



# Telefónica

## Wissenswertes über Antennentechnik in IoT Geräten für Entwickler und Entscheider



INTERNET DER DINGE



Autoren: Harald Naumann

**Sales & Competence Center IoT | Telefónica Germany GmbH & Co. OHG**  
Georg-Brauchle-Ring 50, 80992 München

# Inhaltsverzeichnis

Bewertung einer Antenne für IoT Geräte .....	3
Was ist eine Antenne? .....	3
Parameter von Antennen .....	3
Antennengewinn .....	4
Öffnungswinkel der Antenne .....	5
Stehwellenverhältnis .....	5
Rückflussdämpfung .....	6
Bandbreite der Antenne .....	6
Antenneneffektivität .....	8
Antennendiagramm.....	8
Größe der Referenz-Massefläche.....	9
Zusammenfassung der Parameter .....	9
Datenblätter und Applikationshinweise von Antennen richtig auswerten.....	10
Autor .....	11

## Bewertung einer Antenne für IoT Geräte

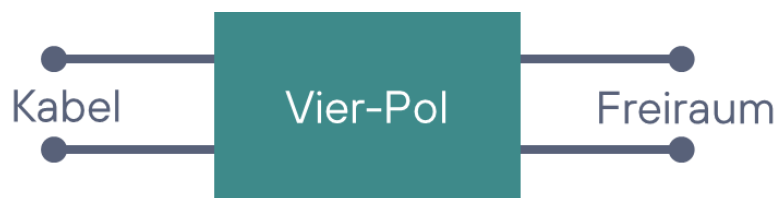
Bei der Realisierung von IoT-Projekten beeinflusst die Auswahl der richtigen Antenne und der Ein-/Verbauort maßgeblich den Energieverbrauch und somit die Laufzeit. Um die immer wieder zitierten 10 Jahre Batterielaufzeit bei NB-IoT Geräten zu erreichen, ist Sorgfalt bei der Hardwareentwicklung unentbehrlich, weshalb wir im Folgenden auf ein paar wesentliche Fragestellungen dazu eingehen.

### Was ist eine Antenne?

Eine Antenne ist ein Wandler, welcher elektrische Energie in eine elektromagnetische Welle wandelt. Passive Antennen verhalten sich wechselseitig. Sie arbeiten als Sendeantenne und Empfangsantenne gleichzeitig.

Mit Antennen werden Informationen mit elektromagnetischen Wellen übertragen. Eine Antenne wird wie ein Zweipol am Mobilfunkmodul angeschlossen. Eine Antenne ist ein Vierpol ohne feste physikalische Verbindung in den freien Raum. Die Antenne im freien Raum wird durch das Umfeld stark beeinflusst. Zur Umwelt gehören bei einer integrierten Antenne das Gehäuse, das Display oder die Batterie in der Nähe.

Die Abmaße einer Antenne werden primär durch die Wellenlänge ( $\lambda$ ) bestimmt. Die Wellenlänge ist umgekehrt proportional zur Frequenz ( $f \sim 1/\lambda$ ). Je niedriger die Frequenz ist, umso größer sind die Abmessungen der Antenne.



Antenne als Vierpol. Quelle: Harald Naumann

Ein sogenannter Hertzscher Dipol besteht aus zwei Elementen in der Länge von  $\lambda/4$ . Beim Monopol wird ein Teil des Dipols entfernt. Der fehlende Teil des Dipols wird durch die Massefläche (engl. Groundplane) ersetzt. Monopolantennen gibt es in Form von Chipantennen, Flex-PCB-Antenne oder als Helixantenne mit koaxialem Anschluss. Die Monopolantenne mit der Groundplane bildet das eigentliche Antennensystem. Wird die Massefläche zu klein gewählt, funktioniert die Monopolantenne nicht mehr gut.

Die minimale Größe der Massefläche wird von der tiefsten Frequenz in der Applikation bestimmt. Deshalb können Geräte mit integrierter Antenne nicht beliebig verkleinert werden. Eine Leiterplatte, die für ein Bluetooth-Funkmodul (2400 MHz) entwickelt wurde, kann nicht einfach auf NB-IoT und LTE-M geändert werden. Wie aber wählt man nun eine passende Antenne aus?

### Parameter von Antennen

Datenblätter von Antennen nennen neben den mechanischen Abmessungen und dem Typ des Anschlusses diverse elektrische und physikalische Größen. Zwischen Chip-Antennen und selbstgebaute Antennen in der Leiterplatte besteht technisch kein Unterschied. Selbst ein Stück Draht kann als Antenne wirken. Egal wie diese ausgeformt ist - bei allen Antennen können die nachfolgenden Parameter messtechnisch nachgewiesen werden.

# Antennengewinn

Der Antennengewinn ist eine relative Größe, die sich auf eine Referenzantenne bezieht. Die Bezugsgröße ist die Empfangsfeldstärke der gewählten Antenne in Empfangsrichtung zur Empfangsfeldstärke der Referenzantenne. Als Referenz dient entweder eine sogenannte isotrope Antenne oder ein Halbwellen-Dipol. Die isotrope Antenne ist eine gedachte Antenne, welche in alle Richtungen (Kugel) gleichförmig sendet. Der Gewinn wird in dBi angegeben. Das »i« weist auf die isotrope Antenne als Referenz hin.

Die isotrope Antenne lässt sich mit einer Glühlampe ohne Schirm vergleichen. Die Lampe würde in alle Richtungen fast gleichmäßig leuchten: In Richtung ihrer Fassung kann sie kein Licht abstrahlen. Dort hat sie eine Nullstelle. Die Glühlampe ohne Lampenschirm kommt dem idealisierten Isotropenstrahler sehr nahe.

Die zweite bekannte Referenzantenne ist der Halbwellen-Dipol. Diese lässt sich im Gegensatz zur isotropen Antenne aufbauen. Der Halbwellen-Dipol hat zwei Nullstellen und strahlt in diese Richtungen keine Energie ab. Wird er als Referenz genommen, wird der Gewinn einer Antenne in dBd angegeben. Das an die Einheit dB angefügte »d« weist auf den Halbwellen-Dipol hin.

Antenne	Gewinn [dBi] bezogen auf die isotrope Antenne	Gewinn [dBi] bezogen auf den Halbwellen-Dipol
Monopol / Dipol	1,6	-0,6
$\lambda/2$ -Rundstrahler	3	1
Yagi-Antenne	5 bis 15	3 bis 12
Parabol-Antenne	15 bis 25	13 bis 23

Übersicht Antennen. Quelle: Harald Naumann

Werte in dBi lassen sich direkt in dBd umrechnen und umgekehrt -0 dBd entsprechen 2,15 dBi. Die Verwechslung von dBi bzw. dBd ist bereits der erste Fallstrick beim Vergleichen von Angaben im Datenblatt. Wenn eine Antenne um 2 dB besser aussieht, ist das evtl. nur dem Vergleich mit dem Isotropenstrahler geschuldet.

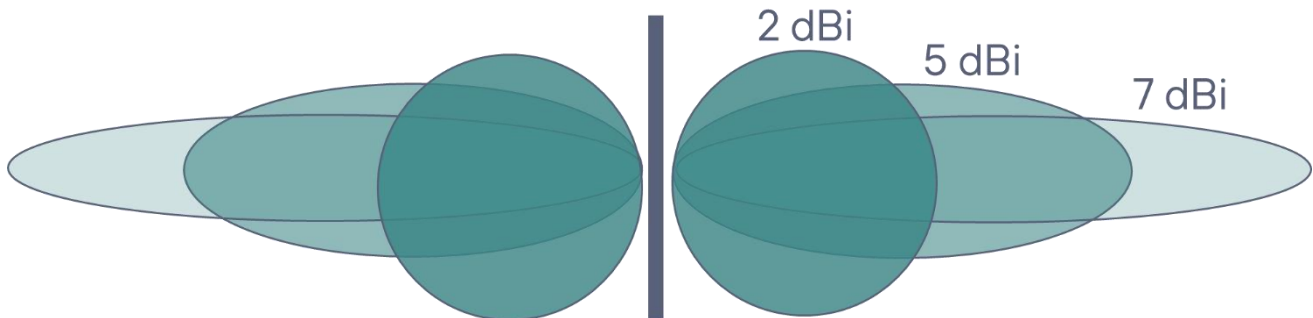
Eine Antenne ist ein passives Bauelement und kann nicht verstärken. Der Gewinn einer Antenne ist immer ihrer Richtwirkung zuzuschreiben. Der Gewinn des  $\lambda/2$ -Rundstrahlers geht mit dem geringen Öffnungswinkel der Antenne einher. Beim  $5/8$ -Strahler ist der Gewinn noch größer und der Öffnungswinkel nochmals kleiner. Am deutlichsten lässt sich die Richtwirkung bei der Yagi-Antenne bzw. Parabolantenne erkennen. Dort wird die Energie in eine Richtung gelenkt und nach hinten fast nichts mehr abgestrahlt. Der Gewinn wird aber immer in der Hauptstrahlrichtung angegeben. Die Parabolantenne ähnelt der Straßenlampe mit Reflektor. Das Licht wird gebündelt und nach unten geleitet.

Da in diesem Beitrag tragbare Geräte bzw. kleine Geräte mit integrierten Antennen betrachtet werden, finden sich in den Datenblättern der angebotenen Antennen meisten Werte um ca. 0 dBi bzw. -2,15 dBd.

Antennen für NB-IoT und LTE-M sind immer als Antennen mit Multiresonanz ausgeführt. Gute Datenblätter nennen den Gewinn in den Bändern einzeln und nicht nur den Spitzenwert in einem der Bänder. Noch besser ist eine grafische Darstellung des Antennengewinns über alle Bänder. Eine Spitze mit viel Gewinn in der Mitte eines Bandes nutzt wenig, denn ein IoT-Gerät soll ja im ganzen Frequenzbereich annähernd gleich senden und empfangen können. Dort ist der nächste Fallstrick zu finden. Manche Hersteller nennen im Datenblatt den Spitzenwert des Antennengewinns, ohne diesen als solchen auszuweisen. Ein hoher Spitzenwert mit einem schlechten Antennengewinn im Mittelwertwert ist für ein mobiles Gerät nicht erstrebenswert. Bei einem mobilen Sensor für NB-IoT oder LTE-M ist ein hoher Gewinn in eine Richtung nicht sinnvoll, weil man nicht weiß, in welcher Richtung sich die nächste Basisstation befindet.

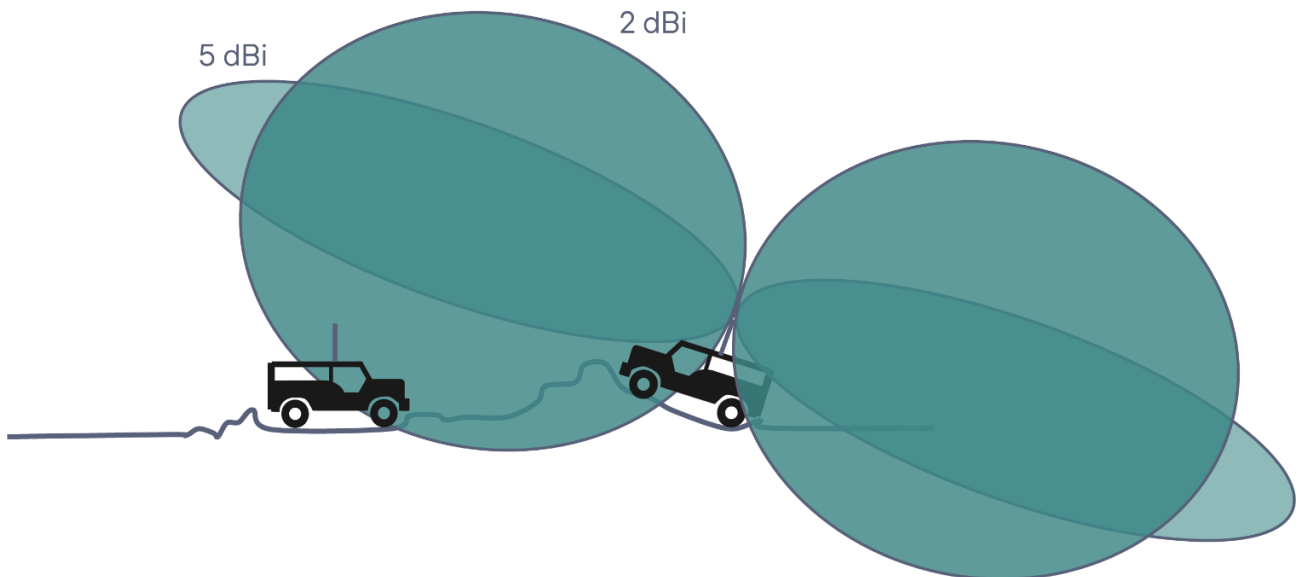
## Öffnungswinkel der Antenne

Der Öffnungswinkel wird bei  $\lambda/2$ -Antennen und anderen rundstrahlenden Antennen oder bei gerichteten Antennen angegeben. Er ergibt sich aus den Punkten im Antennendiagramm, bei denen der Gewinn um 3 dB gegenüber dem Maximum in Hauptstrahlrichtung zurückgeht.



Antennengewinn in Relation zum Öffnungswinkel der Antenne. Quelle: Harald Naumann

Antenne mit 2 dB Gewinn versus 5 dB Gewinn in der Praxis. Quelle: Harald Naumann



Bei integrierten Antennen ist die Angabe des Öffnungswinkels unüblich. Bei IoT-Geräten wird im Allgemeinen eine möglichst gleichmäßige Abstrahlung in alle Richtungen angestrebt. Eine Ausnahme bieten GPS-Patch-Antennen mit ihrer extremen Richtwirkung. Manche Hersteller von Antennen zeigen in ihren Datenblättern das Richtdiagramm in 3D. Öffnungswinkel, Richtwirkung und Antennengewinn gehören zusammen. Eine Antenne ist ein passives Bauteil und kann daher nicht verstärken, sondern nur wie eine Linse oder ein Reflektor in einer Lampe das Licht bündeln und primär in eine bevorzugte Richtung lenken.

## Stehwellenverhältnis

Das Stehwellenverhältnis (VSWR – Voltage Standing Wave Ratio oder nur SWR) wurde früher in der Hochfrequenztechnik als Kenngröße genutzt, um Antennen zu beurteilen. Ein geringer Wert beim Stehwellenverhältnis zeigt an, dass die Antenne wenig Energie zum Generator (Funkmodul) zurücksendet. Stehwellenverhältnis und Rückflussdämpfung lassen sich direkt umrechnen. Die Änderung des Stehwellenverhältnisses von 1,5 auf 2 lässt sich in einem Diagramm oft nur schwer ablesen. Die

Änderung des Wertes um 0,5 linear ist gleich bedeutet der Änderung von ca. 4,5 dB bei der Rückflusdämpfung. Das Delta von 4,5 dB lässt sich viel besser ablesen. In dieser Ausarbeitung werden wir daher primär die Rückflusdämpfung aufzeigen.

VSWR (:1)	Return Loss (dB)		Mismatch loss (dB)	Reflected Power (%)	Through Power (%)
1.001	66.025		0	0	99.99998
1.065	30.04		0.00431	0.0992	99.90078
1.118	25.081		0.01349	0.3102	99.68975
1.5	13.979		0.17729	4	96
2	9.542		0.51142	11.1089	88.89111
3	6.021		1.24939	25	75
4	4.437		1.9382	36	64
6	2.923		3.09876	51.0082	48.99184

Fehlanpassungsverlust = Mismatch loss. VSWR = Stehwellenverhältnis. Reflected Power = reflektierte Leistung. Through Power = abgestrahlte Leistung<sup>1</sup>.

## Rückflusdämpfung

Wird ein Hochfrequenzsignal einer Antenne zugeführt, wird ein Teil der Welle reflektiert. Die Rückflusdämpfung (R) im Datenblatt der Antenne gibt an, wie viel Energie von der Antenne reflektiert wird.

Bei Antennen für NB-IoT, LTE-M, GSM, UMTS oder LTE wird eine Rückflusdämpfung von -6 dB an den Banddecken angestrebt. Bei -6 dB wird 25 % der Energie von der Antenne zum Generator reflektiert. Bei schmalbandigen Antennen, zum Beispiel für GPS oder GLONASS wird eine Rückflusdämpfung von -9,54 dB angestrebt und meist auf -10 dB gerundet.

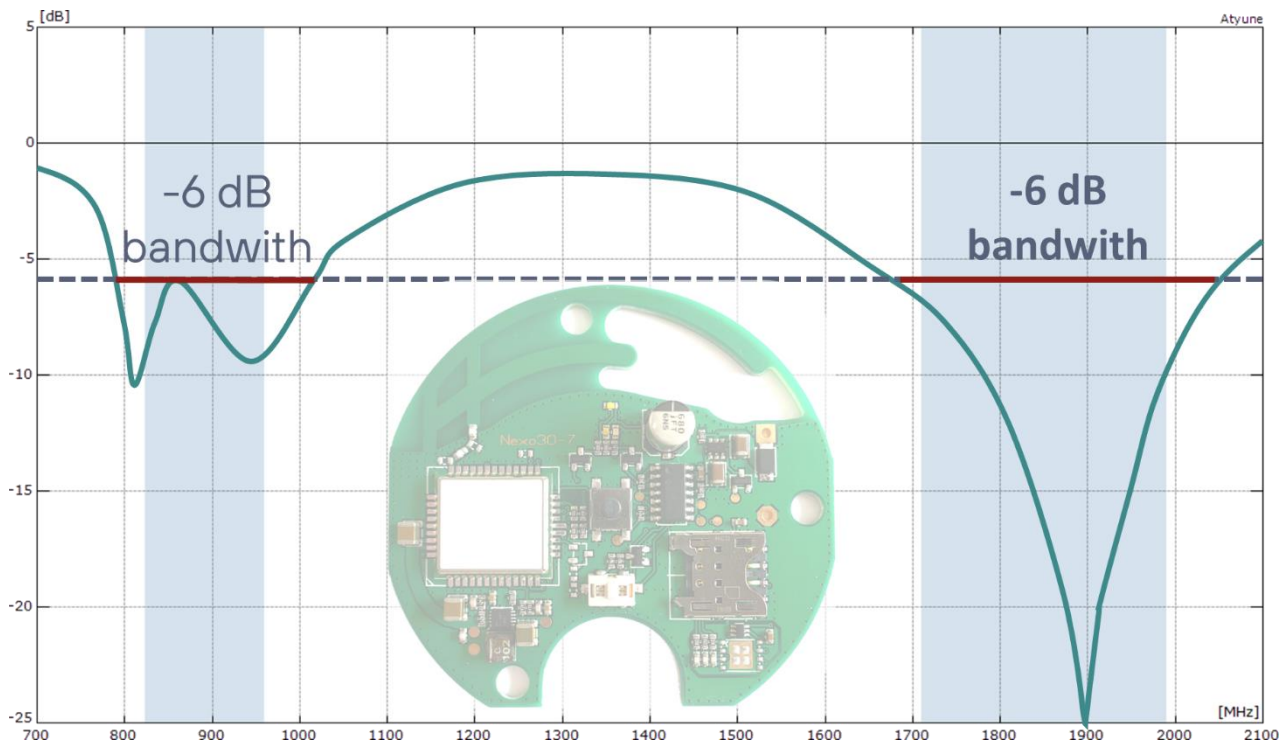
Die Leistung, die eine Antenne tatsächlich abstrahlt, wird von deren Rückflusdämpfung beeinflusst. Bei einer Rückflusdämpfung von -4,4 dB werden 1,94 dB reflektiert. Werden diese 1,94 dB nur mit einem aufwändigen Anpassnetzwerk erzielt, wird dieses weitere Verluste hinzuaddieren. Die Antenne wird einen weiteren Teil der nicht reflektierten Energie in der Antenne in Wärme umsetzen. Die wirklich abgestrahlte Energie wird dann zum Teil vom Gehäuse aus Kunststoff in Wärme umgesetzt. Weil sich alle Verluste addieren, wird eine Rückflusdämpfung von -6 dB bei breitbandigen Antennen angestrebt und ein Fehlanpassungsverlust (Mismatch-Loss) von 1,24 dB akzeptiert. Die Summe aller Verluste mit 3 dB und mehr ist nicht ungewöhnlich.

Diese 3 dB mehr oder weniger – und damit auch mehr oder weniger Reichweite – hat jeder IoT-Entwickler mit der Auswahl der Antenne und deren Integration selbst in der Hand.

## Bandbreite der Antenne

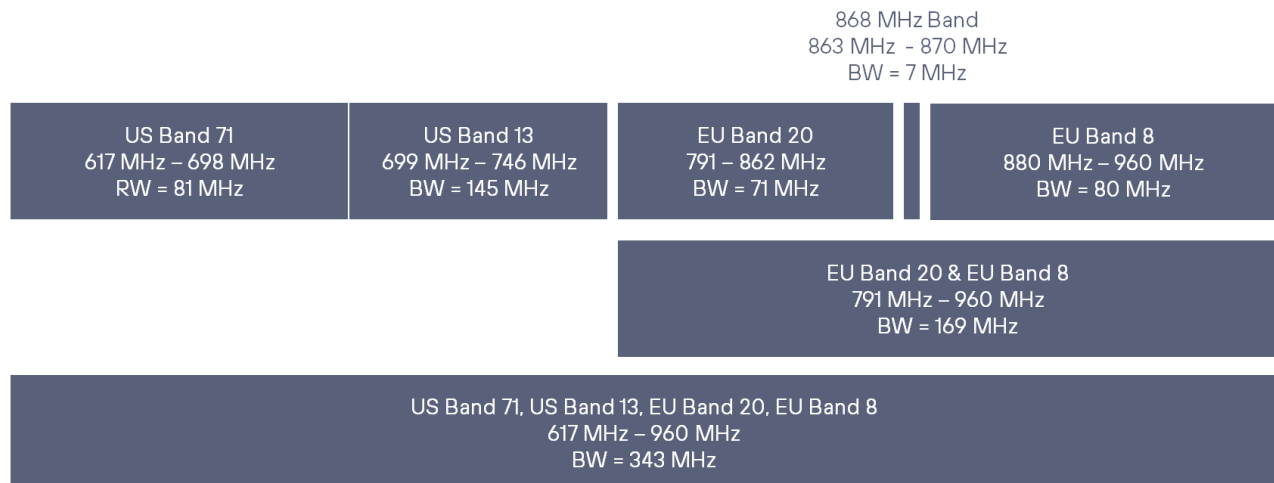
Die Bandbreite einer Antenne ergibt sich aus dem Delta zwischen der untersten Frequenz, bei welchem sich eine Rückflusdämpfung von -6 dB bzw. -10 dB bei der untersten und der obersten Frequenz einstellt. Die Messkurve zeigt die Rückflusdämpfung der Leiterplattenantenne der Beispielapplikation. Diese Applikation wurde für GSM entwickelt, da es zur Zeit der Entwicklung noch kein NB-IoT oder LTE-M gab. Die Antenne deckt bereits NB-IoT/LTE-M im Band 8 (900MHz) und Band 20 (800MHz) ab. Es zeigt, dass gute breitbandige Antennen auch selbst gebaut werden können. Der grau markierte Bereich zeigt die notwendige Bandbreite für GSM 850 und GSM 960 MHz (824 MHz bis 960 MHz).

<sup>1</sup> Vgl. Everything RF: VSWR to Return Loss Conversion Chart, in: Everything RF, o. D., <https://www.everythingrf.com/tech-resources/vswr> (abgerufen am 12.12.2021).



-6 dB Bandbreite einer GSM / NB-IoT / LTE-M PCB-Antenne der Beispielapplikation. Quelle: IoT/M2M Cookbook<sup>2</sup>.

Der rote Strich zeigt die erreichte Bandbreite von 790 MHz bis 1050 MHz. Die Antenne hat somit oberhalb 960 MHz noch 90 MHz Bandbreite übrig. In den oberen Bändern sieht es ähnlich gut aus.



Frequenzbereich und Notwendige für NB-IoT in USA/ Europa und lizenzfreies 868-MHz-Band in Europa. Quelle Harald Naumann

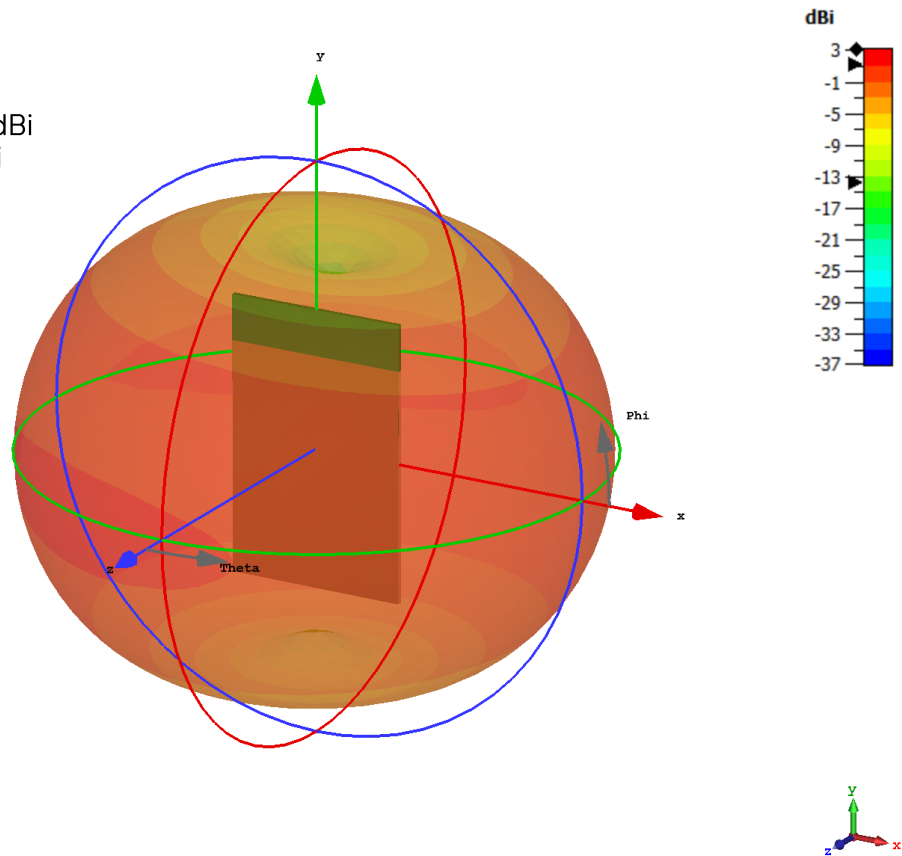
<sup>2</sup> Naumann, Harald: IoT / M2M Cookbook, in: akorIoT, 10.01.2014a, [https://www.akoriot.com/iot\\_books/](https://www.akoriot.com/iot_books/) (abgerufen am 12.12.2021).

# Antenneneffektivität

Der Wirkungsgrad einer Antenne ist das Verhältnis der an die Antenne gelieferten Leistung zu der von der Antenne abgestrahlten Leistung. Eine gute Rückflussdämpfung bedeutet nicht unbedingt, dass die Leistung, die nicht reflektiert wird, wirklich abgestrahlt wird. Wird die Antenne durch einen 50-Ω-Widerstand getauscht, wird nichts reflektiert und die HF-Energie wird komplett in Wärme umgewandelt. In der Antennensimulation der NB-IoT/LTE-M-Antenne wird der Average-Gain und der Peak-Gain genannt. Der Peak-Gain ist der Spitzenwert der abgestrahlten Leistung an einen Punkt in alle Richtungen in der Simulation. Der Average-Gain ist der Mittelwert aus allen Simulationen in alle Richtungen. Da die Antenne in der Y-Achse einen Nullpunkt hat und dort nichts abstrahlt muss der Mittelwert auf einen gedachten Kugelstrahler negativ sein. Ein isotroper Kugelstrahler ist eine in der Praxis nicht umsetzbare Antenne, welcher als gedachter Punkt in der Mitte in alle Richtungen kugelförmig strahlt.

## Farfield 830 MHz

Avg. Gain: -0.6714 dBi  
Peak Gain: 1.284 dBi



Simulation einer NB-IoT/LTE-M-Antenne im Band 20. Quelle Harald Naumann

Der Strahlungswirkungsgrad ist das Verhältnis zwischen der von der Antenne abgestrahlten Leistung und der Leistung, die in die Antenne gelangt. Die nicht abgestrahlte Leistung geht in Form von Leitungs- und dielektrischen Verlusten verloren. Der Gesamtwirkungsgrad ist das Verhältnis zwischen der abgestrahlten Leistung und der vom Anpassungsnetzwerk aufgenommenen Leistung. Er umfasst sowohl die Reflexionsverluste als auch die Verlustleistung in der Antenne. Datenblätter von Antennen zeigen dies immer nur mit einer idealen Groundplane, ohne Verluste im Gehäuse und ohne Verluste in anderen Bauteilen (zum Beispiel Batterie und Display) in der Nähe.

# Antennendiagramm

Selbst wenn die Werte einer Antenne im Datenblatt gut aussehen, muss die Antenne in der eigenen Anwendung nicht automatisch gute Ergebnisse liefern. Die Platinen zur Evaluierung der Antennenhersteller werden immer ohne Gehäuse und auf einer Referenz-Massefläche vermessen. Wird die



Massefläche gekürzt, verringert sich die Bandbreite der Antenne bei Frequenzen unter 1 GHz drastisch. Kunststoff in der Nähe der Antenne beeinflusst die Bandbreite ebenso. Der in der Schaltung verwendete Akku hat ebenfalls einen Einfluss.

Die wirkliche Ausbreitung der Wellen hängt von vielen Parametern ab und lässt sich nur mit viel Erfahrung abschätzen. Wer es genau wissen will, kann das Antennendiagramm seines Gerätes messen. Dazu muss nicht unbedingt eine teure Messkammer installiert werden. Es gibt Messsysteme wie das Radiation-Measurement-System (RMS) welche deutlich preiswerter sind und weniger Platz als eine Kammer benötigt.

## Größe der Referenz-Massefläche

Beim Dipol zeigt ein Teil der Antenne nach links und der andere nach rechts. Die Länge der beiden Teile wird von der Sendefrequenz beeinflusst. Beim Monopol fehlt ein Teil des Dipols. Die Massefläche ersetzt den fehlenden Teil. Die notwendige Länge der Massefläche der Platine (Groundplane) wird ebenfalls von der tiefsten Sendefrequenz bestimmt. Wird die Fläche bzw. die Länge der Leiterplatte zu klein gewählt, nimmt die Bandbreite des Monopols ab. Datenblätter von namhaften Herstellern von Antennen zeigen die Daten von Monopolantennen mit der Referenz-Massefläche und einer gekürzten Massefläche. Eine Kürzung sollte aber, wenn möglich, vermieden werden. Ein genauer Blick auf die Angaben des Produzenten verdeutlicht, dass eine große Platine zu guten Ergebnissen in der Antenneneffektivität führt. Die Abmaße der Testplatinen werden von den Herstellern nicht willkürlich gewählt. Manchmal wird eine sehr lange Platine gewählt, um bei tiefen Frequenzen noch eine gute Rückflusdämpfung zu erzielen.

## Zusammenfassung der Parameter

Entwickler müssen passend für ihre Applikation viele Kenngrößen der Antenne berücksichtigen. Ein möglichst hoher Antennengewinn ist nicht immer von Vorteil. Für mobile Anwendungen ist ein weiter Öffnungswinkel der Antenne bzw. eine möglichst omnidirektionale Abstrahlung relevant für eine sichere Funktion. IoT-Geräte mit NB-IoT und LTE-M wissen nicht, in welcher Richtung sich die nächste Basisstation befindet, und sollten daher für die meisten Anwendungen keine Richtwirkung haben.

Die Simulation der Leiterbahn-Antenne für NB-IoT/LTE-M wurde im Band 20 bei einer Frequenz von 830 MHz durchgeführt. Der Gewinn liegt in fast allen Richtungen oberhalb 0 dBi. Das Maximum erreicht 1,284 dBi. Die Antenne basiert auf einem typischen Monopol. Der Maximalwert wird durch die Gesamtkonstruktion verursacht, welche zu einer minimalen Richtwirkung führt.

Zuviel Antennengewinn bzw. zu viel Richtwirkung ist nicht gut. Bei der Funkzertifizierung nach RED/CE sind im Band 8 oder 20 in EU maximal 25,15 dBm erlaubt (23 dBm TX Leistung plus 2,15 dBi Antennengewinn). Bei NB-IoT sind 23 dBm + 2,15 dBi als maximaler Wert erlaubt. Die Simulation der NB-IoT/LTE-M-Antenne im Band 20 zeigt < 0 dBi im Mittelwert und 1,284 dBi in der Spitze. Die Verluste im Gehäuse aus ABS sind in der Computersimulation nicht enthalten.

Die Frequenzbandbreite einer Antenne ist ein wichtiger Parameter. Wenn das Datenblatt der Antenne nicht genügend Bandbreite aufzeigt, ist es technisch nicht möglich, eine gute Abstrahlung zu erreichen. Ist die Rückflusdämpfung zu hoch, kann dies zu Oberwellen führen. Oberwellen führen oft dazu, dass ein Produkt keine CE/RED-Zertifizierung erreichen kann. Eine Antenne mit zu geringer Bandbreite darf man bei der Auswahl nicht berücksichtigen. Die Antenneneffektivität im Datenblatt ist nur ein theoretischer Wert ohne die Verluste im Gehäuse. Der Hersteller kann nicht wissen, welches Material mit welchen Verlusten zum Einsatz kommt. Ist die Effektivität der Antenne ohne Gehäuse bereits schlecht, wird es mit Gehäuse nicht besser. Eine gute Rückflusdämpfung zeigt, dass nicht viel Energie reflektiert wird. Das bedeutet aber nicht, dass die Energie abgestrahlt wird. Die Antenneneffektivität des IoT-Gerätes kann man nur mit Messungen ermitteln.

## Datenblätter und Applikationshinweise von Antennen richtig auswerten

Der erste Blick im Datenblatt, Applikationshinweise oder einer Messreihe gilt immer der Frequenzbandbreite der Antenne. Dabei muss der Entwickler für sich selbst festlegen, ob er  $-6$  dB oder  $-10$  dB Rückflusdämpfung anstrebt. Ist die Bandbreite laut Datenblatt zu klein, ist die Antenne ungeeignet. Wurde die Rückflusdämpfung mit  $-6$  dB gewählt, sollte der zweite Blick auf die unterste Frequenz der Antenne fallen. Ist diese bereits zu niedrig für die Anwendung, ist es zum Beispiel bei Chip-Antennen unmöglich, die Struktur zu kürzen. Bei selbst gebauten PCB-Antennen hilft bei den Prototypen das Skalpell, um die Antenne auf Maß zu kappen. Für die Serienfertigung kann die Antennenstruktur anschließend im Layout korrigiert werden.

Beim Bewerten des Datenblattes ist Vorsicht geboten. Der Antennengewinn wird oft im Maximum definiert und sieht meist gut aus. Wenn der Antennenhersteller etwas trickst, wird eine Antenne, die ursprünglich für GSM-Quadband entwickelt wurde, mit der untersten Frequenz von 824 MHz, schon mal zur Antenne für NB-IoT bzw. LTE-M deklariert. Die Rückflusdämpfung der Antenne ist dann bei 798 MHz für NB-IoT/LTE-M entsprechend hoch und die Sendeenergie wird nur zu einem kleinen Teil abgestrahlt.

Viel schlimmer ist es aber, wenn die rücklaufende Welle auf den Verstärkerausgang des Funkmoduls trifft. Die dort entstehenden Oberwellen können leicht die Grenzwerte der RED/CE überschreiten.

Bei der Auswahl von Antennen sollten Entwickler bedenken, dass das Gehäuse mit seinem Kunststoff die Mittenfrequenz der Antenne etwas verschiebt und die Bandbreite meist ein wenig erhöht.

Wurde eine Antenne anhand des Datenblatts ausgewählt, sollte ihre Rückflusdämpfung auf der Evaluierungsplatine im Gehäuse der Wahl gemessen werden. Ist dieser Test zur Zufriedenheit abgeschlossen, erfolgt der Aufbau der Antenne auf einer leeren Platine im Kunststoffgehäuse. Verläuft dieser Test positiv, kann die Chip-Antenne oder die PCB-Antenne in das Layout der Platine für die Schaltung des Gerätes übernommen werden.

Zur Messung der Antennenparameter wird ein Netzwerkanalysator (Vektor Network Analyser, VNA) benötigt. Neben der klassischen Bauart als Labormessgerät werden hierfür im Markt PC-basierte Messgeräte angeboten, welche nicht so kostenintensiv sind.

Zur Messung der Antenneneffektivität kann man auf eine Messkammer verzichten und auf ein deutlich preiswerteres Radiation-Measurement-System ausweichen.

Wem die Messungen zu zeitintensiv sind oder wem die Erfahrung fehlt, kann auf die Dienstleistungen von Partnern der Telefónica zurückgreifen.

# Autor

## Harald Naumann

Harald Naumann ist ein anerkannter IoT /M2M-Experte mit primären Interesse an der Implementierung von Funk-Anwendungen. Sein Fokus sind integrierte Antennen im drahtlosen IoT. Er verfügt über mehr als 30 Jahre Berufserfahrung.

Naumann startete seine berufliche Laufbahn als Funkelektroniker im Sonderprüffeld für Funkgeräte bei Ascom/Pfizer. Er war als Leiter des Kundendienstes für Mobilfunktelefone bei Motorola und als Vertriebsleiter für GSM-Module bei Falcom. Später war Projektleiter und/oder Mitglied in verschiedenen Projektteams für Funkanwendungen in der Telemedizin, GSM-Ortung ohne GPS oder GPS-basierte Ortungsgeräte – was heute unter den Begriffen »M2M« oder »IoT« bekannt. Heute ist er einer der Ideengeber bei den Experten für Antennen von akorIoT [www.akoriot.com](http://www.akoriot.com).

Naumann schreibt Fachaufsätze in verschiedenen Magazinen, veröffentlicht Studien rund um drahtloses IoT, betreibt seit 2009 einen Blog zu den Themen IoT und M2M und hat 2014 das »IoT M2M Cookbook - How to develop a device on wireless modules« geschrieben. In 2021 wurden zwei Studien zu LPWAN und eine weitere mit dem Titel "Low cost do it yourself PCB antennas for wireless IoT" veröffentlicht.

### Kontakt

Sales & Competence Center IoT

E-Mail: [cc.iiot@telefonica.com](mailto:cc.iiot@telefonica.com)

### Herausgeber

Telefónica Deutschland GmbH & Co. OHG  
Georg-Brauchle-Ring 50  
D-80992 München

### Redaktionelle Verantwortlichkeit i. S. v. § 18 Abs. 2 Medien-Staatsvertrag (MStV)

Markus Hetzer, Georg-Brauchle-Ring 50, D-80992 München