5 · Q7 · Q12

09 / ANPASSUNG UND MESSUNG

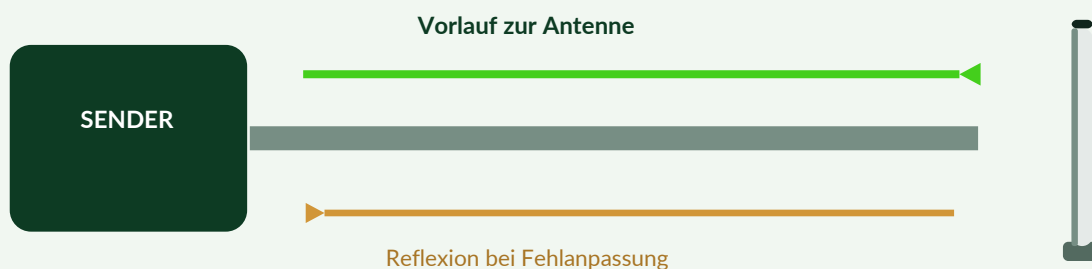
50 Ohm, VSWR und reale Antennenwerte

Eine Antenne muss zum vorgesehenen Frequenzbereich und elektrischen System passen. Das zeigt nicht die bloße Form ihrer Kunststoffhülle.

Warum „50 Ohm“ auf Datenblättern steht

Der Antennenanschluss von LoRa-Geräten und viele zugehörige Koaxialkabel sind für ein **50-Ω-System** ausgelegt. Weicht die tatsächliche komplexe Antennenimpedanz davon ab, wird ein Teil der vorlaufenden Leistung reflektiert. Als Kennwert verwendet man häufig **VSWR** (Stehwellenverhältnis) oder die Rückflussdämpfung. Höheres VSWR bedeutet mehr Reflexion; die Bewertung muss bei der tatsächlich verwendeten Frequenz erfolgen. [Q5, Q13]

Vorlaufende und reflektierte Leistung – schematisch



Was ist ein brauchbarer Messwert?

Rohde & Schwarz dokumentiert: Bei **VSWR 1:1** liegt idealerweise perfekte Anpassung vor. Bei **VSWR 2:1** werden rechnerisch etwa 11 % der ankommenden Leistung reflektiert; die zugehörige Anpassungsverlustgröße beträgt rund 0,5 dB. Ein VSWR unter 2 wird häufig als gute Anpassung angesehen, ist aber kein universeller Freigabewert für jede Antenne oder jedes Gerät. [Q13]

- Nur Messgeräte und Messaufbauten verwenden, die den relevanten Frequenzbereich abdecken.
- Messung am sinnvoll definierten Messpunkt durchführen; Adapter und Kabel berücksichtigen.
- Strahlungsdiagramm und Effizienz folgen nicht allein aus einem guten VSWR.

OHNE PASSENDE ANTENNE NICHT SENDEN

Eine unpassende oder abgezogene HF-Last kann die Hardware gefährden. Antennenanschlüsse deshalb nicht während eines Sendevorgangs lösen; Herstellerangaben beachten.

10 / RECHNEN

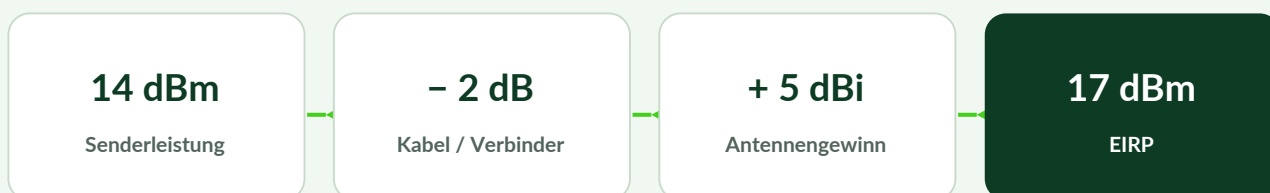
EIRP, ERP und die HF-Bilanz

Mit einer einzigen Bilanz werden Senderleistung, Kabelverlust und Antennengewinn korrekt zusammengeführt.

Ein ausdrücklich fiktives Rechenbeispiel

Die folgende Rechnung erklärt **nur die Methodik** und steht für kein bestimmtes MeshCore-Gerät. Angenommen, am definierten Senderausgang liegen 14 dBm an, die gesamte Zuleitung verliert 2 dB und der dokumentierte Antennengewinn beträgt 5 dBi. Die effektive isotrope Strahlungsleistung errechnet sich dann zu **17 dBm EIRP**. [Q7]

Beispielbilanz – nicht zur Gerätefreigabe verwenden



$$\text{EIRP [dBm]} = P \text{ am Senderausgang [dBm]} - \text{Verluste [dB]} + \text{Gewinn [dBi]}$$

$$\text{ERP [dBm]} = \text{EIRP [dBm]} - 2,15 \text{ dB} = 14,85 \text{ dBm ERP (Beispiel)}$$

Was die Rechnung nicht abdeckt

Ein Zahlenwert aus einer Firmware-Einstellung ist nicht zwingend die am Antennenanschluss abgegebene HF-Leistung. Zusätzliche Endstufen, Filter, Anpassung, Kabel und die Messunsicherheit können die reale Strahlungsleistung verändern. Für eine reale rechtliche Beurteilung müssen die Daten und gegebenenfalls Messungen des **konkreten Gesamtgeräts** herangezogen werden. [Q7, Q14]

Empfang ist eine zweite Bilanz

Auch beim Empfang wirken Antennendiagramm und Zuleitungsverluste. Eine stärkere Richtwirkung kann ein gewünschtes Signal aus einer Richtung begünstigen, während Verluste in langen Kabeln die Signalreserve verringern. Ob daraus eine robustere MeshCore-Verbindung entsteht, muss über reproduzierbare Empfangs- und Rücktests beurteilt werden. [Q3, Q7]

RECHNERISCH RICHTIG IST NICHT AUTOMATISCH RECHTSKONFORM

Das Beispiel nutzt frei gewählte Eingangswerte. Es darf weder als zulässige MeshCore-Sendeleistung noch als Freigabe einer bestimmten Antennenkombination verstanden werden.

11 / RECHT IN DEUTSCHLAND

868/869 MHz: Teilbereiche beachten

Die Bundesnetzagentur unterscheidet verschiedene SRD-Frequenzbereiche. Antennengewinn und tatsächliche Strahlungsleistung gehören zur rechtlichen Prüfung.

Auszüge aus der Allgemeinzuteilung Vfg. 91/2025

Frequenzabschnitt	Max. Leistung	Alternative zum Zugangsverfahren
868,0–868,6 MHz	25 mW ERP	Arbeitszyklus $\leq 1 \%$
868,7–869,2 MHz	25 mW ERP	Arbeitszyklus $\leq 0,1 \%$
869,4–869,65 MHz	500 mW ERP	Arbeitszyklus $\leq 10 \%$

Die Werte stammen aus der **SRD-Tabelle** der Bundesnetzagentur (Vfg. 91/2025, Tabelle 1, Zeilen 48, 50 und 54). Als Alternative zum genannten Arbeitszyklus sind jeweils die Anforderungen an Frequenzzugangs- und Störungsminderungstechniken vorgesehen. Entscheidend bleiben sämtliche Anwendungsbedingungen, Fußnoten, belegte Bandbreite und der aktuell gültige Originaltext. [Q14]

ERP ist nicht dasselbe wie EIRP

Die Tabelle verwendet **ERP** (Bezug auf einen Halbwellendipol). In technischen Datenblättern steht für den Antennengewinn häufig **dBi**, das sich auf einen idealen isotropen Strahler bezieht. Umgerechnet gilt näherungsweise: **EIRP [dBm] = ERP [dBm] + 2,15 dB**. Die tatsächlich abgestrahlte Leistung muss daher samt Antenne, Sender und Leitungsverlusten bewertet werden. [Q6, Q7, Q14]

KEINE ALLGEMEINE „868-MHZ-FREIGABE“

Ein Antennenwechsel mit höherem Gewinn kann eine neue Beurteilung der maximalen ERP erfordern. Die Softwareeinstellung des Senders und ein CE-Zeichen allein beweisen nicht, dass die fertig installierte Antennenanlage alle Bedingungen erfüllt.

Was vor Inbetriebnahme feststehen muss

- Tatsächlicher Frequenzbereich, belegte Bandbreite und einschlägige Geräteklasse.
- ERP des Gesamtsystems inklusive Antennengewinn, Zuleitung und ggf. Endstufe.
- Zulässiges Zugangsverfahren oder die zutreffende Arbeitszyklusregel und deren Einhaltung.

12 / AUSWAHLHILFE

Welche Antenne für welchen Standort?

Die Antennenauswahl folgt der beabsichtigten Verbindung, nicht einer pauschalen dBi-Rangliste.

Ziel am Standort	Zuerst prüfen	Begründung
Testaufbau und kleine Installation	Frequenzpassende Stabantenne	Direktmontage ohne lange Zuleitung kann Verluste vermeiden.
Dachstandort: mehrere Himmelsrichtungen	Vertikal polarisierter Rundstrahler	Passende Rundumabdeckung in der Horizontalebene.
Erhöhter Standort: weiter Horizont	Rundstrahler mit dokumentiertem Vertikaldiagramm	Höhenwinkel zur tatsächlichen Zielgruppe müssen passen.
Hügeliges Gelände / Talversorgung	Breiteres vertikales Muster oder gezielte Richtantenne	Stationen können in stark verschiedenen Höhenwinkeln liegen.
Gezielte Gegenstation / bestimmter Sektor	Yagi oder Panel	Abstrahlung soll eine bestimmte Richtung bevorzugen.

Vier Fragen vor der Auswahl

- Wo genau stehen die gewünschten Gegenstationen – Richtung, Höhenlage, Hindernisse?
- Ist eine Rundumabdeckung erforderlich oder nur ein Funkkorridor?
- Welches reale Azimut- und Elevationsdiagramm nennt der Hersteller?
- Sind Anschlüsse, Kabelverluste, Polarisation und zulässige ERP dokumentiert?

Ein Höhenstandort ist kein Sonderfall der Physik

Wenn eine Antenne mit sehr schmaler vertikaler Bündelung die Gegenstellen in ihrem Hauptstrahl trifft, kann sie in dieser Richtung vorteilhaft sein. Liegen gewünschte Stationen deutlich ober- oder unterhalb dieses Bereichs, muss eine andere Abstrahlung geprüft werden. Die Beispiele bilden **mögliche technische Einsatzfälle** ab, keine Empfangsberichte aus Hessen. [Q3, Q4, Q5]

ZWEI VERSCHIEDENE AUFGABEN KÖNNEN ZWEI STANDORTE ERFORDERN

Ein einzelner Rundstrahler und eine einzelne Richtantenne besitzen unterschiedliche Abdeckungsziele. Ob ein Repeater rundum versorgen und gleichzeitig eine entfernte Richtung gezielt anbinden soll, ist eine Standort- und Netzplanungsfrage; universelle „Kombiantennen“ werden hier nicht behauptet.

Installation, Abnahme und Wartung

Eine gute Antenne nützt wenig, wenn Stecker, Montage, Sicherheit oder der spätere Rückweg nicht stimmen.

Vor der Montage – technische und bauliche Nachweise

- Datenblatt der exakten Frequenz- und Antennenversion mit Strahlungsdiagramm vorhanden.
- Koax, Adapter, Polarisation, Steckgesichter und Verbindungsdämpfung geprüft.
- Eigentümererlaubnis, Windlast, Halterung, Kabelwege und Wartungszugang geklärt.
- Schutz gegen Regen, Kondenswasser, Überspannung und Blitz fachlich geplant.

Außenantennen und lange Leitungen können Blitz- und Überspannungsrisiken mit sich bringen. DEHN erläutert entsprechende Fachschutzkonzepte für Antennenanlagen; deren Auswahl ist standortabhängig und keine allgemeine Laienverdrahtung. Kabel und Außenstecker sind gemäß Herstellerfreigabe zu schützen. [Q11, Q15]

Nach der Montage – Ergebnisse statt Vermutungen

Prüfung	Nachweis im Protokoll
Gleiches Funkprofil	Frequenz, Bandbreite, SF, CR und Firmware.
Gegenstelle A → B	Eindeutige Testpakete mit Empfangsbestätigung.
Rückrichtung B → A	Separat wiederholte Empfangsbestätigung.
Signalqualität	RSSI/SNR je empfangenem Paket und Fehlerquote.
Langzeitzustand	Wiederholungen bei veränderten Bedingungen, Feuchte- und Energiecheck.

PRAKTISCHE GRENZE DER FERNDIAGNOSE

Ein gesehenes Advert oder eine empfangene öffentliche Nachricht beweist nicht automatisch, dass die eigene Gegenrichtung funktioniert. Vor-/Nachher-Versuche mit demselben Gerät, Funkprofil und Prüfziel trennen belastbare Verbesserungen von Einzelfällen.

Glossar und verifizierte Quellen

Die Quellen bilden die technische Grundlage dieses Handbuchs. Wo keine Messdaten eines konkreten Antennenmodells vorliegen, werden bewusst keine Reichweiten- oder Diagrammwerte erfunden.

Mini-Glossar

Begriff	Bedeutung
Azimut / Elevation	Horizontaler Richtungswinkel / vertikaler Höhenwinkel.
dBi / dBd	Antennengewinn gegenüber isotropem Strahler / Halbwellendipol.
ERP / EIRP	Abgestrahlte Leistung mit unterschiedlichem Bezugsstrahler.
Fresnelzone	Räumliche Zone um den Funkweg, in der Hindernisse stören können.
Polarisation	Orientierung des elektrischen Feldes einer Funkwelle.
VSWR	Kenngröße für die elektrische Anpassung einer HF-Strecke.

Quellenverzeichnis

[Q1]	MeshCore, offizielle FAQ docs.meshcore.io
[Q2]	MeshCore, Projekt und Firmware github.com
[Q3]	LoRa Alliance, Gateway-Radio-Whitepaper (2021) lora-alliance.org
[Q4]	Antenna-Theory: Radiation Pattern antenna-theory.com
[Q5]	RAKwireless: Fiber Glass Antenna / Datenblatt store.rakwireless.com
[Q6]	The Things Network: dB, dBm, dBi, dBd thethingsnetwork.org
[Q7]	The Things Network: EIRP and ERP thethingsnetwork.org
[Q8]	The Things Network: Antenna Types thethingsnetwork.org
[Q9]	Antenna-Theory: Measurement of Radiation Pattern antenna-theory.com
[Q10]	Cisco: Site Preparation – Fresnel Zone cisco.com
[Q11]	DEHN: Erdung und Blitzschutz von Antennen dehn.de
[Q12]	The Things Network: Antenna Connectors thethingsnetwork.org
[Q13]	Rohde & Schwarz: VSWR und Rückflussdämpfung rohde-schwarz.com
[Q14]	BNetzA: Allgemeinzuteilung SRD, Vfg. 91/2025 bundesnetzagentur.de
[Q15]	DEHN: Normative Vorgaben Erdung / Antennen dehn.de

Redaktionsstand: 25.10.2026. Die Messwerte in Beispielrechnungen sind ausdrücklich hypothetisch. Normen, Firmware und Frequenzrecht vor realen Installationen anhand der jeweils aktuellen Primärquelle kontrollieren.