

3.12 Dezibel, Antennengewinn, EIRP und ERP

In der Funktechnik und Netzwerktechnik begegnen dir häufig Begriffe wie:

dB
dBm
dBi
Antennengewinn
EIRP
ERP

Diese Begriffe sind wichtig, wenn es um WLAN, Funkleistung, Antennen und erlaubte Sendeleistung geht.

Wichtig:

Eine Antenne erzeugt keine zusätzliche Energie.
Sie kann Energie nur in bestimmte Richtungen stärker bündeln.

Begriff: Dezibel

Dezibel wird mit dB abgekürzt.

dB beschreibt ein Verhältnis.

Das bedeutet:

dB gibt an,
wie viel stärker oder schwächer ein Signal im Vergleich zu einem anderen Signal ist.

Wichtig:

dB ist keine normale Längeneinheit.
dB beschreibt ein logarithmisches Verhältnis.

Vereinfacht gesagt:

dB zeigt,
um welchen Faktor sich eine Leistung verändert.

Merksatz:

dB = Verhältniswert.

Warum verwendet man dB?

In der Funk- und Netzwerktechnik können Unterschiede sehr groß sein.

Beispiele:

- ein Signal wird 10-mal stärker
- ein Signal wird 100-mal stärker
- ein Signal wird 1000-mal stärker
- ein Signal wird auf einer Strecke schwächer

Mit normalen Zahlen werden solche Unterschiede schnell unübersichtlich.

Dezibel macht große Verhältnisse kompakter darstellbar.

Merksatz:

dB macht große Signalverhältnisse übersichtlicher.

dB bei Leistung

Bei Leistungswerten gilt vereinfacht:

dB-Wert	Faktor
3 dB	ungefähr Faktor 2
10 dB	Faktor 10
13 dB	ungefähr Faktor 20
20 dB	Faktor 100
30 dB	Faktor 1000
40 dB	Faktor 10000

Wichtig:

+10 dB bedeutet bei Leistung:
zehnfache Leistung.

-10 dB bedeutet bei Leistung:
ein Zehntel der Leistung.

Merksatz:

10 dB = Faktor 10 bei Leistung.

Positive und negative dB-Werte

dB-Werte können positiv oder negativ sein.

dB-Wert	Bedeutung
positiver dB-Wert	Verstärkung oder Gewinn
negativer dB-Wert	Dämpfung oder Verlust

Beispiele:

+10 dB = Signal wird stärker
-10 dB = Signal wird schwächer

In der Praxis:

Antennengewinn wird oft positiv angegeben.
Kabelverluste oder Dämpfung werden oft als Verlust angegeben.

Merksatz:

Plus-dB = mehr.
Minus-dB = weniger.

Begriff: Dämpfung

Dämpfung bedeutet:

Ein Signal wird schwächer.

Dämpfung kann entstehen durch:

- Kabellänge
- Steckverbindungen
- Wände
- Luftstrecke
- Störungen
- schlechte Kabel
- schlechte Antennenposition
- verschmutzte Glasfaserstecker

Bei Funk und WLAN bedeutet Dämpfung:

Das Funksignal kommt schwächer beim Empfänger an.

Merksatz:

Dämpfung = Signalverlust.

Begriff: Verstärkung

Verstärkung bedeutet:

Ein Signal wird stärker.

In der Funktechnik muss man genau unterscheiden:

Ein Verstärker kann ein Signal aktiv stärker machen.
Eine Antenne verstärkt nicht aktiv,
sondern bündelt die vorhandene Energie.

Wichtig:

Antennengewinn ist keine Energieerzeugung.

Merksatz:

Verstärker erhöht aktiv.

Antenne bündelt passiv.

Antennengewinn

Antennengewinn beschreibt, wie stark eine Antenne die abgestrahlte Energie in eine bestimmte Richtung bündelt.

Eine Antenne kann keine Leistung erzeugen.

Sie kann nur die vorhandene Leistung anders verteilen.

Vereinfacht gesagt:

In eine Richtung wird mehr abgestrahlt.

In andere Richtungen wird dafür weniger abgestrahlt.

Merksatz:

Antennengewinn = Bündelung der Funkenergie.

Taschenlampen-Vergleich

Eine Antenne kann man vereinfacht mit einer Taschenlampe vergleichen.

Ohne Reflektor:

Das Licht verteilt sich in viele Richtungen.

Es ist überall etwas hell,
aber nirgends besonders stark.

Mit Reflektor:

Das Licht wird in eine Richtung gebündelt.
In diese Richtung ist es deutlich heller.

Übertragen auf Antennen:

Eine Antenne erzeugt keine neue Energie.
Sie bündelt die vorhandene Energie in bestimmte Richtungen.

Merksatz:

Antenne = kein zusätzlicher Strom,
sondern gezieltere Abstrahlung.

Rundstrahlantenne

Eine Rundstrahlantenne strahlt vereinfacht in alle horizontalen Richtungen ab.

Typischer Einsatz:

- WLAN-Access-Point
- Heimrouter
- allgemeine Funkabdeckung
- Räume oder kleinere Bereiche

Vorteil:

mehrere Richtungen werden abgedeckt

Nachteil:

weniger gezielte Reichweite in eine bestimmte Richtung

Merksatz:

Rundstrahlantenne = breite Abdeckung.

Richtantenne

Eine Richtantenne bündelt die Funkenergie stärker in eine bestimmte Richtung.

Typischer Einsatz:

- Punkt-zu-Punkt-Verbindung
- Gebäudeverbindung
- gezielte Funkstrecke
- Außenbereich
- Richtfunk

Vorteil:

höhere Reichweite in eine Richtung

Nachteil:

andere Richtungen werden weniger gut versorgt

Merksatz:

Richtantenne = gezielte Funkstrecke.

dBi

dBi beschreibt den Antennengewinn bezogen auf einen idealen isotropen Strahler.

Ein isotroper Strahler ist ein theoretischer Bezugspunkt.

Er strahlt ideal gleichmäßig in alle Richtungen.

Wichtig:

dBi ist eine Angabe für Antennengewinn.

Beispiel:

Antennengewinn: 5 dBi

Das bedeutet:

Die Antenne bündelt im Vergleich zu einem idealen Rundumstrahler stärker in bestimmte Richtungen.

Merksatz:

$\text{dBi} = \text{Antennengewinn bezogen auf isotropen Strahler.}$

dBd

dBd beschreibt den Antennengewinn bezogen auf einen Halbwellendipol.

Ein Dipol ist eine reale Antennenform, die als Bezugspunkt verwendet werden kann.

Wichtig:

dBi und dBd sind nicht dasselbe.

Näherungsweise gilt:

$0 \text{ dBd} \approx 2,15 \text{ dBi}$

Oder anders gesagt:

$\text{dBi-Wert} \approx \text{dBd-Wert} + 2,15 \text{ dB}$

Merksatz:

dBi und dBd haben unterschiedliche Bezugspunkte.

dBm

dBm ist eine Leistungsangabe.

dBm bezieht sich auf:

1 Milliwatt

Wichtig:

dB beschreibt ein Verhältnis.

dBm beschreibt eine absolute Leistung bezogen auf 1 mW.

Typische Werte:

Leistung	dBm
1 mW	0 dBm
10 mW	10 dBm
100 mW	20 dBm
1000 mW	30 dBm

Merksatz:

dBm = absolute Leistung bezogen auf 1 mW.

dB, dBi und dBm unterscheiden

Diese Begriffe werden häufig verwechselt.

Begriff	Bedeutung
dB	Verhältniswert
dBi	Antennengewinn bezogen auf isotropen Strahler
dBd	Antennengewinn bezogen auf Dipol
dBm	absolute Leistung bezogen auf 1 mW

Prüfungshinweis:

dB ist ein Verhältnis.

dBm ist eine Leistung.

dBi ist ein Antennengewinn.

Merksatz:

dB $\neq$ dBm $\neq$ dBi.

EIRP

EIRP steht für:

Equivalent Isotropically Radiated Power

Auf Deutsch sinngemäß:

äquivalente isotrope Strahlungsleistung

EIRP beschreibt die abgestrahlte Leistung bezogen auf einen idealen isotropen Strahler.

EIRP berücksichtigt:

- Sendeleistung
- Antennengewinn
- Leitungs- und Steckerverluste

Fachlich wichtig:

EIRP ist entscheidend,
wenn es um gesetzlich erlaubte Sendeleistung bei Funk geht.

Merksatz:

EIRP = wirksame abgestrahlte Leistung bezogen auf isotropen Strahler.

ERP

ERP steht für:

Effective Radiated Power

Auf Deutsch sinngemäß:

effektive Strahlungsleistung

ERP ist ähnlich wie EIRP, verwendet aber einen anderen Bezugspunkt.

ERP bezieht sich auf einen Halbwellendipol.

Wichtig:

EIRP und ERP sind nicht identisch.

Näherungsweise gilt:

$$\text{EIRP} = \text{ERP} + 2,15 \text{ dB}$$

Oder:

$$\text{ERP} = \text{EIRP} - 2,15 \text{ dB}$$

Merksatz:

EIRP bezieht sich auf isotrop.

ERP bezieht sich auf Dipol.

Warum sind EIRP und ERP wichtig?

Bei Funk darf nicht beliebig stark gesendet werden.

Der Gesetzgeber begrenzt die maximal erlaubte abgestrahlte Leistung.

Grund:

Andere Funkdienste sollen nicht gestört werden.

WLANs sollen sich gegenseitig nicht unnötig stark stören.

Funkbereiche müssen gemeinsam nutzbar bleiben.

Wichtig:

Nicht nur die Sendeleistung des Geräts zählt.

Auch der Antennengewinn zählt mit.

Merksatz:

Starke Antenne kann bedeuten:
Sendeleistung muss reduziert werden.

Vereinfachte Berechnung von EIRP

In dB-Werten kann man vereinfacht rechnen:

$$\text{EIRP} = \text{Sendeleistung} + \text{Antennengewinn} - \text{Verluste}$$

Fachlich als dB-Rechnung:

$$\begin{aligned} &\text{EIRP in dBm} \\ &= \\ &\text{Sendeleistung in dBm} \\ &+ \\ &\text{Antennengewinn in dBi} \\ &- \\ &\text{Kabelverluste in dB} \end{aligned}$$

Beispiel:

Sendeleistung: 10 dBm
Antennengewinn: 5 dBi
Kabelverlust: 1 dB

Rechnung:

$$10 \text{ dBm} + 5 \text{ dBi} - 1 \text{ dB} = 14 \text{ dBm EIRP}$$

Merksatz:

Leistung plus Gewinn minus Verlust ergibt EIRP.

Beispiel mit 100 mW und 13 dB Antennengewinn

Angenommen:

maximal erlaubte EIRP: 100 mW

Antennengewinn: 13 dB

13 dB entsprechen ungefähr:

Faktor 20

Wenn die Antenne das Signal ungefähr um Faktor 20 bündelt, darf die zugeführte Sendeleistung entsprechend kleiner sein.

Vereinfacht:

$$100 \text{ mW} / 20 = 5 \text{ mW}$$

Das bedeutet:

Bei 13 dB Antennengewinn dürfte der Sender vereinfacht nur etwa 5 mW an die Antenne liefern, wenn maximal 100 mW EIRP erlaubt sind und keine weiteren Verluste berücksichtigt werden.

Wichtig:

In der Praxis müssen zusätzlich Kabelverluste, genaue Antennenangaben, Frequenzbereich und gesetzliche Vorgaben berücksichtigt werden.

Merksatz:

Je höher der Antennengewinn, desto niedriger muss oft die Sendeleistung eingestellt werden.

Einfache Faktor-Tabelle

	dB	ungefährer Leistungsfaktor
	3 dB	2
	6 dB	4

	dB	ungefährer Leistungsfaktor
	10 dB	10
	13 dB	20
	16 dB	40
	20 dB	100
	30 dB	1000

Wichtig:

Diese Werte dienen als Orientierung.

Für genaue Berechnungen nutzt man logarithmische Formeln.

Merksatz:

3 dB ungefähr doppelt,
10 dB zehnfach.

Antennengewinn und Abstrahlrichtung

Eine Antenne mit höherem Gewinn strahlt nicht automatisch überall stärker.

Sie bündelt die Energie stärker in bestimmte Richtungen.

Das bedeutet:

In Hauptrichtung stärker.
In andere Richtungen schwächer.

Beispiel:

Eine Richtantenne kann weit in eine Richtung senden,
versorgt aber seitlich oder nach hinten schlechter.

Merksatz:

Antennengewinn verändert die Verteilung der Energie.

Antennengewinn und WLAN-Abdeckung

Ein hoher Antennengewinn ist nicht immer besser.

Bei WLAN im Gebäude kann eine zu stark gerichtete oder ungünstig ausgerichtete Antenne sogar Probleme verursachen.

Mögliche Probleme:

- ungleichmäßige Abdeckung
- Funklöcher
- Störungen in entfernten Bereichen
- schlechte Versorgung direkt unter oder neben der Antenne
- Überschneidungen mit anderen Funkzellen

Wichtig:

Gute WLAN-Abdeckung entsteht durch Planung,
nicht nur durch hohe Sendeleistung.

Merksatz:

Mehr Antennengewinn ist nicht automatisch besseres WLAN.

Sendeleistung

Sendeleistung ist die Leistung, mit der ein Funkgerät ein Signal erzeugt.

Beispiele:

Access Point
WLAN-Router
Funkmodul

Die Sendeleistung allein sagt aber noch nicht, wie stark das Signal in eine Richtung abgestrahlt wird.

Dafür müssen zusätzlich betrachtet werden:

- Antennengewinn
- Kabelverluste
- Stecker
- Frequenzband
- Umgebung

Merksatz:

Sendeleistung ist nur ein Teil der Funkstrecke.

Kabelverlust

Zwischen Funkgerät und Antenne kann ein Kabel liegen.

Dieses Kabel verursacht Verluste.

Diese Verluste werden meist in dB angegeben.

Beispiel:

Sendeleistung: 20 dBm
Kabelverlust: 2 dB
Antennengewinn: 5 dBi

EIRP:

$20 \text{ dBm} - 2 \text{ dB} + 5 \text{ dBi} = 23 \text{ dBm EIRP}$

Merksatz:

Kabelverluste verringern die wirksame abgestrahlte Leistung.

Freiraumdämpfung

Freiraumdämpfung beschreibt die Abschwächung eines Funksignals über Entfernung im freien Raum.

Je weiter der Empfänger entfernt ist, desto schwächer wird das Signal.

Wichtig:

Höhere Frequenzen haben bei gleicher Entfernung oft andere Ausbreitungseigenschaften als niedrigere Frequenzen.

Für WLAN bedeutet das vereinfacht:

2,4 GHz hat meist größere Reichweite.
5 GHz und 6 GHz haben meist geringere Reichweite,
können aber höhere Datenraten ermöglichen.

Merksatz:

Entfernung schwächt Funk signal deutlich.

Signalstärke bei WLAN

WLAN-Signalstärke wird häufig in dBm angezeigt.

Typische Anzeige:

-40 dBm
-60 dBm
-80 dBm

Wichtig:

Diese Werte sind negativ,
weil die empfangene Leistung sehr klein ist.

Grob vereinfacht:

Signalwert	grobe Einordnung
-40 dBm	sehr stark
-60 dBm	gut
-70 dBm	noch brauchbar
-80 dBm	schwach

Signalwert	grobe Einordnung
-90 dBm	sehr schwach

Wichtig:

Die genaue Bewertung hängt von Anwendung,
Störungen,
Datenrate
und Gerät ab.

Merksatz:

Bei WLAN ist -50 dBm stärker als -80 dBm.

SNR bei WLAN

SNR steht für:

Signal-to-Noise Ratio

Auf Deutsch:

Signal-Rausch-Abstand

SNR beschreibt das Verhältnis zwischen Nutzsignal und Störrauschen.

Je höher der SNR-Wert, desto besser kann das Signal ausgewertet werden.

Wichtig:

Gute Signalstärke allein reicht nicht,
wenn gleichzeitig viel Rauschen oder Störung vorhanden ist.

Merksatz:

SNR = Abstand zwischen Nutzsignal und Störung.

Antennengewinn und gesetzliche Grenzen

Bei WLAN gelten je nach Land und Frequenzbereich gesetzliche Grenzwerte.

Diese Grenzwerte beziehen sich häufig auf die maximal erlaubte EIRP.

Das bedeutet:

Gerät,
Antenne
und Verluste
müssen zusammen betrachtet werden.

Wichtig:

Eine stärkere Antenne kann dazu führen,
dass die Sendeleistung reduziert werden muss.

Merksatz:

Gesetzliche Grenzen beziehen sich auf die wirksame abgestrahlte Leistung.

Warum darf man nicht einfach stärker senden?

Zu hohe Sendeleistung kann Probleme verursachen.

Mögliche Folgen:

- Störung anderer WLANs
- Störung anderer Funkdienste
- größere Funkzellen als geplant
- mehr Überschneidungen
- schlechteres Roaming
- rechtliche Probleme
- asymmetrische Verbindung

Asymmetrisch bedeutet hier:

Der Access Point sendet stark,
aber der Client kann nicht stark genug zurücksenden.

Dann sieht der Client zwar das WLAN, aber die Verbindung funktioniert schlecht.

Merksatz:

Stark senden allein löst WLAN-Probleme nicht.

Asymmetrische WLAN-Verbindung

Bei WLAN müssen beide Seiten senden und empfangen können.

Beispiel:

Access Point hat hohe Sendeleistung.
Smartphone hat geringe Sendeleistung.

Dann kann es passieren:

Das Smartphone sieht den Access Point.
Der Access Point empfängt das Smartphone aber schlecht.

Ergebnis:

instabile Verbindung
niedriger Durchsatz
Verbindungsabbrüche

Merksatz:

WLAN ist Kommunikation in beide Richtungen.

Einordnung in das Schichtenmodell

Dezibel, Antennengewinn, EIRP und ERP gehören vor allem zur Funktechnik.

Thema	Einordnung
-------	------------

Funkwellen	OSI-Schicht 1
Sendeleistung	OSI-Schicht 1
Antenne	OSI-Schicht 1
dB, dBi, dBm	physikalische Funkgrößen
EIRP / ERP	wirksame abgestrahlte Leistung
WLAN-Zugriff	OSI-Schicht 2
IP-Adresse	OSI-Schicht 3
TCP / UDP	OSI-Schicht 4

Wichtig:

Antennengewinn verändert nicht IP-Adressen,
MAC-Adressen
oder Ports.

Merksatz:

Antennentechnik gehört zur Funkübertragung,
nicht zu IP oder TCP.

Typische Rechenaufgaben

In Prüfungen oder Übungen kann zum Beispiel gefragt werden:

- Welcher Faktor gehört zu einem dB-Wert?
- Wie wirkt sich Antennengewinn auf die erlaubte Sendeleistung aus?
- Was bedeutet 10 dB?
- Was bedeutet 20 dB?
- Wie berechnet man vereinfacht EIRP?
- Warum darf man bei hoher Antennenverstärkung die Sendeleistung nicht beliebig lassen?

Beispiel:

erlaubte EIRP: 100 mW
Antennengewinn: 10 dB

10 dB entspricht Faktor 10.

Vereinfachte Rechnung:

$$100 \text{ mW} / 10 = 10 \text{ mW}$$

Ergebnis:

Der Sender dürfte vereinfacht 10 mW an die Antenne liefern,
wenn keine weiteren Verluste berücksichtigt werden.

Typische IHK-Fragen

In AP1 und AP2 kann zum Beispiel gefragt werden:

- Was bedeutet dB?
- Was beschreibt Antennengewinn?
- Warum erzeugt eine Antenne keine zusätzliche Energie?
- Was ist EIRP?
- Was ist ERP?
- Warum ist die gesetzlich erlaubte Sendeleistung begrenzt?
- Warum muss bei hohem Antennengewinn die Sendeleistung reduziert werden?
- Was bedeutet dBm?
- Was ist der Unterschied zwischen dB, dBi und dBm?
- Warum ist mehr Sendeleistung nicht automatisch besseres WLAN?
- Was bedeutet asymmetrische WLAN-Verbindung?

Typische Prüfungsfallen

dB ist ein Verhältnis,
keine absolute Leistung.

dBm ist eine absolute Leistung bezogen auf 1 mW.

dBi ist Antennengewinn bezogen auf einen isotropen Strahler.

Eine Antenne erzeugt keine zusätzliche Energie.

Antennengewinn bedeutet Bündelung.

Höherer Antennengewinn kann eine geringere erlaubte Sendeleistung bedeuten.

EIRP berücksichtigt Sendeleistung, Antennengewinn und Verluste.

Mehr Sendeleistung bedeutet nicht automatisch besseres WLAN.

WLAN braucht Kommunikation in beide Richtungen.

Ein Client muss auch zurücksenden können.

EIRP und ERP haben unterschiedliche Bezugspunkte.

Wichtige Begriffe kurz erklärt

Begriff	Kurze Erklärung
dB	Dezibel, Verhältniswert
dBm	Leistungswert bezogen auf 1 mW
dBi	Antennengewinn bezogen auf isotropen Strahler
dBd	Antennengewinn bezogen auf Dipol
Dämpfung	Abschwächung eines Signals
Verstärkung	Erhöhung einer Signalstärke
Antennengewinn	Bündelung der abgestrahlten Energie
Rundstrahlantenne	Antenne mit breiter horizontaler Abstrahlung
Richtantenne	Antenne mit gezielter Abstrahlung in eine Richtung
EIRP	wirksame abgestrahlte Leistung bezogen auf isotropen Strahler
ERP	wirksame abgestrahlte Leistung bezogen auf Dipol
Sendeleistung	Leistung, mit der ein Funkgerät sendet
Kabelverlust	Leistungsverlust zwischen Sender und Antenne
Freiraumdämpfung	Abschwächung eines Funksignals über Entfernung
SNR	Signal-Rausch-Abstand
asymmetrische Verbindung	eine Seite sendet deutlich stärker als die andere

IHK-sichere Kurzformulierung

Dezibel, kurz dB, beschreibt ein logarithmisches Verhältnis, zum Beispiel eine Dämpfung oder einen Gewinn. Bei Leistungswerten entspricht 10 dB dem Faktor 10 und 20 dB dem Faktor 100. Antennengewinn bedeutet nicht, dass eine Antenne zusätzliche Energie erzeugt, sondern dass vorhandene Energie stärker in bestimmte Richtungen gebündelt wird. EIRP beschreibt die wirksame abgestrahlte Leistung bezogen auf einen idealen isotropen Strahler. Dabei werden Sendeleistung, Antennengewinn und Leitungsverluste berücksichtigt. Bei WLAN und anderen Funktechniken müssen gesetzliche Grenzwerte eingehalten werden.

Merksätze

$\text{dB} = \text{Verhältnisswert.}$

$\text{dBm} = \text{Leistung bezogen auf } 1 \text{ mW.}$

$\text{dBi} = \text{Antennengewinn bezogen auf isotropen Strahler.}$

$\text{dBd} = \text{Antennengewinn bezogen auf Dipol.}$

$3 \text{ dB} \approx \text{Faktor } 2.$

$10 \text{ dB} = \text{Faktor } 10.$

$20 \text{ dB} = \text{Faktor } 100.$

Dämpfung = Signal wird schwächer.

Antennengewinn = Bündelung,
nicht Energieerzeugung.

Eine Antenne kann nichts „gewinnen“,
sie verteilt Energie nur anders.

$\text{EIRP} = \text{Sendeleistung} + \text{Antennengewinn} - \text{Verluste.}$

Hoher Antennengewinn kann geringere Sendeleistung erfordern.

Mehr Sendeleistung ist nicht automatisch besseres WLAN.

WLAN muss in beide Richtungen funktionieren.

Antennentechnik gehört zur Funkübertragung,
nicht zu IP oder TCP.
