



# Application Note

---

## Aufbau, Test und Optimierung einer Funkverbindung

**Autor**

**Andreas Palm**

**dresden elektronik ingenieurtechnik gmbh**

**Juli 2012**



## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	3
Merkmale .....	3
Funktechnologien .....	3
868/915MHz oder 2,4 GHz .....	3
Datenrate .....	4
Fehlerschutz .....	5
Paketstruktur .....	6
Untersuchung der Datenrate beim deRFmega128 – 2,4 GHz .....	7
Umgebung .....	9
Funkreichweite .....	9
Antenne .....	10
Software Performance-Test .....	11
Optimierung .....	12
Fazit .....	14
Glossar .....	15
References .....	16



## Einleitung

Die vorliegende Applikation Note befasst sich überblicksweise mit den grundlegenden Eigenschaften und Merkmalen einer Funkverbindung auf Basis der Funkmodulfamilie deRFmega128 und deRFarm7 von dresden elektronik. Es handelt sich dabei um Low-Power Short-Range-Devices nach Standard IEEE 802.15.4™ [1]. Die Funkmodule eignen sich für batteriebetriebene Anwendungen mit vergleichsweise geringen Datenraten und Funkreichweiten von über 200 m im Freifeld.

## Merkmale

Die Auswahl des passenden Funkmoduls erfolgt in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen und Anwenderspezifikation. Aspekte wie Funkprotokoll, Funkfrequenz(en), Netto-Datenrate, Umgebung und Mindestfunkreichweite spielen eine entscheidende Rolle. Des Weiteren kann eine interne oder externe Antennenlösung bevorzugt werden, je nach Gehäuse und anderen Parametern.

## Funktechnologien

Es gibt eine große Auswahl an anwendbaren Funkprotokollen auf Basis der deRFmega128 und deRFarm7 Funkmodule, z.B.: 802.15.4 MAC, RF4CE, 6LoWPAN, ZigBee. Eine weitergehende Betrachtung verschiedener Funktechnologien ist im White Paper „802.15.4 basierte Funkstandards im Vergleich“ bei [www.dresden-elektronik.de](http://www.dresden-elektronik.de) zu finden.

## 868/915 MHz oder 2,4 GHz

Eine grundlegende Entscheidung ist die Auswahl der Funkfrequenz. Jede hat Vor- und Nachteile, die in Abhängigkeit der Anwendung gegeneinander abgewogen werden müssen.

### Pro 868/915 MHz (Sub-GHz)

- Sub-GHz hat bei gleicher Energiebilanz wie 2,4 GHz eine höhere Reichweite aufgrund der größeren Wellenlänge
- Besonders sinnvoll in Nordamerika, da 10 Kanäle zur Verfügung stehen (902 bis 928 MHz)

### Contra 868/915 MHz (Sub-GHz)

- Regional begrenzter Einsatz (868 MHz in der EU, 915 MHz in den USA und Kanada)
- Geringe Kanalanzahl im EU-Band (1 Kanal) kann schnell zu Kollision mit anderen Teilnehmern führen
- In Abhängigkeit der Frequenz respektive Einsatzgebiet sind meist andere Antennen sowie entsprechende Transceiverkonfigurationen zu verwenden
- Antennen sind im Vergleich zu 2.4 GHz größer
- Chip-Keramik Antennen haben meist schlechte Eigenschaften in Bezug auf Gewinn sowie Abstrahlcharakteristik und benötigen eine große Massefläche als Gegenpotential, sodass sich oft der Vorteil der „höheren“ Reichweite aufhebt



- Datenratenmodus von 20kBit/sec bis 400kBit/sec bei 868MHz und 40kBit/sec bis 1MBit/sec bei 915 MHz

## Pro 2,4 GHz

- Es stehen 16 Kanäle zur Verfügung
- Weltweiter Einsatz möglich
- Bruttodatenraten von 250kBit/sec bis 2MBit/sec erreichbar
- Kleine Antennen sind verwendbar z.B.: Chip-Keramik-Antennen, PCB-Antennen, kurze Stabantennen

## Contra 2,4 GHz

- Andere Funktechnologien nutzen den gleichen Frequenzbereich (WLAN, Bluetooth, DECT, Funkkameras, Funkfernsteuerung, Proprietär, usw...)

## Datenrate

Die benötigte Netto-Datenrate (oder auch Datendurchsatz) richtet sich nach der Funkanwendung, so dass diese auch ein Ausschlusskriterium für die zu verwendende Funktechnologie und Funkfrequenz sein kann. Bevor ein Paket über die Funkschnittstelle versendet werden kann, durchläuft es die Schichten im OSI-Modell, die beim Empfänger wiederum bis zur Anwendung durchlaufen werden müssen. Die Komplexität der Schichten, Prozessorgeschwindigkeit und Speicher entscheidet über die Datenverarbeitungs-geschwindigkeit. Wird anstatt einer einfachen Punkt-zu-Punkt-Verbindung ein Routing-Netzwerk verwendet, so führt in diesem Fall das Finden der Route und das Durchstellen des Datenpakets zu einer weiteren Reduzierung der effektiven Datenrate.

Allgemein wird die Datenrate in Daten pro Zeiteinheit angegeben. Bei der hier betrachteten Funktechnologie IEEE802.15.4 bietet sich die Angabe in kBit/sec an.

### Physikalische Datenrate (Datarate Mode)

Die physikalische Datenrate richtet sich nach der Festlegung der Modulationsart per Registerbefehl im Transceiverschaltkreis und stellt den realen Durchsatz über die „Luft“ dar. Der Transceiver des ATmega128RFA1 unterstützt beispielsweise die Datenraten 250kBit/sec, 500kBit/sec, 1000kBit/sec und 2000kBit/sec.

### Brutto-Datenrate

Die Brutto-Datenrate gibt den gesamten Datendurchsatz des Funksystems an. Die Bruttodaten setzen sich aus Nutzdaten und Paketdaten zusammen. Die Paketdaten werden auch als ‚Header‘ bezeichnet und können wichtige Informationen wie Quelladresse, Zieladresse und Nutzdatengröße enthalten. Der Inhalt und die Größe des Headers ist Abhängig vom verwendeten Funkprotokoll (siehe Abschnitt **Paketstruktur**)



## Netto-Datenrate

Die Netto-Datenrate gibt den Durchsatz der Nutzdaten wieder und ist abhängig von verwendeten Funkprotokoll, Fehlerschutz und Netzwerkstruktur. Der mögliche Nettodurchsatz ist entscheidend für die Performance des Funksystems.

### Allgemeine Merkmale für die Datenrate

- Eine höhere Datenrate führt zu einer geringeren Empfangsempfindlichkeit des Transceivers. Somit steigt zwar der Datendurchsatz, es reduziert sich aber die maximal mögliche Funkreichweite [2], [3].
- bei Verwendung von Fehlerschutzmechanismen sinkt die Datenrate ab, da eine erfolgreiche Übertragung mehr Zeit beansprucht, siehe Abschnitt **Untersuchung der Datenrate beim deRFmega128 – 2,4 GHz**.
- die Fehlerschutzimplementierung innerhalb des MAC-Layers ist deutlich schneller als auf Anwendungsebene.
- die Festlegung der Paketlänge (11 bis 127 Byte pro Paket) wirkt sich ebenso auf die Datenrate aus, siehe Abschnitt **Untersuchung der Datenrate beim deRFmega128 – 2,4 GHz**.
- Bei Nutzung einer Netzwerktopologie mit Routingfunktionalität (Multi-Hops), verringert sich die Datenrate um den Faktor der Hops, d.h. bei 4 Hops beträgt die Datenrate nur noch ein Viertel im Vergleich zu einer Punkt zu Punkt Verbindung. Anders formuliert erhöht sich die Übertragungszeit um das Vierfache.

## Fehlerschutz

Die Funkmodule der deRFmega128 und deRFarm7 Familie sind in der Lage, die Wahrscheinlichkeit einer sicheren Paketübertragung mit Hilfe von folgenden Fehlerschutzmechanismen zu erhöhen. Die genannten Mechanismen sind direkt im Transceiver-Schaltkreis implementiert und per Registerbefehl wahlweise zu- oder abschaltbar.

### ACK

- Bedeutet „Automated Acknowledgement“
- Bei erfolgter Paketübertragung sendet der Empfänger automatisch eine Bestätigung über den Erhalt des Pakets an den Sender zurück → Empfangsbestätigung
- Die Implementierung innerhalb des MAC-Layers erlaubt schnelle Zugriffszeiten, da bei einer möglichen Implementierung auf Anwendungsebene die Ebenen des OSI-Modells zweimal durchlaufen werden müssen
- Vorteil: Sichere Information über Erfolg der Datenübertragung
- Nachteil: Prüfung beansprucht zusätzliche Sende- und Empfangszeit und reduziert die effektive Datenrate



## CSMA/CA

- Auch bekannt als „listen before talk“
- Ist die Abkürzung für „Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance“ und bedeutet „Mehrfachzugriff mit Trägerprüfung und Kollisionsvermeidung“
- Der Sender prüft vor dem Absenden eines Paketes ob der gewählte Funkkanal frei ist und sendet dann nach einer zufällig gewählten Zeitspanne das Paket ab.
- Ist der Kanal nicht frei, wird eine bestimmte Zeit gewartet und dann wieder geprüft.
- Vorteil: Störungsverminderung durch andere Funkteilnehmer im selben Netz
- Nachteil: zusätzliche Wartezeit reduziert die Netto-Datenrate

## Retransmission / Frame Retry

- Wird der Erhalt eines gesendeten Pakets vom Empfänger nicht per ACK bestätigt, so wird das Paket noch einmal versendet.
- Vorteil: Erhöht die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Übertragung
- Nachteil: wiederholtes Senden reduziert die effektive Datenrate und erhöht die Last im Funkkanal

## Paketstruktur

Für viele Anwendungen ist es ausreichend, vorgefertigte Implementierungen zu nutzen. Dies spart Zeit und Geld. Im Allgemeinen wird der Physical Layer (PHY) und Medium Access Control Layer (MAC) als vorgefertigte Bibliothek vom Hersteller des Transceiverschaltkreis zur Verfügung gestellt. Darauf lassen sich kundenspezifische oder auch vorgefertigte Anwendungen aufsetzen. Im folgenden wird sich nur auf PHY und MAC-Schicht bezogen.

## Beispiel

Die Nutzdaten (Payload), z.B. ein Temperaturmesswert, werden von der Anwendung generiert. Vor die Nutzdaten wird ein MAC-Header platziert, der diverse Informationen u.a. über Absender und Empfänger enthält. Die Nutzdaten mit MAC-Header werden als ‚PHY Payload‘ bezeichnet und werden mit einem PHY-Header versehen (siehe **Abbildung 1**), der Informationen über Synchronisation und Paketlänge enthält. Bei aktiviertem CSMA/CA und ACK wechselt der Transceiver zunächst in den Empfangsmodus und lauscht auf dem vorgegebenen Kanal, ob andere Teilnehmer aktiv sind. Nach erfolgter Prüfung wird das Paket abgesendet und auf die Empfangsbestätigung gewartet, bevor das nächste Paket gesendet werden kann.

PHY Protocol Data Unit (PPDU)			
Preamble Sequence	SFD	Frame Length	PHY Payload
5 octets Synchronization Header (SHR)		1 octet (PHR)	max. 127 octets PHY Service Data Unit (PSDU)
MAC Protocol Data Unit (MPDU)			

**Abbildung 1: PHY Frame Format [2]**



## Untersuchung der Datenrate beim deRFmega128 – 2,4 GHz

Dieser Abschnitt verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Brutto/Nettodatenrate, gewählter Fehler-schutzmechanismen und der Nutzdaten anhand zweier deRFmega128 Funkmodule im 2.4GHz Band. Anhand der **Abbildung 3** können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden.

- die Netto-Datenrate sinkt rapide, wenn der komplette Fehlerschutz aktiviert wird
- mit steigender Anzahl der Nutzdaten (hier PSDU) steigt gleichzeitig die Netto-Datenrate, da pro Paket mehr Nutzdaten übertragen werden müssen, wobei die Größe der PHY- und MAC-Header gleichbleibt
- **Tabelle 1** und **Abbildung 2** fassen das Ergebnis der Untersuchung zusammen. Die maximale Netto-Datenrate lässt sich nur durch Abschalten aller Fehlerschutzmechanismen erreichen.
- **Abbildung 3** zeigt den Verlauf der Netto-Datenrate beim Zu- und Abschalten der verschiedenen Fehlerschutzmechanismen. Die physikalische Datenrate wurde dabei fest auf 250kBit/sec eingestellt.

**Tabelle 1: Ergebnis der Messung der Datenraten vom deRFmega128**

Brutto-Datenrate [kBit/sec]	Payload [Byte]	ACK	CSMA/CA	Frame Retry	Maximale Netto-Datenrate [kBit/sec]
250	127	OFF	OFF	OFF	235
500	127	OFF	OFF	OFF	440
1000	127	OFF	OFF	OFF	790
2000	127	OFF	OFF	OFF	1300

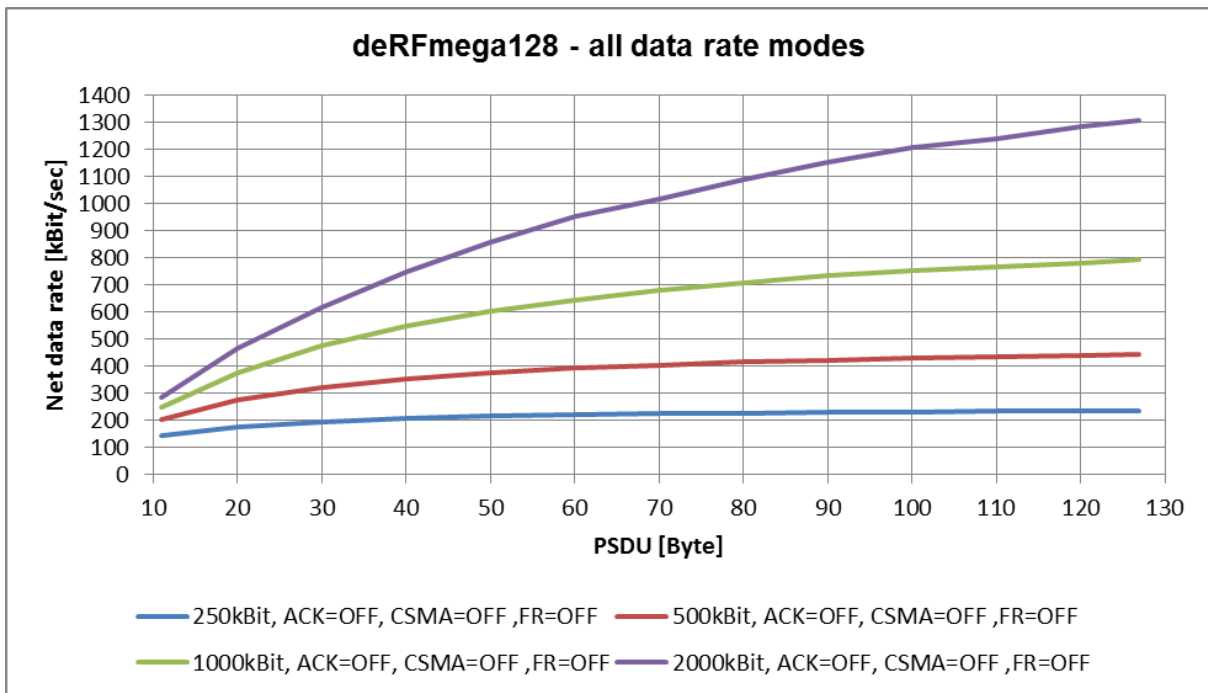


Abbildung 2: Ergebnis Brutto-Datenrate vs. Netto-Datenrate beim deRFmega128

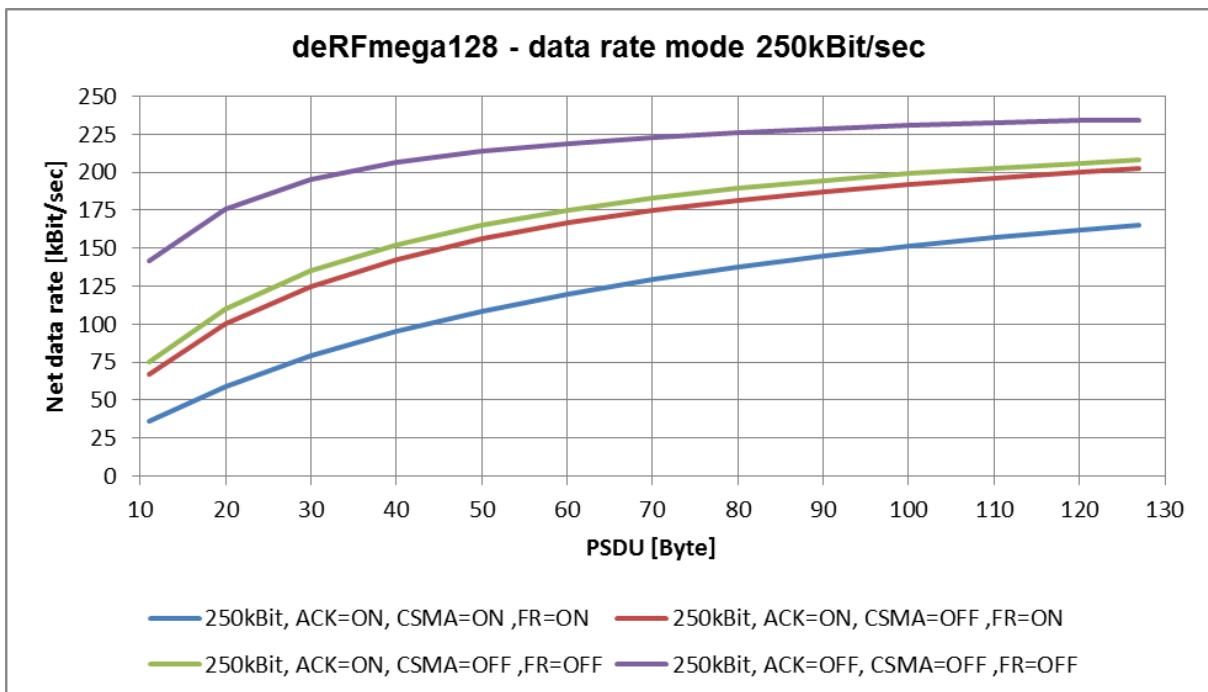


Abbildung 3: Verlauf der Netto-Datenrate beim deRFmega128





## Umgebung

Die Einsatzumgebung hat einen entscheidenden Einfluss auf die Performance des Funksystems. Gebäude, Maschinen, Bäume, usw. wirken sich auf die Sende- und Empfangseigenschaften aus. Es kann zu Mehrwegeausbreitung, Verstärkung oder Auslöschung des Signals kommen. Dementsprechend ist es meist schwer voraussagbar, wie die Funkqualität in der späteren Einsatzumgebung ist. Funkmodule die im Freifeld Reichweiten von 200 bis 300 Meter schaffen, könnten im Gebäude je nach Bauart nur bis zu 50 Meter erreichen. Vor einem großflächigen Einsatz sind daher Feldtests von großem Vorteil.

## Funkreichweite

Die Funkreichweite ist abhängig vom Einbauort und Umgebungsbedingung des Funkmoduls, Material des umgebenden Gehäuses, Funkfrequenz, Sendeleistung, Datenrate und Antenne. Die Variation der einzelnen Parameter kann zu einer Verbesserung der Funkqualität führen.

In den meisten Anwendungsfällen ist eine Erhöhung der Funkreichweite wünschenswert, um eine größtmögliche Netzabdeckung zu erreichen. Es gibt aber auch Fälle, in denen eine Verringerung der Funkreichweite angestrebt wird, beispielsweise, wenn sich benachbarte Funkknoten nicht stören sollen.

- Umgebungsbedingungen:
  - Freiluft ist optimal, da hier störende Einflüsse am geringsten sind
  - Gebäude ist abhängig von der Bauart und dem verwendeten Material. Gasbeton und Trockenbau dämpfen das Signal nicht so stark wie Stahlbeton
- Gehäuse: ein Kunststoffgehäuse dämpft das Signal und kann je nach Abstand zum Funkmodul die Funkfrequenz leicht zu niederen Frequenzen verschieben. Ein Metallgehäuse reflektiert die Funkwellen, sodass nur ein Funkmodul mit Anschluss einer externen Antenne verwendet werden kann.
- Funkfrequenz: Sub-GHz hat aufgrund der größeren Wellenlänge eine höhere Gebäudedurchdringung
- Sendeleistung: die vierfache Sendeleistung führt zur Verdopplung der Reichweite, allerdings auch zum leicht erhöhten Stromverbrauch
- Datenrate: die Erhöhung der Datenrate führt zur Verringerung der Empfangsempfindlichkeit und somit zu einem kleineren Link-Budget

## Link-Budget

- Ist eine logarithmische Größenangabe in dB und stellt den Kanalgewinn dar
- Berechnet sich:  
$$\text{Link-Budget [dB]} = \text{Sendeleistung TX [dBm]} + \text{Antennengewinn TX [dB]} + \text{Antennengewinn RX [dB]} - \text{Empfangsempfindlichkeit RX [dBm]} - \text{sonstige Verluste [dB]}$$
- Sonstige Verluste sind Dämpfungen durch Kabel, Filter, Impedanzfehler



## Antenne

Die Funkmodule der deRFmega128 und deRFarm7 Familie besitzen integrierte Chip-Keramik Antennen sowie die Möglichkeit zum Anschluss einer externen Antenne. Die Marktauswahl verfügbarer externer Antennen ist sehr groß und richtet sich nach verschiedenen Merkmalen:

- Arbeitsfrequenzbereich: Breitbandantenne oder Schmalbandantenne
- Antennengewinn: ein höherer Antennengewinn vergrößert den Link-Budget
- Abstrahlcharakteristik: ist abhängig vom Einbauort, wobei für die meisten Anwendungen eine Rundstrahlcharakteristik (Omnidirektional) gewünscht und ausreichend ist. Die meisten Stabantennen sind Rundstrahlantennen mit einem Gewinn von 0dB. Es gibt auch die Möglichkeit Richtantennen mit einem Antennengewinn von 3dB bis 6dB einzusetzen, wobei eine feste Ausrichtung zwischen Sender und Empfänger notwendig ist, um den Vorteil des höheren Antennengewinns zu nutzen.
- Bauart:  $\lambda/2$ -Antennen (Dipolantenne) sind meist größer  $\lambda/4$ -Antennen
- Groundplane: sind z.B. Metallgehäuse, Maschine, PC/Laptop, sonstige elektronische Baugruppe und können das Abstrahlverhalten einer  $\lambda/4$ -Antenne um einige dB verbessern
- Antennenanschluss: marktübliche Antennenanschlüsse sind vor allem im 2,4GHz Bereich SMA und RP-SMA (Reverse Polarized). Weiterhin finden U.FL Verbinder immer größere Verbreitung.
- Einbauort: es gibt Innen- und Außenantennen. Letztere sind Witterungsbeständig.
- Ausrichtung (Polarisation) der Antennen zueinander

Die eingesetzte Antenne darf keinen höheren Antennengewinn haben, als die vom Hersteller empfohlene(n) Antenne(n), da sonst die Zulassung entfallen kann.

## Polarisation

- Beschreibt in diesem Fall die Ausrichtung der Antennen zueinander
- Beispiel: es werden mehrere 2.4 GHz Stabantennen verwendet. Optimalerweise sollten alle gleich ausgerichtet werden, um optimale Sende- und Empfangseigenschaften zu gewährleisten, in diesem Fall senkrecht zum Erdboden (vertikal).
- Je nach Anwendungen kann auch die horizontale Ausrichtung bessere Ergebnisse liefern
- In geschlossenen Räumen oder Gebäuden kommt es zu Reflexion und Mehrwegeausbreitung der Funkwellen, sodass die Polarisation der Antenne hier einen geringeren Einfluss hat. Diese Effekte können z.B. zu einer lokalen Auslöschung des Funksignals führen („Funkschatten“). Wird der Sender oder Empfänger um einige Zentimeter anders platziert kann die Auslöschung wiederum verschwunden sein.



## Software Performance-Test

Für alle deRFmega128 und deRFarm7 Funkmodule steht eine passende Testfirmware zur Verfügung, die auf der MAC-Ebene läuft. Mit Hilfe des „Performance Test“ lassen sich verschiedene Tests bei einer Punkt-zu-Punkt Verbindung zweier Funkmodule ausführen:

- Messung der Nettodaten- und Paketfehlerrate
- Messung der Empfangsleistung (RSSI) aller Kanäle

Dem Nutzer stehen dabei folgende Konfigurationsmöglichkeiten offen:

- Kanal (0, 1 bis 10, 11 bis 26)
- Sendeleistung (-17 bis +3, -11 bis + 10 dBm)
- Datenrate (20, 40, 100, 200, 500, 1000, 2000 kBit/sec)
- Paketlänge (1 bis 127 Byte)
- Paketanzahl (1 bis ...)
- Fehlerschutz (ACK, CSMA/CA, Frame Retry)

Mit Hilfe der Messung der Paketfehlerrate lässt sich die maximale Reichweite in der Testumgebung ermitteln. Allgemein wird eine maximal erlaubte Paketfehlerrate von 1% angenommen, d.h. bei 1000 gesendeten Paketen dürfen maximal 10 fehlerhaft sein. Je mehr Pakete beim Test übertragen werden, desto genauer wird das Ergebnis. Allerdings sollte die Funkreichweite nie so ausgelegt werden, dass sich der Transceiver am Limit der Empfangsempfindlichkeit bewegt, d.h. die Paketfehlerrate knapp 1% beträgt. Da sich Umgebungsbedingungen auch (dynamisch) ändern können, sollte immer ein ausreichend großer Link-Budget von ca. 6dB vorhanden sein. Somit steht prinzipiell noch die doppelte Funkreichweite als Reserve zur Verfügung.

Eine andere Variante ist die Messung der Empfangsleistung (RSSI). Dabei wird das Sendemodul in den TX-CW-Modus gebracht, d.h. ein kontinuierliches Trägersignal wird abgestrahlt. Der minimale RSSI Level liegt beispielsweise beim ATmega128RFA1 bei -91dBm. Es findet dabei keine Prüfung des empfangenen Signals statt, sodass andere Funktechnologien im Messkanal das Ergebnis beeinflussen können.

### RSSI

- Bedeutet „Received Signal Strength Indicator“ und ist ein Wert für die Empfangssignalstärke
- Bei Atmel-Transceivern: 5 Bit Wert im Bereich von 0 bis 28 mit einer Schrittweite 3dB
- Ermittlung des RSSI Level beim ATmega128RFA1:

$$P [\text{dBm}] = -91\text{dBm} + 3 \times (\text{RSSI} - 1)$$

mit  $1 \leq \text{RSSI} \leq 28$

RSSI = 0 bei  $P < -91\text{dBm}$

## Optimierung

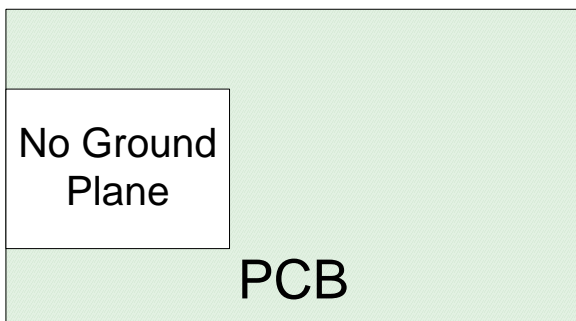
Bei Verwendung der dresden elektronik Funkmodule deRFmega128 und deRFarm7 können unter anderem folgende Punkte zur Verbesserung der Funkeigenschaften führen.

### Platzierung des Funkmoduls auf elektronischer Baugruppe

- Das Funkmodul mit integrierter Chip-Keramik-Antenne sollte immer seitlich auf der Basisplatte platziert werden, wobei die Antenne zum Rand zeigen muss



- Unter dem Funkmodul darf sich keine Massefläche befinden



### Polarisation der Antenne

- Die externen Antennen sollten möglichst gleich zueinander ausgerichtet sein



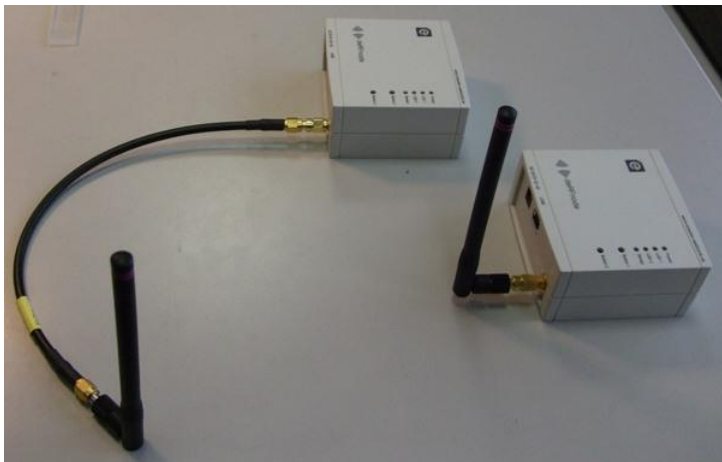


## Antennengewinn und Richtwirkung

- Einsatz einer anderen externen Antenne mit höherem Antennengewinn
- Wert ist im entsprechendem Antennendatenblatt vermerkt
- Gewöhnliche Stabantennen mit Rundstrahlcharakteristik haben meist 0dB Gewinn, wohingegen Richtantennen 3dB bis 6dB Gewinn aufweisen können
- Beispiel: erhöht sich der Antennengewinn des Senders und Empfängers um 3dB, so erhält man 6dB mehr Link-Budget und damit die doppelte Reichweite

## HF-Kabel

- Durch Absetzen der Antenne mit geeignetem HF-Koaxialkabel können beeinträchtigende Hindernisse überwunden werden
- Zu beachten ist die entstehende Kabel- und Steckerdämpfung, die den Link-Budget verkleinert
- Die Kabeldämpfung wird in dB/Meter angegeben und ist frequenzabhängig



## Neupositionierung

- Durch Messung der Empfangsleistung (RSSI) und/oder Paketfehlerrate zwischen Sender und Empfänger kann eine Einschätzung über die Qualität der Funkverbindung gemacht werden
- Daraus kann eine Neupositionierung der Funkmodule resultieren
- Position erhöhen, d.h. anstatt in Bodennähe besser um 2 Meter höher

## Sendeleistung

- Erhöhung der Sendeleistung, wobei landestypische Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen
- Beispiel: wird die Sendeleistung von allen Funkteilnehmern um 3dB erhöht, so ergibt sich eine 1,5fache Reichweitenverbesserung



---

## Fazit

Die Anzahl an Einflussfaktoren für die Qualität einer Funkverbindung ist sehr groß und unterschiedlich. In der Praxis müssen daher Kompromisse zwischen Frequenzbereich, Funkreichweite, Datenrate, Stromverbrauch und Kosten eingegangen werden.

Im Allgemeinen liegt der Fokus auf batteriebetriebenen Anwendungen im 2,4GHz Frequenzbereich, wobei eine Datenrate von 250 kBit/sec genügt sowie eine Funkreichweite von 50 Metern ausreichend ist. Die integrierte Antennenlösung ist dabei als kostengünstigste Variante zu empfehlen, die den Reichweitenanforderungen auch genügt.



## Glossar

Begriff	Beschreibung
802.15.4	IEEE 802.15.4-Standard, angewendet für Nahbereichs-Datenfunk (WPAN)
CE	Verbindlich vorgeschriebene Konformitäts-Kennzeichnung für Produkte im europäischen Wirtschaftsraum. Mit der CE-Kennzeichnung auf einem Produkt bestätigt der Hersteller, dass das Produkt den produktspezifisch geltenden europäischen Richtlinien entspricht.
<a href="#">CFR</a>	<a href="#">Code of Federal Regulations</a>
CSMA/CA	Carrier sense multiple access/Collision avoidance
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications; ein Standard für Schnurlostelefone sowie für kabellose Datenübertragung.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
ISM	Industrial, scientific and medical ( <a href="#">Frequenzbänder</a> )
MAC	Medium access control ... Schicht, Adresse etc.
OSI	Open Systems Interconnection (OSI) Modell, Schichtenmodell als Designgrundlage von Kommunikationsprotokollen in Rechnernetzwerken.
PHY	OSI-Modell Schicht 1: Die Bitübertragungsschicht definiert elektrische und physikalische Geräte-Spezifikationen. Sie definiert den Zusammenhang zwischen Gerät und Übertragungsmedium sowie Aufbau aller Hardware-Komponenten.
PSDU	PHY service data unit
RSSI	Received signal strength indicator
<a href="#">RX</a>	<a href="#">Receiver</a> (Empfänger)
<a href="#">TX</a>	<a href="#">Transmitter</a> (Sender)
WPAN	Wireless personal area network (Nahbereichs-Datenfunk)
ZigBee	Low-cost, low-power Funknetz-Standard. Die ZigBee Alliance ist ein Zusammenschluss von Unternehmen, die die weltweite Entwicklung dieser Technologie vorantreiben.



---

## Referenzen

- [1] IEEE Std 802.15.4™-2006: Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY), Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)
  
- [2] Datasheet AT86RF231,  
[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8111.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8111.pdf),  
Atmel Corporation 2009
  
- [3] Datasheet AT86RF212,  
[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8168.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8168.pdf),  
Atmel Corporation 2010





dresden elektronik ingenieurtechnik gmbh  
Enno-Heidebroek-Straße 12  
01237 Dresden  
GERMANY

Tel. +49 351 - 31850 0  
Fax +49 351 - 31850 10  
www.dresden-elektronik.de  
E-Mail wireless@dresden-elektronik.de

### Markenzeichen

- 802.15.4™ ist ein Markenzeichen des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- ZigBee® ist ein eingetragenes Markenzeichen der ZigBee Allianz.

Alle Markenzeichen sind durch ihre jeweiligen Eigentümer nur in bestimmten Ländern eingetragen. Andere Marken und ihre Produkte sind Markenzeichen oder sind eingetragene Markenzeichen ihrer jeweiligen Eigentümer und sollten als solche beachtet werden.

### Haftungsausschluss

Inhalt und Gestaltung dieser Benutzeranleitung sind urheberrechtlich geschützt. Die Vervielfältigung, Verbreitung und Speicherung der enthaltenen Texte, Bilder und Daten bedürfen der vorherigen schriftlichen Zustimmung von dresden elektronik ingenieurtechnik GmbH.

Die auf diesen Seiten zur Verfügung gestellten Informationen wurden unter Beachtung größter Sorgfalt erarbeitet und ergänzt. Dennoch kann keine Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit der angegebenen Daten übernommen werden, da zwischenzeitlich eingetretene Änderungen nicht gänzlich auszuschließen sind. Die Informationen ersetzen nicht die individuelle Beratung (verbindliche Angaben zu allen Details über unseren Vertrieb).

Copyright © 2012 dresden elektronik ingenieurtechnik gmbh. Alle Rechte vorbehalten.