

# Projektbericht emv

Abstrahlcharakteristik von PCB Antennen

EMV FS20 - ANKLIN, HORATH  
10. Juni 2020

**Team:**

Raffael Anklin  
Cyrill Horath

**Dozent:**

Pascal Schleuniger

**Studiengang:**

Elektro- und Informationstechnik

**Semester:**

Frühlingssemester 2020

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Ausgangslage und Ziele</b>	<b>1</b>
<b>2 Funktionsbeschrieb</b>	<b>2</b>
2.1 Hardware . . . . .	2
2.2 Firmware . . . . .	3
<b>3 Messungen</b>	<b>4</b>
3.1 Verfahren . . . . .	4
3.2 Aufbau . . . . .	5
3.3 Messerwartung . . . . .	6
3.4 Ablauf . . . . .	6
3.5 Resultate . . . . .	6
<b>4 Auswertung und Fazit</b>	<b>9</b>
<b>Literatur</b>	<b>10</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>11</b>

## 1 Ausgangslage und Ziele

Im Rahmen des Moduls emv (Elektromagnetische Verträglichkeit) soll eine Messaufgabe mit emv-Thematik durchgeführt werden. Die in unserer Bachelorthesis verwendete Hardware soll dabei als Messobjekt dienen. Es handelt sich dabei um zwei Arten von Development Kits (DK) für das System-on-Chip nRF52840 von Nordic Semiconductors. Dieses verwenden wir im Rahmen der Thesis für einen Performance Vergleich der drei gängigsten Low Power Mesh Netzwerken Bluetooth Mesh, Thread und Zigbee. Alle drei Protokolle arbeiten unter anderem auf dem 2.4 GHz ISM Band welches im Fokus unserer Betrachtungen steht. Die beiden DK's beinhalten nebst anderer Peripherie eine PCB-Antenne die jeweils unterschiedlich ausgeführt ist. Auf die Ausführung der Antennen wird im Abschnitt 2.1 genauer eingegangen. Ziel der vorliegenden Messungen ist es, die PCB-Antennen der beiden DK auszumessen und damit deren Abstrahlcharakteristik kennen zu lernen und zu dokumentieren. Daraus können dann wiederum Vor- und Nachteile der verschiedenen Antennenformen ersichtlich gemacht werden. Außerdem ist eine bekannte Abstrahlcharakteristik hilfreich bei der Optimierung von Netzwerken.

## 2 Funktionsbeschrieb

Der folgende Abschnitt soll einen Überblick über die in der Thesis und in den Messungen verwendete Hardware sowie über die in den Messungen verwendete Firmware geben.

### 2.1 Hardware

#### nRF52840

Der nRF52840 ist ein System-on-Chip (SoC) vom Hersteller Nordic Semiconductor der um eine 32-Bit Cortex M4 CPU aufgebaut ist und mit 1MB Flash sowie 256KB RAM ausgestattet wurde. Der SoC unterstützt die drahtlosen Übertragungsprotokolle Bluetooth 5, Bluetooth Mesh, Thread, Zigbee sowie weitere proprietäre Protokolle. Er ist also bereits ausgestattet mit einem 2.4 GHz Transceiver. Weitere Peripherien via UART, SPI, I2S wie auch NFC werden von diesem SoC ebenso unterstützt. [1]

#### nRF52840-DK PCA10056

Das nRF52840-DK PCA10056 (siehe Abbildung 2.1) ist das offizielle Hardware Development Kit für den nRF52840 SoC welches von Nordic Semiconductor speziell für die Entwicklung von Bluetooth, Thread und Zigbee Produkten angeboten wird. Es beinhaltet nebst dem SoC diverse Peripheriebausteine wie Buttons, LEDs und Pins sowie einen Segger J-Link Programmer und Debugger. Ausserdem ist auf dem DK eine PCB Antenne umgesetzt in Form einer Inverted-F Antenna (IFA) die ganz rechts in Abbildung 2.2 ersichtlich ist. [2]

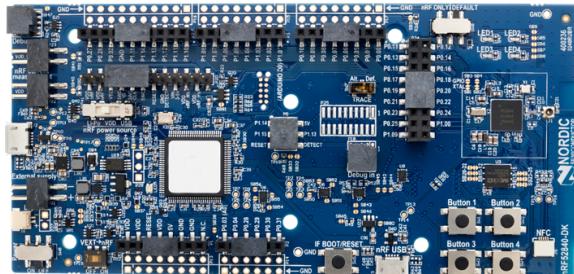


Abbildung 2.1: PCA10056 [2]

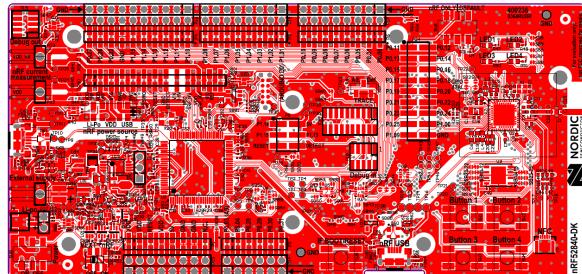


Abbildung 2.2: PCA10056 Copperplane [3]

#### nRF52840-Dongle PCA10059

Der nRF52840-Dongle PCA10059 (siehe Abbildung 2.3) ist die reduzierte Variante des Development Kit von Nordic Semiconductor. Nebst dem SoC ist nur die absolut nötigste Peripherie verbaut wozu beispielsweise ein Button sowie ein RGB-LED gehören. Der Dongle ist als USB Gerät Typ A entworfen wodurch die Handhabung sehr komfortabel wird. Aufgrund der engen Platzverhältnisse ist für die 2.4 GHz Kommunikation auf dem Board eine Meandered Inverted-F Antenna (MIFA) umgesetzt welche in der Abbildung 2.4 unter dem Nordic Semiconductor Schriftzug sichtbar ist. [4]



Abbildung 2.3: PCA10059 [4]

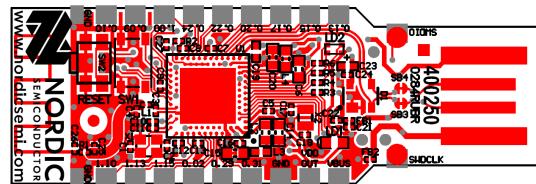


Abbildung 2.4: PCA10059 Copperplane [5]

#### Speisung

Die Speisung der beiden Messobjekte ist mit einem Batteriepaket umgesetzt damit die Geräte

möglich autonom funktionieren können. Das Batteriepaket besteht aus zwei in Serie geschaltete Mignonzellen vom Typ AA. Zusammen stellen Sie die Speisespannung von 3V zur Verfügung.

## 2.2 Firmware

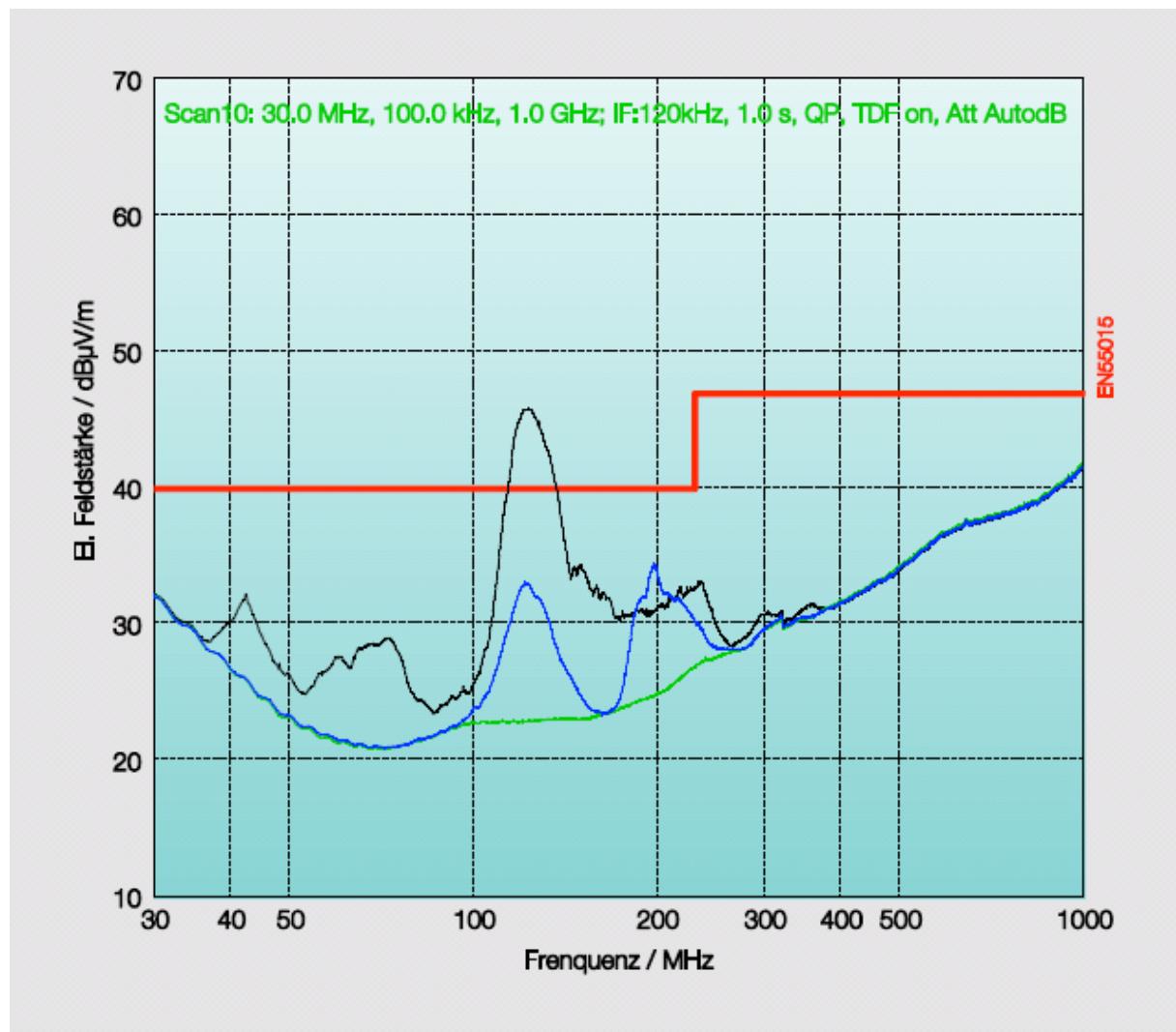
Basierend auf Beispielen aus dem nRF5 SDK for Mesh wird für die Messungen eine Firmware verwendet die ununterbrochen Bluetooth Beacons aussendet. Dadurch kann eine kontinuierliche Messung durchgeführt werden. Da die Abstrahlcharakteristik der Antennen lediglich von der Frequenz, unabhängig jedoch vom verwendeten Protokoll ist, wird nur diese eine Firmware getestet. Auch bei der Sendeleistung wird der Standardwert der SDK verwendet da es primär um den relativen Vergleich der Antennen geht und nicht um die Bestimmung der effektiven Sendeleistung. Der Vergleich der Abstrahlcharakteristiken sollte unabhängig von der Sendeleistung sein. Die Beacons werden in einem Intervall von rund  $500\mu\text{s}$  versendet und sind jeweils 36 Bytes gross. Als Modulationsart wird GMSK mit 1MBit/s Übertragungsrate eingesetzt. Die Bandbreite des Signals beträgt dabei 2MHz.

### 3 Messungen

Im folgenden Abschnitt wird auf die Messung der im vorhergehenden Kapitel beschrieben Hardware eingegangen. Zuerst wird das Messverfahren erläutert. Anschliessend der Aufbau der Messungen beschrieben und schliesslich die Messerwartungen und Resultate aufgeführt.

#### 3.1 Verfahren

Um die Abstrahlcharakteristik der Antennen zu bestimmen wird die abgestrahlte Emission in Abhängigkeit des Winkels gemessen. Dazu muss der zu prüfenden Gegenstand um  $180^\circ$  gedreht und um  $90^\circ$  vor und zurück gekippt werden können. Dieses Verfahren wird in der EMV Prüftechnik normalerweise dazu eingesetzt, um zu überprüfen ob die Emissions-Grenzwerte eingehalten werden. Die Norm IEC 61000-6-3/4 regelt die Vorschriften für neu entwickelte Geräte im Wohn- und Gewerbebereich respektive im Industriebereich. Als Beispiel dafür zeigt Abbildung 3.1 eine Emissionskurve einer LED. Der Grenzwert stellt die Norm EN55015 dar und ist als rote Linie eingezeichnet. [6]



**Abbildung 3.1:** Beispiel Emissionskurve LED im Test mit Grenzwert (rote Linie) gemäss EN55015 [7]

Das Ziel dieser Arbeit besteht jedoch nicht im Nachweisen der Einhaltung bestimmter Normen, vielmehr soll die Messung dem Erfassen der Abstrahlcharakteristik im dreidimensionalen Raum dienen. Der Messaufbau um diese Daten zu erhalten wird im folgendem Abschnitt genauer erläutert.

### 3.2 Aufbau

Der Messungen wurden in einem geerdetem und abgeschirmten Prüfcontainer (EMV-Messhalle) durchgeführt um die Störeinflüsse aus der Umgebung so klein wie möglich zu halten. Die wichtigsten Bestandteile des Messaufbaus sind:

- **Messvorrichtung** dient dazu das Messobjekt zu justieren und somit die unterschiedlichen Messwinkel anzufahren.
- **Empfangsantenne** welche gegenüber des Messobjekts montiert ist, detektiert die Emission.
- **Spektrum Analyzer** an welchem die Empfangsantenne angeschlossen ist, erfasst den Pegel der empfangenen Signale.
- **Messcomputer** steuert die Messungen sowie die Positionierung der Messvorrichtung und speichert die Messdaten ab.

Die Messvorrichtung wird in Abbildung 3.2 gezeigt. Das Messobjekt, in diesem Fall das nRF52840-DK PCA10056, wird auf der Messplatte eingespannt. Diese ist über zwei Achsen gelagert und verstellbar. Um störende Reflexionen durch die Messvorrichtung zu verhindern, wurde ein Pappbecher als Abstandshalter zwischen Messplatte und Messobjekt verwendet. Der Messcomputer steuert die Servomotoren an, welche für die Ausrichtung des Messobjekts zuständig sind.

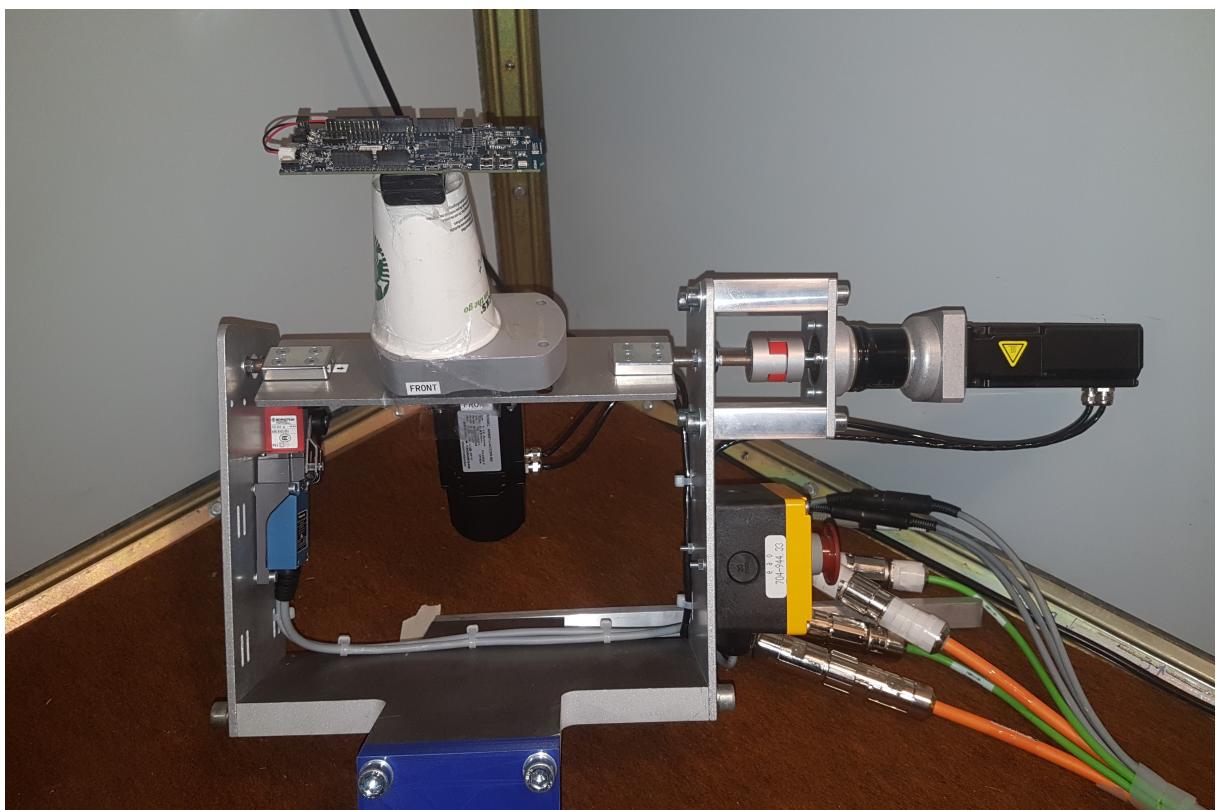
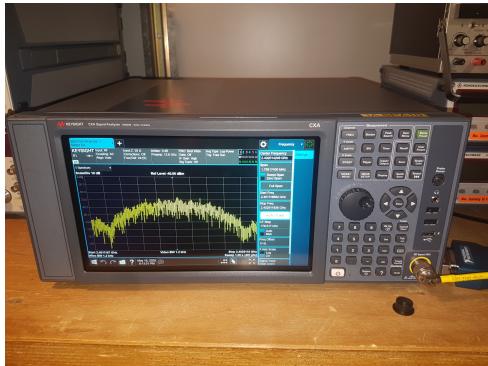
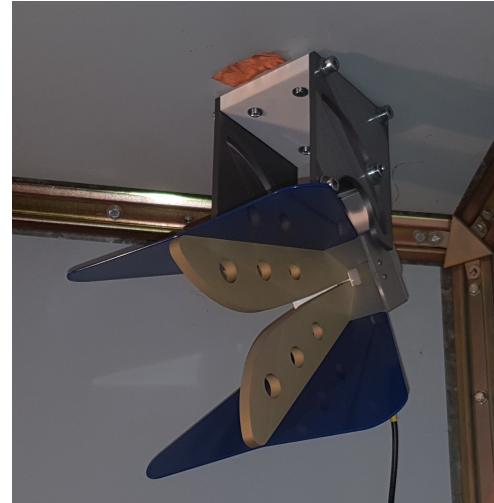


Abbildung 3.2: Eingespannetes Messobjekt in Messvorrichtung

Die Empfangsantenne ist eine Vivaldi Antenne vom Typ PowerLOG 70180 (siehe Abbildung 3.4). Diese weist ein sehr breitbandiges Empfangsspektrum auf und ist daher ideal um alle möglichen Spektren auszumessen. [8] [9]



**Abbildung 3.3:** Oszilloskop an Antenne angeschlossen



**Abbildung 3.4:** Vivaldi Antenne PowerLOG 70180 zur Messung [9]

Die Empfangsantenne ist an ein Oszilloskop (siehe Abbildung 3.3) angeschlossen. Es dient als Empfänger welcher die Daten aufbereitet und an den Messcomputer weiterleitet. Der Computer koordiniert die Messung und Speichert die Daten ab. Zur Auswertung wird der maximal empfangene Pegel und der durchschnittliche Pegel in ein Excelfile geschrieben. Mithilfe eines Matlab-Skripts werden die Daten zur Visualisierung gebracht.

### 3.3 Messerwartung

In vorhergehenden Feldversuchen hat sich gezeigt, dass das Board PCA10056 eine grössere Reichweite gegenüber dem PCB PCA10059 aufweist. Daher wird auf dem PCA10056 eine stärkere Abstrahlung gegenüber dem kleineren Board erwartet. Bei beiden Messobjekten wird eine gewisse Abhängigkeit bezüglich der Antennenausrichtung erwartet.

### 3.4 Ablauf

Die Messungen wurden dreimal durchgeführt. Zuerst wurde nur das Grundrauschen gemessen um als Referenzpegel zu dienen. Anschliessend wurden die Sender eingeschaltet und nacheinander in der Messvorrichtung eingespannt. Die Messung erfolgte in 6° Grad Schritten und dauerte damit ungefähr 45 Minuten.

### 3.5 Resultate

In Abbildung 3.5 und Abbildung 3.7 ist die Abstrahlcharakteristik über eine Halbkugel verteilt dargestellt. Die Bilder zeigen die Abweichung gegenüber dem Grundrauschen in Leistungs-dB. Dazu wurden die Spitzenwerte des Senders gegenüber dem durchschnittlichen Grundrauschpegel ausgewertet. Die Leiterplatten wurden ungefähr gemäss Abbildung 3.6 und Abbildung 3.8 orientiert dazu eingespannt.

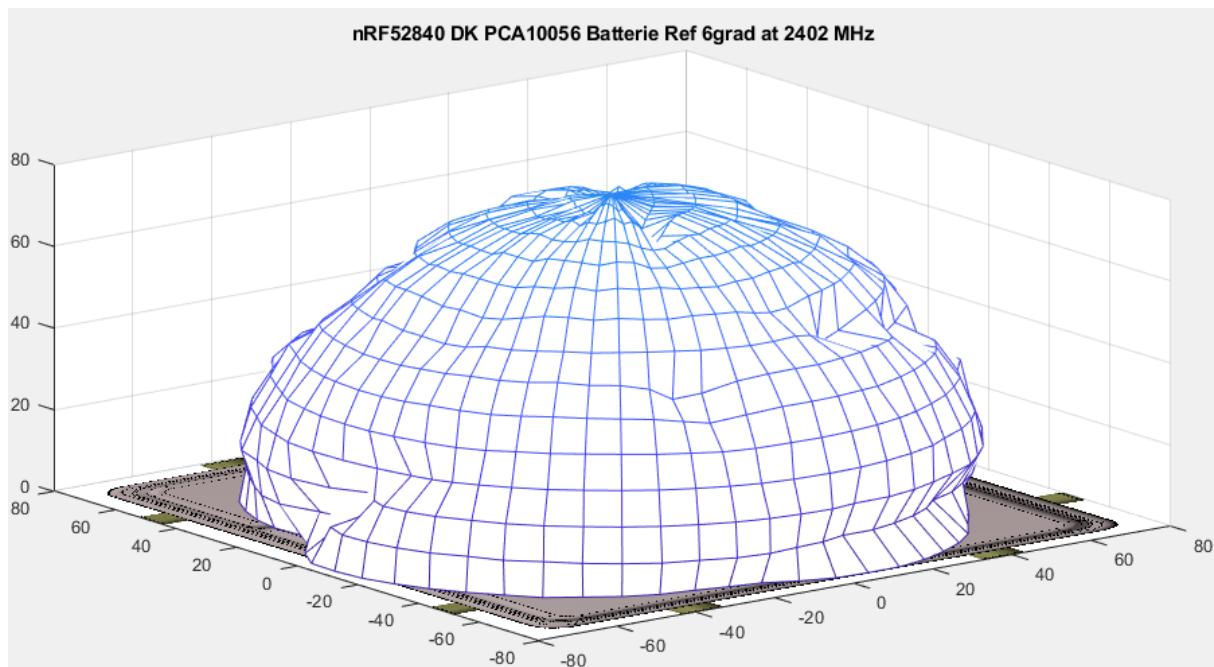


Abbildung 3.5: Abstrahlungscharakteristik der IFA Antenne auf dem Board PCA10056

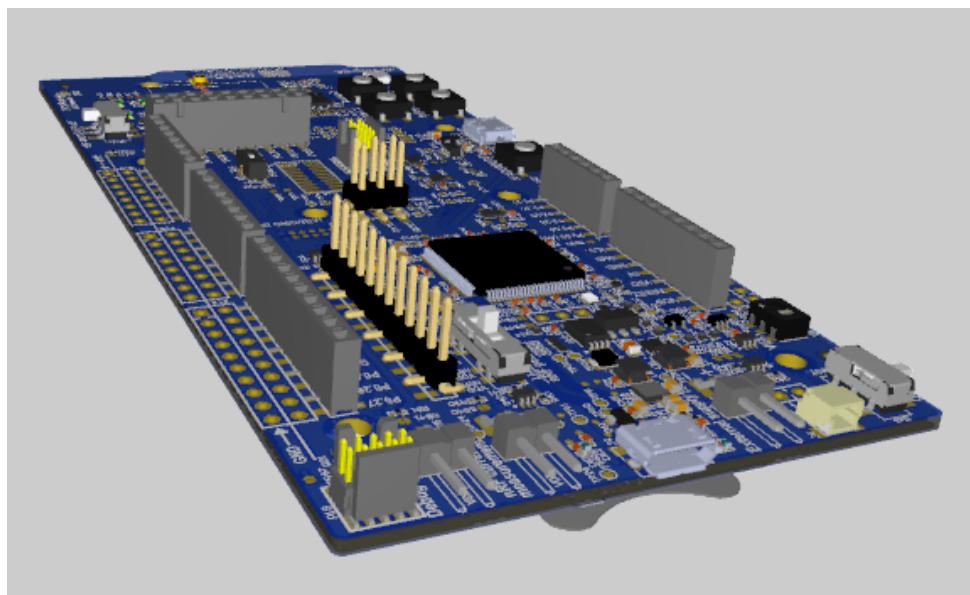


Abbildung 3.6: Ausrichtung PCA10056

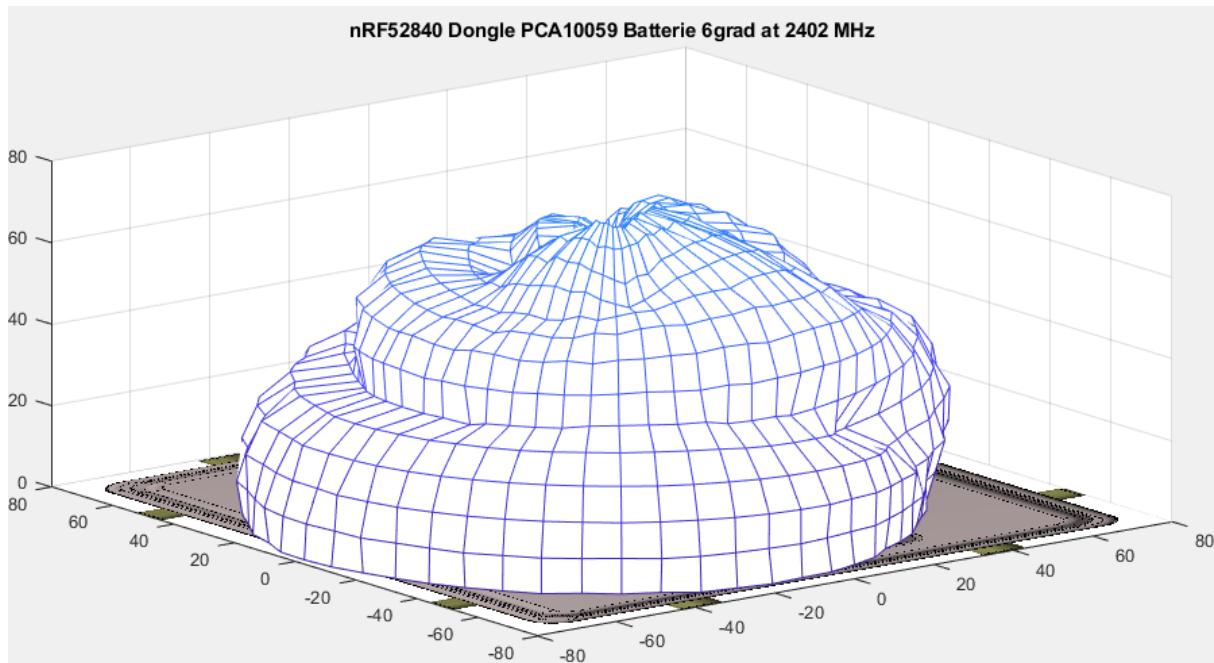


Abbildung 3.7: Abstrahlungscharakteristik der MIFA Antenne auf dem Board PCA10059

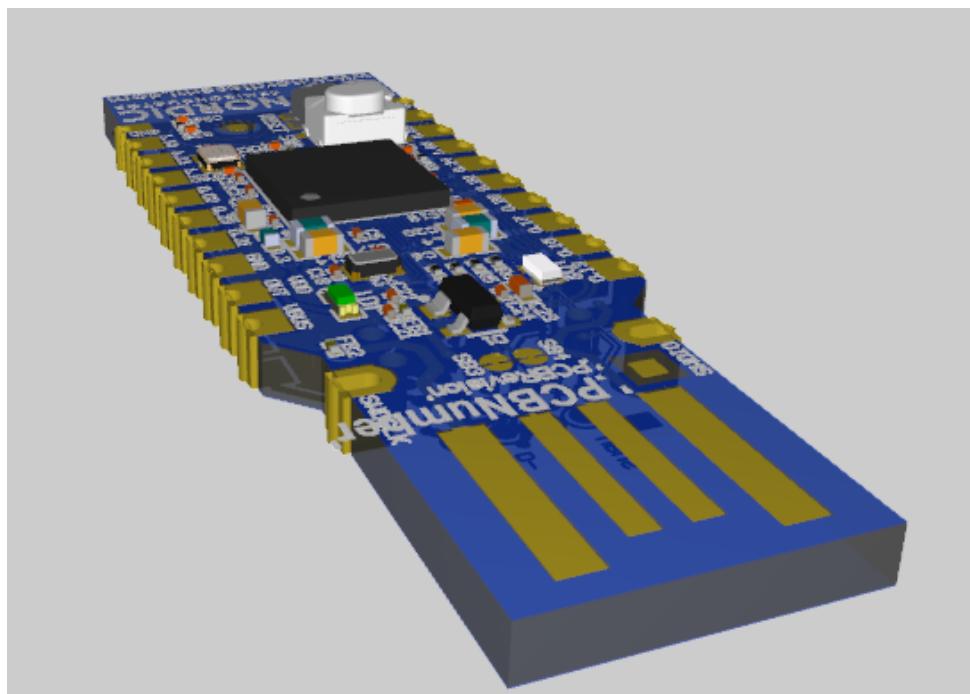
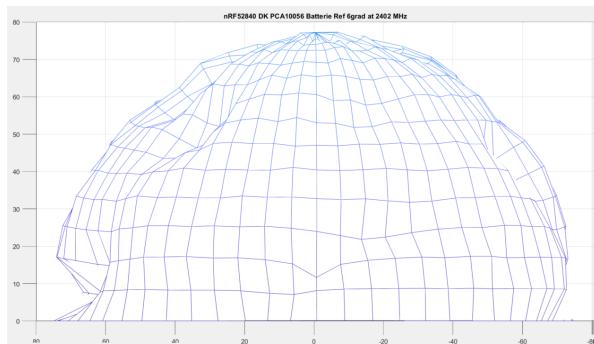


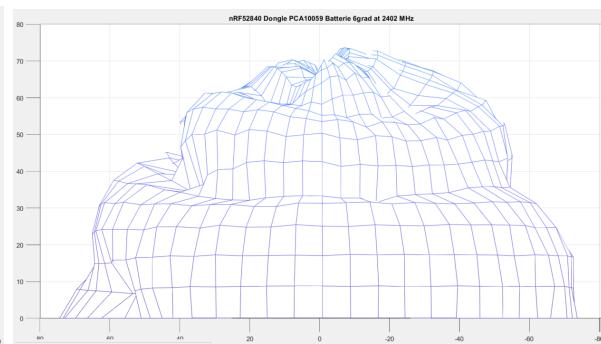
Abbildung 3.8: Ausrichtung PCA10059

## 4 Auswertung und Fazit

Die in den Abbildungen im Abschnitt 3.5 dargestellten Abstrahlcharakteristiken der Antennen weisen eine erstaunlich gleichmässige Verteilung auf. Besonders die IFA-Antenne des PCA10056 erzeugt eine nahezu ideale Abstrahlung (3.5) über die gesamte Halbkugelfläche. An einzelnen Punkten weisst das 3D-Modell kleinere Einbuchtungen auf welche jedoch auf die Sende- und Empfangsqualität keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss haben sollten. Im Gegensatz dazu weisst die MIFA-Antenne des PCA10059 wesentlich grössere Schwachstellen auf. In der Abbildung 3.7 sind diese klar ersichtlich in Form von Dellen in der halbkugelförmigen Abstrahlung. Diese Schwachstellen wirken sich in der Art und Weise auf die Sende- und Empfangsqualität aus, dass die Ausrichtung des Boards und somit der Antenne eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt. Im Idealfall ist demzufolge die Antenne Frontal auszurichten. Das heisst dass der Empfänger im rechten Winkel zur Oberfläche des PCA10059 steht. Allerdings sind auch in dieser Richtung Schwachstellen in der Charakteristik auszumachen welche beim PCA10056 so nicht vorhanden sind.



**Abbildung 4.1:** Abstrahlung in Z-Richtung  
PCA10056



**Abbildung 4.2:** Abstrahlung in Z-Richtung  
PCA10059

Wie bereits im Abschnitt 3.5 beschrieben, sind die Achsen der Grafiken in dBm dargestellt. Ausserdem handelt es sich bei der Darstellung um die Differenz der Spitzenleistungen und des Grundrauschen und nicht um Absolutwerte. Mit diesem Wissen kann beim Vergleich der Grafiken 4.1 und 4.2 zusätzlich noch ein Unterschied im maximal Pegel festgestellt werden. Die Spitze der Halbkugel in Z-Richtung liegt beim PCA10059 um ca. drei bis sechs dB tiefer als beim PCA10056. Dies bedeutet eine 2 bis 4 fach höhere Dämpfung an diesem Punkt was wiederum ein beträchtlicher Faktor ist. Wenn die deutlichen Einschnürungen an der Spitze noch mit betrachtet werden, ist die Dämpfung an diesem Punkt sogar noch höher.

Die gemessenen Abstrahleigenschaften der beiden Antennen bestätigen schliesslich unsere Erfahrungen die wir mit den Boards bereits gemacht haben. Die MIFA Antenne des PCA10059 weisst einige klare Nachteile gegenüber der IFA Antenne des PCA10056 auf, weshalb wenn möglich die Verwendung einer IFA Antenne empfohlen ist. Bei beschränkten Platz Verhältnissen wie dies in vielen Anwendungen der Fall ist, bietet jedoch auch die MIFA Antenne ein ordentliches Spektrum. Die Messerwartungen 3.3 wurden also erfüllt.

## Literatur

- [1] Nordic Semiconductor, *nRF52840 DK*, en, Mai 2020. Adresse: <https://www.nordicsemi.com/en/Software%20and%20tools/Development%20Kits/nRF52840%20DK> (besucht am 14. Mai 2020).
- [2] ——, *nRF52840 - Nordic Semiconductor*, en, Mai 2020. Adresse: <https://www.nordicsemi.com/en/Products/Low%20power%20short-range%20wireless/nRF52840> (besucht am 14. Mai 2020).
- [3] N. S. ASA, *PCA10056\_Schematic\_And\_PCB*, Okt. 2019. Adresse: [http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840\\_DK\\_User\\_Guide\\_v1.4.1.pdf](http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840_DK_User_Guide_v1.4.1.pdf) (besucht am 14. Mai 2020).
- [4] Nordic Semiconductor, *nRF52840 Dongle*, en, Mai 2020. Adresse: <https://www.nordicsemi.com/en/Software%20and%20tools/Development%20Kits/nRF52840%20Dongle> (besucht am 14. Mai 2020).
- [5] Nordic Semiconductor ASA, *PCA10059\_Schematic\_And\_PCB*, Juni 2018. Adresse: [http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840\\_Dongle\\_User\\_Guide\\_v1.1.pdf](http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840_Dongle_User_Guide_v1.1.pdf) (besucht am 14. Mai 2020).
- [6] Schurter, „EMV-Emissionen in der Maschinenindustrie“, de, S. 27, Jan. 2014. Adresse: [http://archiv.swisstmeeting.ch/tl\\_files/images/EMV%202014/2\\_3\\_Maschinenindustrie\\_Herbert%20Blum.pdf](http://archiv.swisstmeeting.ch/tl_files/images/EMV%202014/2_3_Maschinenindustrie_Herbert%20Blum.pdf).
- [7] LED\_Know\_How, *EMV\_Emission\_LED*, Mai 2020. Adresse: <http://www.led-know-how.ch/de/ansteuerung/emv> (besucht am 23. Mai 2020).
- [8] RadarBasics, *Vivaldi- Antenne - Radar Basics*, de, Library Catalog: www.radartutorial.eu Publisher: Dipl.-Ing. (FH) Christian Wolff, Mai 2020. Adresse: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/Vivaldi-Antenne.de.html> (besucht am 23. Mai 2020).
- [9] Aaronia, *Aaronia\_PowerLOG\_Horn\_Antennas.pdf*, Mai 2020. Adresse: [https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/PowerLOG/Aaronia\\_PowerLOG\\_Horn\\_Antennas.pdf](https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/PowerLOG/Aaronia_PowerLOG_Horn_Antennas.pdf) (besucht am 26. Mai 2020).

## Abbildungsverzeichnis

2.1	nRF52840-DK PCA10056 . . . . .	2
2.2	PCA10056 Copperplane mit IFA-Antenne . . . . .	2
2.3	nRF52840-Dongle PCA10059 . . . . .	2
2.4	PCA10059 Copperplane mit MIFA-Antenne . . . . .	2
3.1	Beispiel Emissionskurve LED im Test mit Grenzwert . . . . .	4
3.2	Eingespannetes Messobjekt in Messvorrichtung . . . . .	5
3.3	Oszilloskop an Antenne angeschlossen . . . . .	6
3.4	Vivaldi Antenne PowerLOG 70180 zur Messung [9] . . . . .	6
3.5	Abstrahlungscharakteristik der IFA Antenne auf dem Board PCA10056 . . . . .	7
3.6	Ausrichtung PCA10056 . . . . .	7
3.7	Abstrahlungscharakteristik der MIFA Antenne auf dem Board PCA10059 . . . . .	8
3.8	Ausrichtung PCA10059 . . . . .	8
4.1	Abstrahlung in Z-Richtung PCA10056 . . . . .	9
4.2	Abstrahlung in Z-Richtung PCA10059 . . . . .	9