

Diplomarbeit DA 653

**Entwicklung einer Mehr-
Antennen-Empfangseinrichtung
für ein kontaktloses,
veterinärmedizinisches
Sensorsystem**

Elvedin Dizdarevic

Institut für Elektronik
Technische Universität Graz
Leiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Pribyl



Begutachter: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Söser

Betreuer: Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Rosenkranz
Graz, März 2010

Kurzfassung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es eine Empfangseinrichtung für ein kontaktloses veterinärmedizinisches Sensorsystem zu realisieren, das auf Prinzip eines Mikrocontrollers und Funkchips mit mehreren Antennen funktioniert. Das Umschalten der Antennen wird von einem Mikrocontroller gesteuert. Dabei soll diese Empfangseinrichtung, die von einem kontaktlosen Sensorknoten aufgenommene und in einem EEPROM abgespeicherten Temperatur- und pH-Werte über das Internet an einem Datenbank-Server übertragen. Die Ergebnisse können mit Hilfe einer Software grafisch dargestellt und interpretiert werden. Die Entwicklung wurde einerseits einer EMV-Prüfung unterzogen und andererseits durch den praktischen Einsatz in einem landwirtschaftlichen Betrieb evaluiert.

Schlüsselwörter: Sensorsystem, Mikrocontroller, Funkübertragung, EMV

Abstract

Goal of this diploma thesis is the development of a basestation device for a wireless veterinary-medical sensor system, based on a microcontroller and several RF-Chips connected with antennas. The switching of the antennas will be controlled by the microcontroller. The basestation should transmit the measured data via the internet to a database server. By means of software the results can be graphically displayed and interpreted. The development was on the one hand electromagnetic compatibility (EMC) checked and on the other hand it was evaluated by practical testing in an agricultural holding.

Keywords: Sensor system, Microcontroller, Radio transmission, EMC

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei meinem Betreuer Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Rosenkranz bedanken, der mich während meiner Diplomarbeit betreut und umfangreich unterstützt hat. Außerdem möchte ich mich herzlich bei Herrn Mario Fallast bedanken, der mit seiner Hilfe diese Diplomarbeit bei der Firma smaXtec GmbH ermöglicht hat. Zudem möchte ich meinen Arbeitskollegen danken, die mir bei der Erstellung meiner Diplomarbeit geholfen haben.

Weiters möchte ich meiner Familie danken, die mich nicht nur finanziell, sondern auch moralisch immer unterstützt und mir den Rücken gestärkt hat.

Abschließend möchte ich mich noch bei Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Söser für die Begutachtung dieser Diplomarbeit und für die hilfreichen Informationen recht herzlich bedanken.

Graz, März 2010

Elvedin Dizdarevic

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	4
1.2	Gliederung	5
2	Hintergrund	6
2.1	Veterinärmedizinische Grundlagen	6
2.2	Anwendung	13
3	Praktischer Teil	17
3.1	Beschreibung des Gesamtsystems	17
3.2	Hardware	19
3.2.1	Blockschaltbild	19
3.2.2	Kommunikation zum PC	20
3.2.3	Steuereinheit	23
3.2.4	Kommunikation zum Sensorknoten	29
3.3	Firmware	33
3.3.1	Funktionalität der Basisstation	33
3.3.2	Umschalten der Antennen	41
4	Evaluierung	54
4.1	EMV-Prüfung	54
4.1.1	Prüfung ESD	58
4.1.2	Prüfung BURST	61
4.1.3	Prüfung HF asymmetrisch	63
4.1.4	Prüfung HF symmetrisch	66
4.1.5	Prüfung Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung	70
4.1.6	Funkstörfeldstärke-Prüfung	71
4.1.7	Prüfung Funkstörspannung	73
4.2	Feldtests	74
4.2.1	RSSI Test	75
4.2.2	Einsatz in einem landwirtschaftlichen Betrieb	79
5	Ausblick	84

A Anhang	85
A.1 Schaltplan	85
A.2 Layout	91
Literaturverzeichnis	93

Abbildungsverzeichnis

1.1	Milchproduktion, % EU-27, 2008	2
1.2	Karte der Milchküheverteilung in der EU	4
2.1	Auswirkungen einer Pansenazidose auf die Pansenflora	7
2.2	(a) Das Pansensaft-Entnahmegerät (Ruminator) und (b) Pansensaftentnahme mittels Schlundsonde	9
2.3	Rumenozentese	10
2.4	3D Druck des pH Mess-Bolus	12
2.5	Lage des Sensorknotens im Netzmagen	12
2.6	Die Laktationskurve einer Milchkuh	13
2.7	Zeitlicher Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei reiner Heufütterung	14
2.8	Zeitlicher Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei Weidegang und Heufütterung	15
2.9	Zeitlicher Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei 50:50 Heufütterung:Kraftfutter	16
3.1	Das Gesamtsystem (roter Bolus = Sensorknoten)	18
3.2	Sensorknoten	19
3.3	Blockschaltbild der Empfangseinrichtung	20
3.4	Die Kommunikation zum PC	20
3.5	Der USB/Seriell-Umsetzer FT232RL von FTDI	21
3.6	Basisstation und der verwendete Linux Rechner	22
3.7	USB-Kabel mit Beschriftung	23
3.8	Die Steuereinheit als Blockschaltbild	24
3.9	Blockschaltbild des MSP439F167	25
3.10	Die Beschaltung des LDO-Spannungsreglers MIC5209	26
3.11	Die PIN-Konfiguration des LDO-Spannungsreglers MIC5209	26
3.12	Auswahl der Antennen mit Hilfe des Schalters	27
3.13	Master-Slave-Prinzip des SPI-Bus	28
3.14	Die Kommunikation zum Sensorknoten	29
3.15	Blockschaltbild des CC1101	30
3.16	Pinout CC1101	31
3.17	Die Beschaltung des CC1101	31

3.18	PCB-Layout der Funkmodule	32
3.19	Layout, RF-GND	33
3.20	Layout, A-GND	33
3.21	Kommunikationsablauf Host - Basisstation - Sensorknoten	39
3.22	Timing für Datentransfer auf USB Schnittstelle	40
3.23	Zustandsdiagramm um die Funktion eines Senorknotens zu beschreiben	43
3.24	Zeitverlauf beim Umschalten der Antennen	50
3.25	Das Flussdiagramm des Programmablaufs	51
3.26	Code Composer Essentials v3.1 Core Edition	53
3.27	MSP430 USB Debugging Interface	53
4.1	ESD-Prüfaufbau	59
4.2	BURST-Prüfaufbau	62
4.3	HF asymmetrisch-Prüfaufbau	63
4.4	HF symmetrisch-Prüfaufbau	66
4.5	Diagramm zu den Messungen	70
4.6	Funkstörfeldstärke-Prüfaufbau	72
4.7	Funkstörspannung-Prüfaufbau	73
4.8	Messaufbau für den RSSI-Test	75
4.9	Groundplane-Antenne	76
4.10	Flach-Antenne	77
4.11	Stab-Antenne	78
4.12	Lage der Stab-Antennen bei der Melkanlage	79
4.13	(a) Lage der Stab-Antennen an der Decke und (b) Die Kraftfutterstation	80
4.14	(a) Methode und (b) Bolus-Eingeber	80
A.1	Schaltplan Seite 1	86
A.2	Schaltplan Seite 2	87
A.3	Schaltplan Seite 3	88
A.4	Schaltplan Seite 4	89
A.5	Schaltplan Seite 5	90
A.6	Top-Layer	91
A.7	Bottom-Layer	92

Tabellenverzeichnis

1.1	Anzahl der Rinder in Betrieben mit über 100 Rinder/Betrieb bzw. Anzahl der Betriebe > 100 Rinder/Betrieb	3
2.1	Unterteilung der verschiedene Bereiche von pH-Werten	8
2.2	Die Ergebnisse der Fütterungsversuche	16
3.1	PIN-Beschreibung des MINI-USB-Kabels	23
3.2	Konfigurations-Modus der Basisstation	34
3.3	Berechnung des Round-Trip-Delays eines Befehls	39
3.4	Gemessene Zeiten für Übertragung von 32 Byte Nutzdaten	40
4.1	Prüfpunkte der Störfestigkeitsmessungen	56
4.2	Messergebnisse der EMV-Prüfung	56
4.3	Anforderungen, ESD-Prüfung	59
4.4	Prüfpunkte der ESD-Prüfung	60
4.5	Ergebnisse der ESD-Prüfung	60
4.6	Anforderungen BURST-Prüfung	61
4.7	Prüfpunkte der BURST-Prüfung	62
4.8	Ergebnisse, Prüfpunkt-Netzkabel	62
4.9	Ergebnisse, Prüfpunkt-LAN Kabel	63
4.10	Ergebnisse, Prüfpunkt-Antenne	63
4.11	Verwendete Prüfgeräte bzw. Hilfsmittel, HF asymmetrisch	64
4.12	Prüfpunkte der HF asymmetrisch-Prüfung	64
4.13	Messergebnisse der HF asymmetrisch-Prüfung	66
4.14	Verwendete Prüfgeräte, HF symmetrisch	67
4.15	Messergebnisse der HF symmetrisch-Prüfung	69
4.16	Anforderungen, Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung Prüfung	70
4.17	Verwendete Prüfgeräte, Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung Prüfung	71
4.18	Messergebnisse der Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung Prüfung	71
4.19	Grenzwerte der Funkstörfeldstärke-Prüfung	72
4.20	Verwendete Prüfgeräte, Funkstörfeldstärke-Prüfung	72
4.21	Messergebnisse der Funkstörfeldstärke-Prüfung	73

4.22	Grenzwerte der Funkstörspannung-Prüfung	73
4.23	Verwendete Prüfgeräte, Funkstörspannung-Prüfung	74
4.24	Messergebnisse der Funkstörspannungs-Prüfung	74
4.25	Empfangene Signalstärke bei Verwendung von Groundplane-Antenne	76
4.26	Empfangene Signalstärke bei Verwendung von Flach-Antenne	77
4.27	Empfangene Signalstärke bei Verwendung von Stab-Antenne	78

Auflistungsverzeichnis

3.1	Logfile-Ausschnitt der Kommunikation zwischen der Basisstation und dem Sensorknoten	44
4.1	Logfile-Ausschnitt der HF asymmetrisch Prüfung	64
4.2	Logfile-Ausschnitt der HF symmetrisch Prüfung	67
4.3	Logfile-Ausschnitt der Kommunikation bei Kraftfutterstation	81
4.4	Logfile-Ausschnitt der Kommunikation bei Melkanlage	82

Kapitel 1

Einleitung

In der intensiven Milchviehwirtschaft nimmt der Einsatz der Unterstützung durch elektronische Geräte zu. Es werden immer mehr Daten automatisiert gesammelt. Da sich die Größe der Milchviehbetriebe weiter entwickelt, wird zunehmend mehr Elektronik eingesetzt und somit die Arbeit vom Landwirt erleichtert. Durch die ständige Vergrößerung der Milchviehbetriebe ist es nicht mehr möglich, die Tiere einzeln zu kennen und deren Gesundheitszustand durch bloßes Beobachten zu ermitteln. Mit ansteigender Betriebsgröße können Krankheitssymptome häufig nicht rechtzeitig erkannt werden. Um jedoch eine tiergerechte Haltung und ein ökonomisches Produzieren gewährleisten zu können, ist es für den Landwirt von enormer Bedeutung den genauen gesundheitlichen Zustand seiner Nutztiere zu kennen.

Mittlerweile sind automatisierte Systeme in der intensiv betriebenen Landwirtschaft nicht wegzudenken, z.B. Futterautomaten, automatische Melksysteme. Wichtige Kenngrößen für eine erfolgreiche Milchkuhhaltung sind hohe Milchleistung bei guten Grundfutterleistungen, geringe Kälberverluste und geringe Remontierung (Die Remontierungsrate gibt den Anteil der Färsen am Durchschnittskuhbestand an, der für die Remontierung der Herde eingesetzt wird [1]). Des Weiteren sind elektronische Managementhilfen häufig vor allem im Bereich der Reproduktion zu finden. Um den Progesterongehalt in der Milch zu bestimmen, werden z.B. Sensoren eingesetzt und zur Brunsterkennung sind Pedometer im Einsatz. Die Aktivität der Tiere wird mit Pedometern gemessen und als elektrischer Impuls registriert, um zusätzliche Informationen über den Brunstzyklus der Tiere zu bekommen. Pedometer können mittels eines Bandes am Hals oder oberhalb des Fußgelenkes angebracht werden.

Damit man während des Melkens die Leitfähigkeit der Milch prüfen kann, um einer Mastitis (Entzündung der Milchdrüse) vorzubeugen, sind auch Leitfähigkeitsmessgeräte auf dem Markt. In der Milchwirtschaft gehören mittlerweile verschiedene Milchmengenmessgeräte, sowie automatische Tiererkennungssysteme zum elektronischen Zubehör.

Die in der hier vorliegenden Arbeit durchgeführte Entwicklung einer Empfangseinrichtung (Basisstation) soll dazu beitragen, die Gesundheitsüberwachung in Milchviehherden weiter zu verbessern.

In weitere Folge, wird ein kurzer Überblick über die Milchproduktion und die Anzahl der Rinder in Betrieben bzw. Anzahl der Betriebe in der EU gegeben. Wie in Abbildung 1.1 ersichtlich, produzieren sechs Länder (DE, FRA, UK, NL, IT und PL) mehr als 70 % der Milch in der EU.

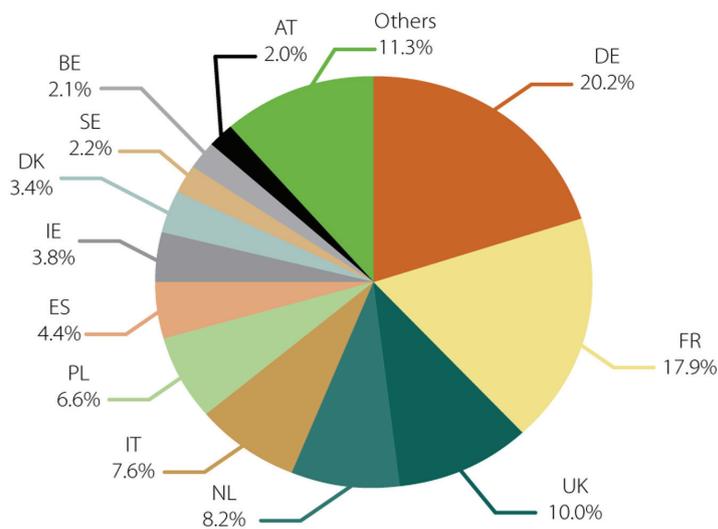


Abbildung 1.1: Milchproduktion, % EU-27, 2008 [2]

In der folgenden Tabelle 1.1 ist jeweils die Anzahl der Rinder in Betrieben mit über 100 Rindern/Betrieb angegeben. In einer zweiten Spalte ist die Anzahl der Betriebe (> 100 Rinder/Betrieb) angeführt.

Land	Anzahl der Rinder	Anzahl der Betriebe
USA	6.780.750	19.500
Neuseeland	3.829.320	11.840
Australien	1.949.700	8.460
Argentinien	1.777.350	9.650
Canada	479.700	2.880
Europa:		
Vereinigtes Königreich	1.208.140	7.280
Deutschland	1.120.500	4.900
Italien	718.380	4.050
Niederlande	355.500	2.660
Spanien	238.040	1.260
Ungarn	228.000	460
Polen	195.650	610
Frankreich	194.750	1.450
Irland	167.550	1.080
Österreich	2.400	20

Tabelle 1.1: Anzahl der Rinder in Betrieben mit über 100 Rinder/Betrieb bzw. Anzahl der Betriebe > 100 Rinder/Betrieb [2], [3]

Um einen Überblick über die verschiedenen Gebiete mit hoher Dichte von Milchkühen in der EU zu bekommen, ist in Abbildung 1.2 die Milchküheverteilung in der EU dargestellt. Das spanische Gebiet Cantabria gehört zu dieser Kategorie, ebenfalls das Gebiet Bretagne und Basse-Normandie in Frankreich; weiter nördlich, dies gilt für den Süden und Osten von Irland, Nordirland und westlich von England. Das Gebiet von Schleswig-Holstein des nördlichen Deutschlands gehört ebenfalls zu dieser Kategorie, sowie die meisten Niederlande und die Gebiete Belgiens, Ost-Vlaanderen, West-Vlaanderen, Liege und Hainaut. Südlich der EU ist noch das Gebiet Lombar dia in Italien.

Besondere Bedeutung bezogen auf die Milcherzeugung haben die sechs Länder, in denen am meisten Milch produziert wird.

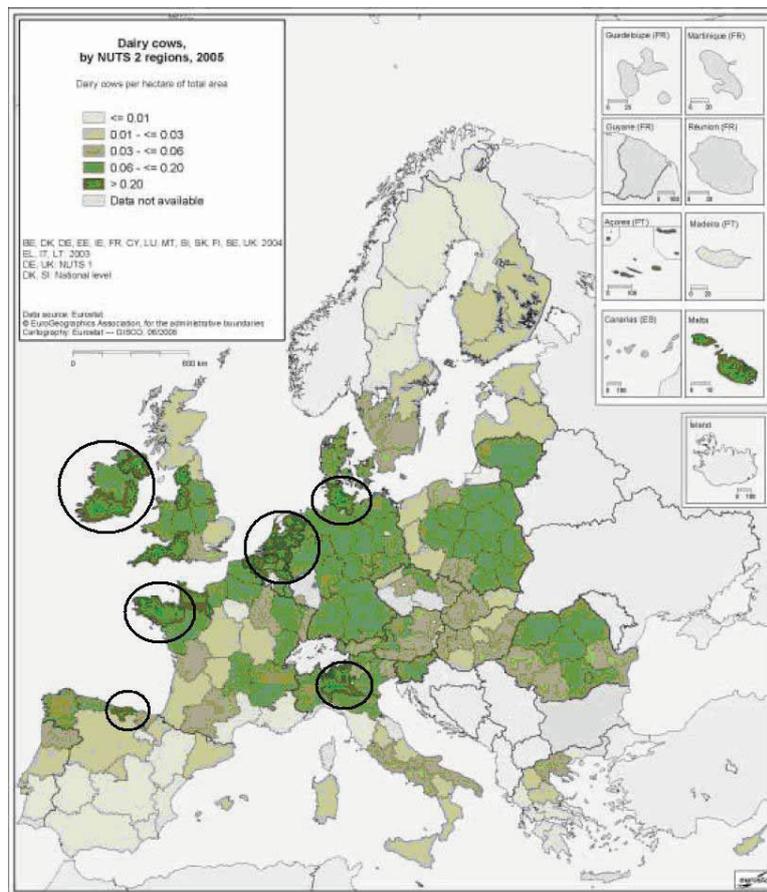


Abbildung 1.2: Milchküheverteilung in der EU [4]

1.1 Motivation

Das Sensorsystem inklusive Basisstation ist ein Beispiel für die kreative Verknüpfung zweier scheinbar widersprüchlicher Themen - „Kuh“ und „modernste Halbleitertechnologie“. Die Notwendigkeit wirtschaftlicher Optimierung macht auch bei Tieren nicht halt. Vor allem bei der Erzeugung von Milch führt der Wunsch nach mehr Leistung jedoch oft zu Problemen der Tiergesundheit. Ein Tier ist keine Maschine, und falsche Ernährung wird oft erst viel zu spät erkannt, wenn das Tier erkrankt. Auf dem Gebiet der Ernährung von Nutztieren wird deshalb intensive Forschung betrieben. Oft müssen dabei Proben entnommen und im Labor analysiert werden. Anstatt des Weges „von der Kuh ins Labor“ wählt man den Weg „das Labor in die Kuh“. Mit Hilfe modernster Sensoren werden bestimmte Messwerte zur Ernährung einer Kuh direkt „in situ“ gesammelt und erst die schon aufbereiteten Daten zum

Anwender geschickt - der langwierige Weg der Probenentnahme und Laboranalyse entfällt.

1.2 Gliederung

Im **Kapitel 2** werden die veterinärmedizinische Grundlagen beschrieben. Es werden kurz Erkrankungen bei Nutztieren erklärt, sowie die Möglichkeiten zur Messung des pH-Wertes und der Temperatur im Pansen von Rindern. Die Anwendung dieser Messungen wird ebenfalls beschrieben.

Das folgende **Kapitel 3** beinhaltet den praktischen Teil dieser Diplomarbeit. Es wird die Hardware und Firmware ausführlich dargestellt. Zunächst wird das Gesamtsystem beschrieben. Dann werden anhand des Blockschaltbildes der Empfangseinrichtung die drei wichtigsten Bereiche erklärt, die Kommunikation zum PC, die Steuereinheit und die Kommunikation zum Sensorknoten. Weiters wird in diesem Kapitel die Firmware beschrieben. Es werden die Funktionen der Empfangseinrichtung erklärt, der Programmablauf dargestellt und das Umschalten der Antennen beschrieben.

Kapitel 4 enthält die Evaluierung der entwickelten Empfangseinrichtung. Dabei wird die elektromagnetische Verträglichkeit dieser Empfangseinrichtung, sowie Messungen der Signalstärke im Freifeld dargestellt.

Abschließend wird ein kurzer Ausblick über weitere Einsatzmöglichkeiten des entwickelten Systems in landwirtschaftlichen Betrieben im **Kapitel 5** gegeben.

Kapitel 2

Hintergrund

2.1 Veterinärmedizinische Grundlagen

Ein Abfall des Pansen-pH-Wertes bei Rindern unter die physiologische Norm, in der häufigsten Ausprägung als subakute Pansenazidose (Subacute Rumen Acidosis, SARA) auftretend, stellt ein weit verbreitetes und zumeist auch bestandsweise gehäuft auftretendes Problem in der Rinderproduktion dar [5]. SARA ist ein nicht immer einwandfrei nachzuweisender, krankhafter und krankmachender Zustand [6]. Das Risiko für SARA erhöht sich naturgemäß in Produktionssystemen, in welchen ein erhöhter Einsatz von leicht verdaulichen Kohlenhydraten bei zumeist gleichzeitiger Verdrängung von rohfaserwirksamen Strukturkohlenhydraten zur Erzielung höherer Wachstumsraten bzw. Zunahmen oder höherer Milchleistungen vorzufinden ist [7]. Die negativen tiergesundheitlichen Auswirkungen von SARA sind vielfältig und stellen einen zentralen, die Produktion mindernden Faktor der Rinderhaltung dar [8].

Die Häufigkeit der Pansenazidose bei Milchkühen laut einer Studie, die in Dänemark durchgeführt wurde, ist mit 22 % angegeben [9]. Nach einer Ketose-Häufigkeit von 26 % war somit die Pansenazidose die zweithäufigste Erkrankung. Eine Unterteilung in klinische und subklinische Verlaufsformen wurde dabei nicht vorgenommen. Bei frischlaktierenden Kühen ist die Häufigkeit der subklinischen Pansenazidose mit 15 % angegeben [10].

Die folgende Abbildung 2.1 zeigt wie schlimm sich die Auswirkungen einer Pansenazidose auf die Pansenflora bei Milchkühen auswirken. Die Ursachen dafür sind

- Aufnahmen zu großer Mengen leicht verdaulicher Kohlenhydrate (Stärke, Zucker),
- geringer Anteil strukturwirksamer Rohfaser (Rohfaser ist verbleibender unlöslicher und unverdaulicher Rest nach Säure- und Laugenbehandlung pflanzlichen Materials),
- Kühe kauen wenig wieder → geringere Speichelproduktion,
- ungenügend angepasste Pansenflora und
- starke Schwankungen in der Futteraufnahme.



Abbildung 2.1: Auswirkungen einer Pansenazidose auf die Pansenflora [11]

Die Tabelle 2.1 zeigt die Unterteilung der verschiedene Bereiche von pH-Werten.

pH-Wert	Bereich
6,5 - 7,2	optimal
6,2 - 7,4	Normbereich
5,5 - 6,1	subklinische Azidose
< 5,5	klinische Azidose

Tabelle 2.1: Unterteilung der verschiedene Bereiche von pH-Werten [11]

Die Hinweise auf Pansenazidose sind folgende:

- Abfall Milchfettgehalt
- Rückgang Wiederkauaktivität
- Rückgang Pansenaktivität (Bewegung und Geräusche)
- Durchfallkot mit Beimengungen von unverdauten Futterpartikeln

Die schmerzhafte Entzündung der Vormagenschleimhaut (Ruminitis) sowie eine Störung der Entwicklung der Pansenzotten, sind eine direkte Folge des Absinkens des Pansen-pH-Wertes. Das erkrankte Rind weist eine verminderte oder gar keine Fresslust auf. Der Kot wird dünnbreiig bis wässrig. Die Zusammenhänge zwischen Ruminitis und dem vermehrten Auftreten von Leberabszessen ist als gesichert anzusehen [12]. Eine metabolische Blutazidose mit schweren klinischen Krankheitserscheinungen kann durch die Anflutung des Blutes mit sauren Stoffwechselprodukten entstehen. Die akute und chronische Krankheitserscheinungen der Klauenrehe können auf Grund der Freisetzung von Endotoxinen und Histamin ausgelöst werden. In jüngerer Zeit wird die Klauenrehe als die Hauptursache für die meisten Erkrankungen der Klauen angesehen [13]. Zu den schlechteren Fruchtbarkeitsergebnissen bei diesen Kühen führen eine gestörte Futteraufnahme, die verminderte Verdauung bzw. Resorption von Nährstoffen und die daraus resultierende negative Energiebilanz sowie die bereits beschriebenen möglichen Folgekrankheiten einer subklinischen Pansenazidose.

Das aussagefähigste Kriterium zur Beurteilung der Pansenbedingungen ist die Untersuchung des Pansensaftes. Insbesondere der pH-Wert stellt die wichtigste Größe zur Beurteilung der Strukturversorgung der Raktion als auch die definitive Untersuchungsmethode zur Erkrankung einer Pansenazidose dar [14]. Der Pansen-pH-Wert unterliegt starken Tagesschwankungen, weshalb das Ergebnis vom Zeitpunkt

der Probenentnahme im Bezug zur letzten Futteraufnahme abhängig ist. Sowohl für wissenschaftliche Untersuchungen als auch für diagnostische Routineuntersuchungen unter Praxisbedingungen stehen die orale Pansensaftentnahme und die Rumenozentese zur Verfügung [6]. Die Methode der Probenahme beeinflusst das Ergebnis signifikant [15].

Bei der oralen Pansensaftentnahme, die auch unter praktischen Bedingungen relativ rasch und einfach durchgeführt werden kann, wird dem zu untersuchenden Rind eine Schlundsonde gesetzt und Pansensaft wird aktiv über eine Pumpe gewonnen oder Pansensaft fließt nach Absenken des Kopfes aus der Sonde [16]. Zur Entnahme von Pansensaft stehen verschiedene Bauarten von Schlundsonden zur Verfügung, welche unterschiedlich stark mit Speichel abgereicherte Pansensaftproben liefern [17]. Die per Schlundsonde entnommene Proben zeigen durchschnittlich 0,5 pH-Einheiten (0,2 bis 1,9 pH-Einheiten) höhere Werte als solche, die per Rumenozentese entnommen wurden [18]. Die gewonnenen Pansensaftproben sind in den meisten Fällen vermehrt speichelhaltig, da die Probe üblicherweise aus dem Haubenbereich stammt, in welchem ohnehin bereits etwas höhere pH-Verhältnisse herrschen als im übrigen Vormagensystem. Das Ergebnis dieser Proben wird durch den pH-Wert des Speichels von etwa 8,5 bzw. auch durch dessen Pufferkapazität verfälscht, man erhält falsch hohe Werte.

In der folgenden Abbildung 2.2 ist das Pansensaft-Entnahmeggerät (Ruminator) und die Vorgehensweise dieser Methode dargestellt.



(a)



(b)

Abbildung 2.2: (a) Das Pansensaft-Entnahmeggerät (Ruminator) und (b) Pansensaftentnahme mittels Schlundsonde [19]

Bei der Rumenozentese wird mittels Punktion des Pansensackes Pansensaft durch Erzeugung von Unterdruck mit einer Spritze gewonnen, wie aus Abbildung 2.3 ersichtlich. Die Punktionsstelle zur Rumenozentese liegt 1-2 handbreit vor dem linken Kniegelenk auf Höhe des Patellaoberrandes (Kniescheibe) und wird nach Rasur unter aseptischen Kautelen (Sicherheitsmaßnahme) und unter Sedierung und Schmerzausschaltung durchgeführt [17].



Abbildung 2.3: Rumenozentese [11]

Die dabei gewonnene Menge Pansensaft beträgt einige ml, und die Probe ist nicht mit Speichel kontaminiert [20]. Durch Rumenozentese gewonnene Proben liefern im Vergleich zu per Schlundsonde gewonnene Proben realistischere Ergebnisse für den Pansen-pH-Wert [21]. Das mögliche Auftreten von negativen Auswirkungen der Rumenozentese auf die Tiergesundheit stellen diese Methoden jedoch in Frage [18].

Bei beiden Methoden sind die möglichen Probleme, Nachteile und Risiken bekannt. Der Verlust eines Tieres nach missglückter Rumenozentese wird in Österreich anders bewertet werden als in einem US-amerikanischen Großbetrieb, da in den eher klein strukturierten Betrieben Österreichs die Unversehrtheit des Einzeltieres eine weitaus große Bedeutung hat als im angloamerikanischen Raum. Die Kenntnis über die Zusammensetzung des Pansensaftes bzw. die gewonnene Information, steht deshalb nicht unbedingt in einem Verhältnis zum Risiko, welches durch die Probennahme per Rumenozentese besteht.

Eine in vivo Messung des Pansen-pH-Wertes wurde erstmals im Jahr 1941 beschrieben [22]. Um die Zeitdauer und konkreten Ursachen azidotischer Zustände exakter definieren zu können, wurden die erhobenen Daten mit weiteren Ergebnissen aus Erhebungen wie der Futter- und Wasseraufnahme sowie der Kauaktivität vernetzt [23]. Den entscheidenden Vorteil, dass Fluktuationen des Pansen-pH-Wertes besser erkannt und auf einer Zeitachse dargestellt werden können, hat eine kontinuierliche, intraruminale Messung des Pansen-pH-Wertes gegenüber dem „spot sampling“. Solche Techniken zur Messung des Pansen-pH-Wertes wurden in einer Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen angewendet [24]. Diese Techniken haben gemeinsam, dass eine Pansenfistel bei dem zu untersuchenden Tier anzulegen ist, und dass die erhobenen Daten in einer Speichereinheit im Pansen registriert werden. Um zu den erhobenen Daten zu gelangen, musste entweder die Speichereinheit wieder aus dem Pansen entfernt werden [23]. Oder die Daten wurden über eine Kabelverbindung an eine außerhalb des Pansens liegende, am Tier befestigte Einheit übertragen [25].

Eine weitere Methode zur Messung des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur stellt eine intraruminale Sonde mit Funkübertragung der Messdaten dar. Diese wurde von der Firma smaXtec GmbH entwickelt und in Zusammenarbeit mit Lehr- und Forschungszentrum (LFZ) Raumberg-Gumpenstein an pansenfistulierten Rindern getestet. Die Messeinheit wird in einem Bolus verpackt, das aus dem bruchsicheren Kunststoff POM C (copolymerisiertes Polyoxymethylen) besteht und eine Dichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$ hat. Für die Serienproduktion wird ein anderes Material verwendet.

Der derzeitige Bolus-Prototyp (Stand: 20.02.2010) hat folgende Eigenschaften:

- Durchmesser: 3,6 cm
- Länge: 12 cm
- Gewicht: 190 g

In Abbildung 2.4 ist dieser Bolus dargestellt.

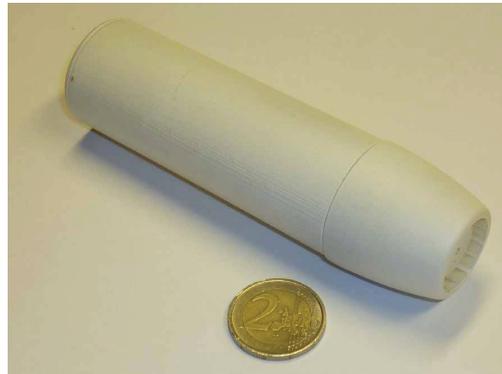


Abbildung 2.4: 3D Druck des pH Mess-Bolus

Im Bereich der Rinderhaltung wird der Begriff Bolus im Zusammenhang mit drei Anwendungsgebieten verwendet

- in der Tieridentifizierung, „Sustained-Release“-Boli (SR-Boli),
- zur Wirkstoffabgabe und
- experimentelle Datenmessboli.

Um einen besseren Einblick über die Lage des Sensorknotens im Netzmagen zu bekommen, ist in Abbildung 2.5 das Vormagensystem dargestellt.

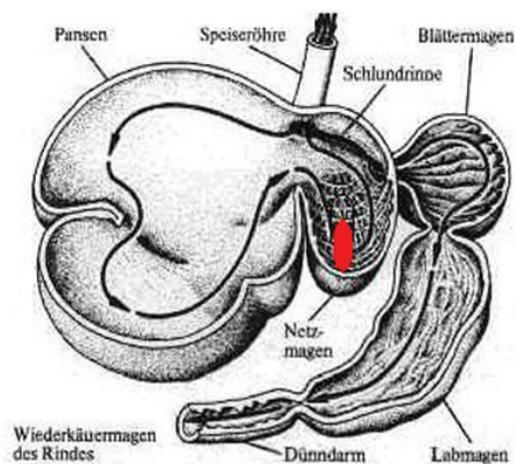


Abbildung 2.5: Lage des Sensorknotens im Netzmagen [26]

Das Vormagensystem des Rindes besteht aus Haube (Netzmagen, Reticulum), dem Pansen (Rumen) und dem Blättermagen (Psalter, Omasum). Das gesamte Vormagensystem eines erwachsenen Rindes fasst durchschnittlich 200 l, wobei davon rund 80 % auf den Pansen entfallen [26]. Um einen Verbleib des Sensor knotens im Vormagensystem zu gewährleisten, muss dieser in den Netzmagen eingebracht werden und überdies ein bestimmtes spezifisches Gewicht aufweisen.

2.2 Anwendung

Hohe Milchleistungen gesunder Kühe sind der Schlüssel zum Erfolg in der Milchproduktion. Während des ersten Monates p.p. (post partum = die Zeit nach der Kalbung) ist die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen einer Azidose am höchsten und am geringsten im oder nach dem dritten Monat p.p. [27]. Die Unfähigkeit einen Säureüberschuss zu kompensieren, wird durch das häufige Vorkommen von Azidosen reflektiert und tritt vor allem in der frühen Laktation auf. Laktation ist die Milchbildungsperiode, d.h. die Zeit, in der die Kuh Milch gibt - zwischen Kalbung und Trockenstellen. Im Durchschnitt sind das ungefähr 305 Tage pro Jahr.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Gefahr einer subakuter Pansenazidose am Anfang der Laktation bis zwei Monate nach der Kalbung am höchsten ist, wenn die Milchleistung am höchsten ist. Folglich sollte die Messung der pH-Werte in einer Zeitperiode von einer Woche vorher bis 6-8 Wochen nach der Kalbung gesichert werden. Die Abbildung 2.6 zeigt die Laktationskurve einer Milchkuh, die dies verdeutlicht.

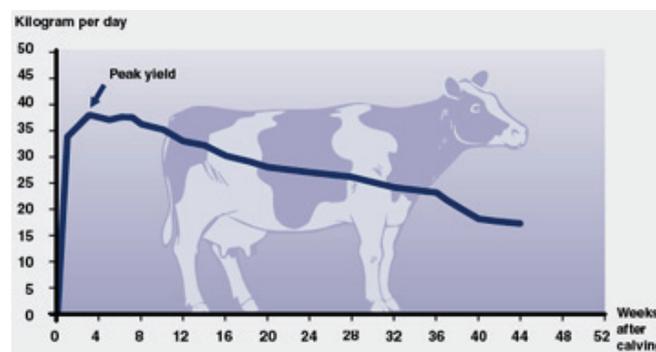


Abbildung 2.6: Die Laktationskurve einer Milchkuh [28]

Die Laktationskurve beschreibt den Verlauf der täglichen Milchleistung einer Milchkuh. Um den Laktationsverlauf zu erhalten, wird normalerweise die Milchleistung gegen die Zeit aufgetragen. Damit kann die individuelle Leistung einer Kuh dargestellt werden. In der Abbildung 2.6 ist die Leistungsspitze zu sehen. Das ist der Punkt, an dem die Kuh die höchste Tagesmilchproduktion während der ganzen Laktation erreicht.

Die beschriebene Methode zur Messung des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur mit intraruminaler Sonde, wurde an 5 pansenfistulierten Rindern des LFZ Raumberg-Gumpenstein unter Bedingungen von 3 Fütterungsexaktversuchen erprobt.

Für die Untersuchungen an pansenfistulierten Rindern muss eine Tierversuchsgenehmigung lt. TVG vom zuständigen Amt der Steiermärkischen Landesregierung (GZ FA 8C-41A1/24-04 bzw. Verlängerungsantrag GZ 68205/89-C/gd/2009) erteilt werden.

In Fütterungsversuch 1 (reine Heufütterung) lag die mittlere Vormagentemperatur bei $38,40 \pm 0,70$ °C, der mittlere pH-Wert lag bei $6,49 \pm 0,39$, der Nadir war bei pH 6,14. Die Abbildung 2.7 zeigt den zeitlichen Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei reiner Heufütterung.

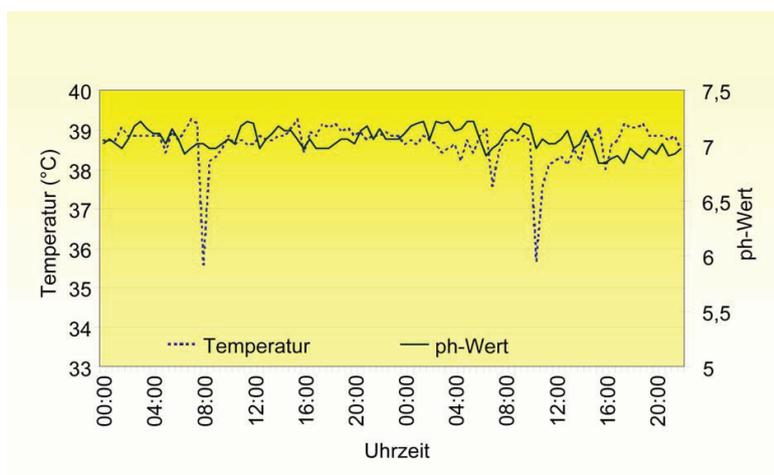


Abbildung 2.7: Zeitlicher Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei reiner Heufütterung [5]

In Fütterungsversuch 2 (tags Weide und nachts Grundfutter) lag die mittlere Pansen­temperatur bei $38,12 \pm 0,80 \text{ }^\circ\text{C}$, der pH-Wert lag im Mittel bei $6,36 \pm 0,22$. Der Nadir auf der Weide lag bei pH 5,34, der Nadir während der Grundfutterphase lag bei pH 6,16. Weidengang hatte einen signifikant negativen Einfluss auf den pH-Wert in den Vormägen. In der Abbildung 2.8 ist der zeitliche Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei Weidengang und Heufütterung dargestellt.

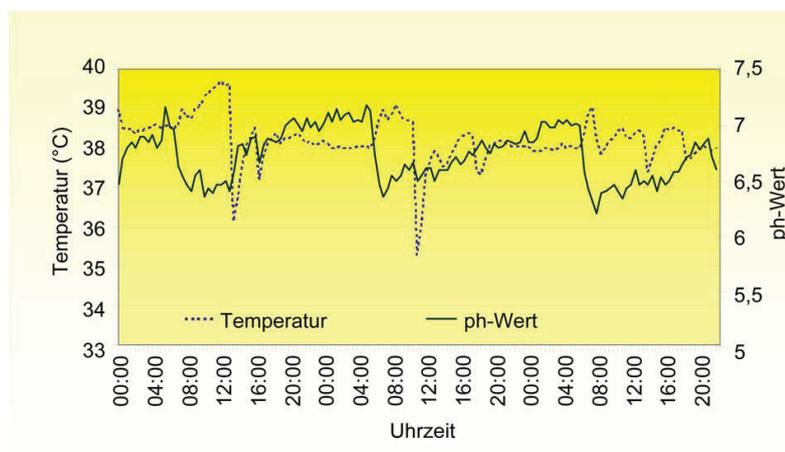


Abbildung 2.8: Zeitlicher Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei Weidengang und Heufütterung [5]

Im Fütterungsversuch 3 (Grundfutter:Kraftfutter=50:50) lag die mittlere Vormagen­temperatur bei $38,55 \pm 0,83 \text{ }^\circ\text{C}$ und der mittlere pH-Wert bei $6,37 \pm 0,24$. Der Nadir lag bei pH 5,29. Das Absinken des pH-Wertes in den Vormägen korrelierte signifikant mit der Gabe von Kraftfutter. Auch Zeitspannen, innerhalb derer sich der pH-Wert in den Vormägen unterhalb eines bestimmten Niveaus befand, konnten erfasst und interpretiert werden. Der zeitliche Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei 50:50 Heufütterung:Kraftfutter ist in folgender Abbildung 2.9 zu sehen.

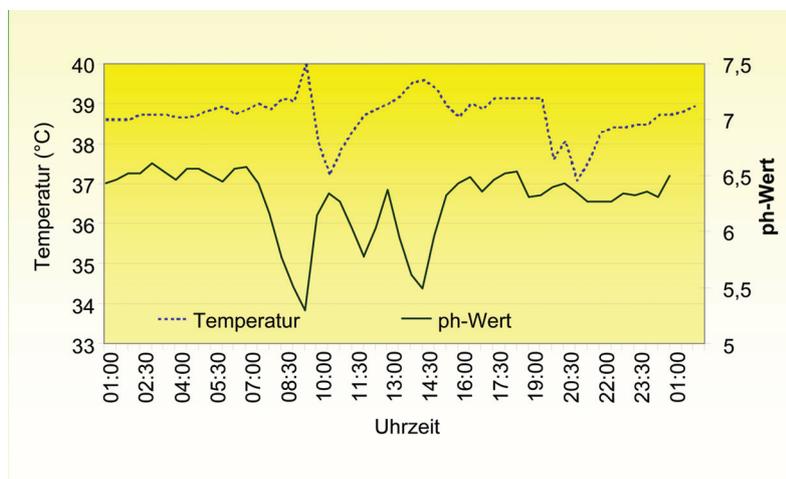


Abbildung 2.9: Zeitlicher Verlauf des Pansen-pH-Wertes und der Temperatur bei 50:50 Grundfutter:Kraftfutter [5]

Ein mittlerer Korrelationskoeffizient von 0,9987 wurde bei der Validierung der Messergebnisse durch Vergleich der Ergebnisse mit den Eichlösungen (pH 4, pH 7) errechnet.

Durch diese Fütterungsversuche und deren Ergebnisse hat man ein besseres Verständnis der Pansenübersäuerung erhalten.

In der folgenden Tabelle 2.2 sind noch einmal die ganzen Ergebnisse der Fütterungsversuche aufgelistet um einen besseren Übersicht zu behalten.

	Heufütterung	Tag Weide Nacht Heufütterung	50:50 Grundfutter:Kraftfutter
Temperatur	$38,40 \pm 0,70 \text{ } ^\circ\text{C}$	$38,12 \pm 0,80 \text{ } ^\circ\text{C}$	$38,55 \pm 0,83 \text{ } ^\circ\text{C}$
pH-Wert	$6,49 \pm 0,39$	$6,36 \pm 0,22$	$6,37 \pm 0,24$
Nadir (pH-Wert)	6,14		5,29
Nadir Weide (pH-Wert)		5,34	
Nadir Stall (pH-Wert)		6,16	

Tabelle 2.2: Die Ergebnisse der Fütterungsversuche [5]

Kapitel 3

Praktischer Teil

In diesem Kapitel wird der praktische Teil dieser Diplomarbeit beschrieben. Wie man in den folgenden Abschnitten sehen kann, wird zuerst das Gesamtsystem erklärt. Weiters wird die entwickelte Hardware und Firmware detailliert beschrieben. Mit Hilfe des Blockschaltbildes der Empfangseinrichtung werden die drei wichtigsten Bereiche, Kommunikation zum PC, Steuereinheit und Kommunikation zum Sensorknoten erklärt. Der Programmablauf, das Umschalten der Antennen, sowie die ganze Funktionalität der Empfangseinrichtung werden im Abschnitt 3.3 beschrieben.

3.1 Beschreibung des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem besteht aus folgenden Teilsystemen:

- Sensorknoten
- Empfangseinheit (Basisstation)
- Datenbank-Server.

Der Sensorknoten befindet sich im Pansen, einem der vier Mägen des Rindes. Somit wird direkt im Pansen der pH- und Temperaturwert gemessen. Die ermittelten Daten werden mit einem Zeitstempel versehen und in einem Speicher abgelegt. Außerdem können die Daten in Echtzeit ausgelesen werden. Die Datenübertragung erfolgt kabellos, mit einer Frequenz von 433 MHz, einem ISM-Band (Industrial, Scientific, and Medical Band). Befindet sich die Kuh in Reichweite der Empfangseinrichtung, können die gesamten Messdaten ausgelesen und in einer Datenbank abgelegt werden.

Der Benutzer ist dann in der Lage, mittels einer Software, die Messdaten grafisch darzustellen und in weitere Folge auszuwerten.

In Abbildung 3.1 ist das Gesamtsystem dargestellt.

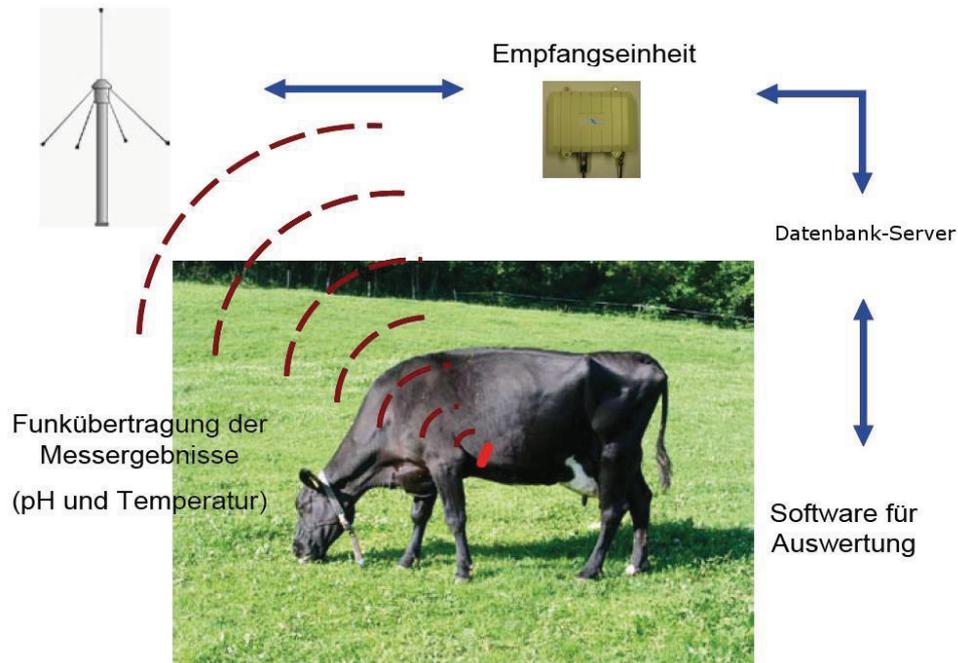


Abbildung 3.1: Das Gesamtsystem (roter Bolus = Sensorknoten)

An den Sensorknoten, der in Abbildung 3.2 ersichtlich ist, wird ein pH- und Temperatursensor angeschlossen. Als Spannungsversorgung steht eine 3,6 V Batterie zur Verfügung. Diese Komponenten werden in einem entsprechendem Bolus verpackt und der Kuh oral zugeführt. Weitere Hardwarekomponenten des Sensorknotens sind:

- Mikrocontroller (μC) zum Messen und Steuern aller integrierten Schaltungen,
- RF Transceiver zum Übertragen der Daten,
- Real Time Clock (RTC), um die Daten mit einem Zeitstempel zu versehen.
- EEPROM, um Daten zu speichern und auch wieder löschen zu können.
- 3,3 V Boost Converter um dem Sensorknoten immer dieselbe Spannung bieten zu können, da das System mit einer Batterie versorgt wird.

- Externe Referenz für hochgenaue A/D Umsetzung.

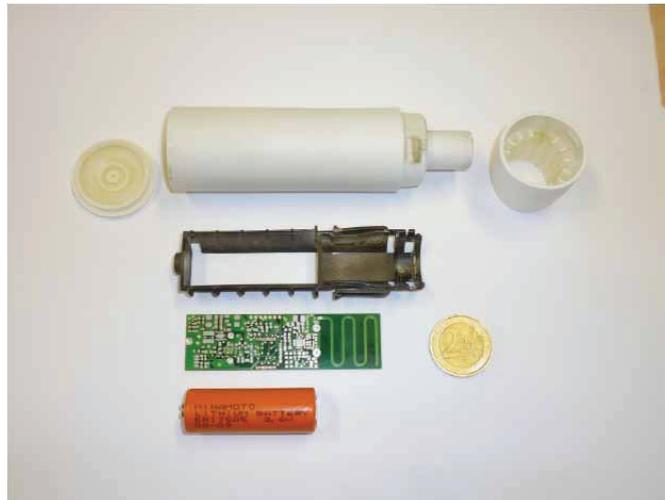


Abbildung 3.2: Sensorknoten

3.2 Hardware

3.2.1 Blockschaltbild

Das Blockschaltbild der Empfangseinrichtung ist in Abbildung 3.3 dargestellt. Wie zu sehen ist, besteht die Basisstation aus folgenden Hardwarekomponenten:

- USB-Treiber FT232RL von FTDI (Future Technology Devices International)
- Spannungsregler MIC5209 von Micrel, um den μC immer die gleiche Spannung zu bieten (3,3 V)
- μC (MSP430F167) von Texas Instruments, zum Messen und Steuern aller integrierten Schaltungen
- Funkmodule (CC1101) von Texas Instruments, zum Übertragen der Daten

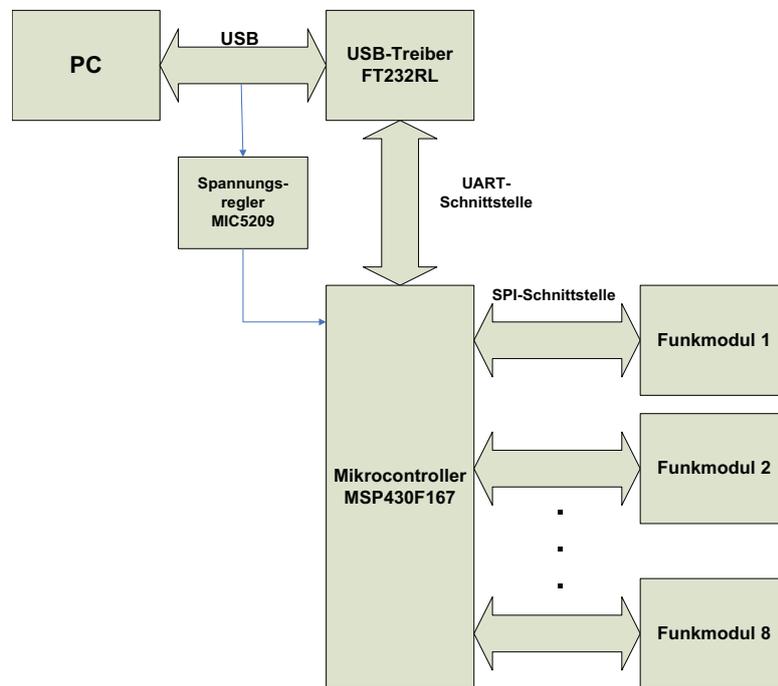


Abbildung 3.3: Blockschaltbild der Empfangseinrichtung

3.2.2 Kommunikation zum PC

Der Ausschnitt des Blockschaltbildes der Empfangseinrichtung ist in Abbildung 3.4 zu sehen und stellt die Kommunikation zum PC dar. Diese Kommunikation erfolgt über die USB-Schnittstelle. Außerdem wird die Basisstation direkt über die USB-Schnittstelle mit Spannung versorgt, was sicherlich ein Vorteil ist.

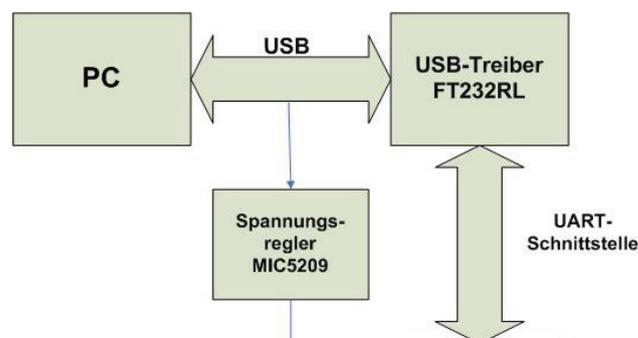


Abbildung 3.4: Die Kommunikation zum PC

Wie zu sehen ist, wurde ein USB/Seriell-Umsetzer FT232RL von FTDI verwendet. Dieser arbeitet ohne einen Quarz, nur mit einem internen RC-Oszillator. Die unterstützte Baudraten sind von 300 Baud bis 3 MBaud. Der FT232RL ist mit USB2.0 kompatibel. Die folgende Abbildung 3.5 zeigt den Ausschnitt aus dem Schaltplan, in dem man die Beschaltung des USB/Seriell-Umsetzer sehen kann.

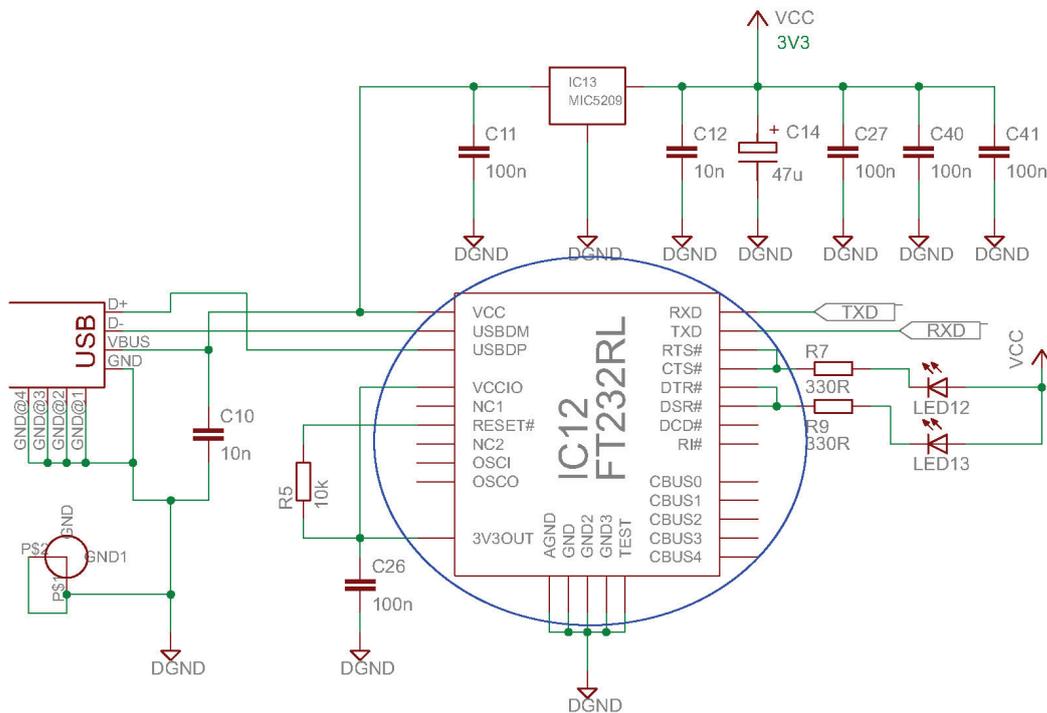


Abbildung 3.5: Der USB/Seriell-Umsetzer FT232RL von FTDI

Damit überhaupt eine Verbindung zwischen Rechner und einem Gerät, in diesem Fall der Basisstation hergestellt werden kann, müssen Regeln eingehalten werden. Diese Regeln werden Protokolle genannt und bestehen aus Vereinbarungen über:

- Formate für die Information (was wird ausgetauscht und in welcher Form),
- Wertebereiche und Interpretationsregeln für die Verwaltungs- und Prüfinformation,
- Ablauf des Informationsaustausches im Normalfall (was passiert wann),

- Sicherung und Fehlererkennung sowie den weiteren Nachrichtenverkehr nach einem Fehler (Abbruch, Wiederholung, ...)
- vereinbarte Steuernachrichten für die Quittungsübermittlung, Anforderung spezieller Funktionen, o.ä.

Es wird ein Linux Rechner (Alix6E1) der Firma PC Engines GmbH verwendet. Sein Prozessor arbeitet mit 500 MHz und hat einen Speicher von 256 MB DDR DRAM. Auf diesem Rechner läuft ein Programm im Hintergrund, das bestimmte Dienste zur Verfügung stellt. Dieses Programm wird als Daemon bezeichnet. Es verwaltet die Messdaten und automatisiert das Auslesen der Messdaten von den Sensorknoten. Dabei ist keine grafische Oberfläche vorhanden. Nach dem Einschalten erledigt ein Skript den automatisierten Start des Daemons. Die Messdaten werden zuerst lokal auf dem Linux Rechner gespeichert und danach im Hintergrund in einer MySQL Datenbank abgelegt. Bei vorhandener Internet Verbindung können die gesammelten Daten an einen Server automatisiert übermittelt werden. In Abbildung 3.6 ist die entwickelte Basisstation und der verwendete Linux Rechner zu sehen.

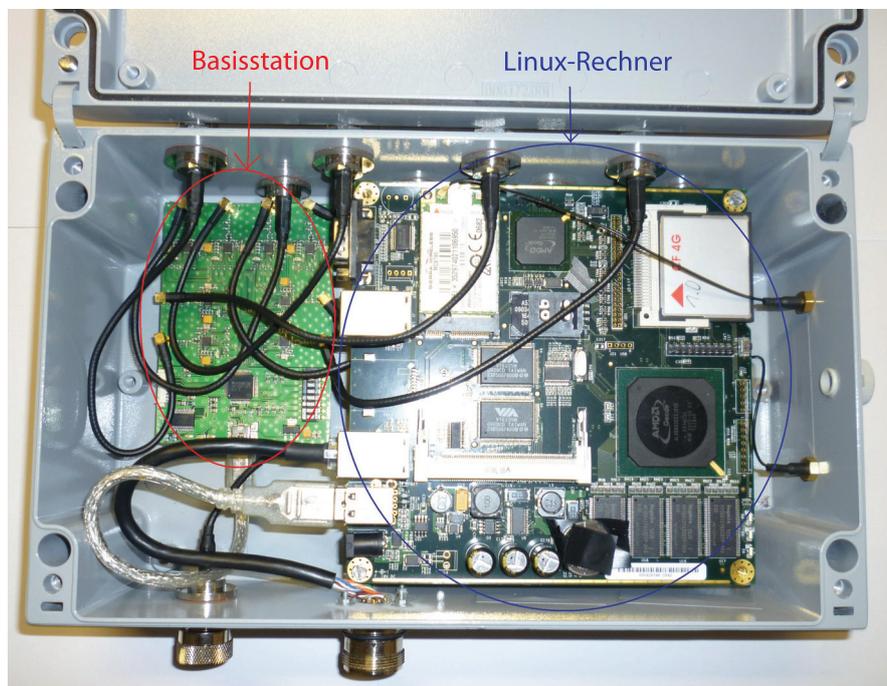


Abbildung 3.6: Basisstation und der verwendete Linux Rechner

Die Basisstation ist über ein USB-Kabel mit einem Rechner verbunden. Das USB-

Kabel enthält vier Adern, wobei zwei zur Datenübertragung dienen und die anderen zwei für die Spannungsversorgung der Basisstation. Da es sich um ein serielles Bus-system handelt, werden die einzelnen Bits eines Datenpaketes nacheinander übertragen. Aus Platzgründen ist eine USB MINI-B Buchse als Anschluss gewählt worden und die dazugehörigen PIN-Beschreibungen sind in folgender Tabelle 3.1 dargestellt.

Pin	Name	Farbe	Beschreibung
1	VCC	Rot	+5 V
2	D-	Weiß	Data -
3	D+	Grün	Data +
4	ID	keine	Typ A: Masse
5	GND	Schwarz	Masse

Tabelle 3.1: PIN-Beschreibung des MINI-USB-Kabels

In Abbildung 3.7 sind die Adern und deren Farbe eines USB-Kabels zu sehen.

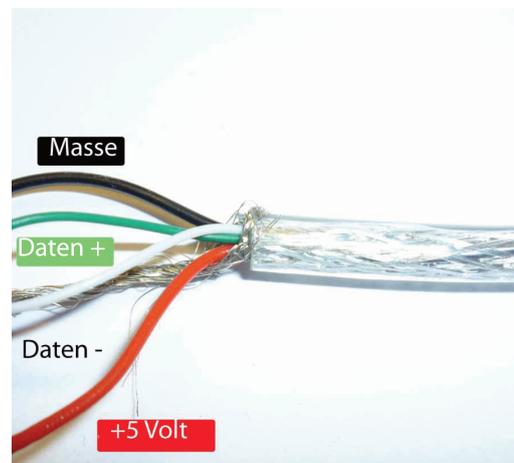


Abbildung 3.7: USB-Kabel mit Beschriftung

3.2.3 Steuereinheit

Ein ganz wichtiger Teil der Basisstation ist die Steuereinheit, die in Abbildung 3.8 als Blockschaltbild dargestellt ist.

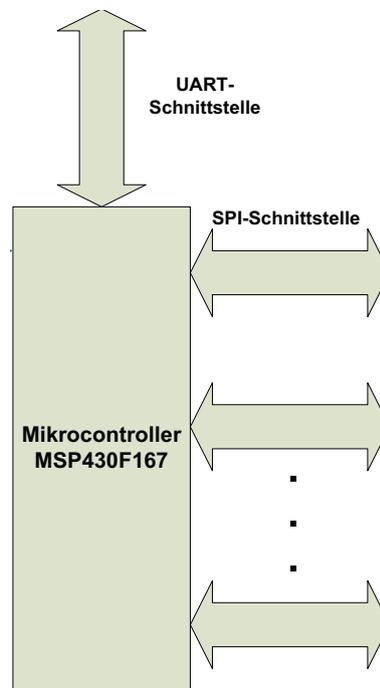


Abbildung 3.8: Die Steuereinheit als Blockschaltbild

Um die ganzen Daten zu steuern und dabei wenig Energie zu verbrauchen, wurde ein Mikrocontroller von Texas Instruments (TI) ausgewählt. Dieser ist ein 16-Bit Mikrocontroller von der MSP430-Familie und speziell für geringe Stromaufnahme entwickelt worden. Der MSP430 hat einen Spannungsbereich von 1,8 V bis 3,6 V. Für die Anwendung der Basisstation, wird er mit 3,3 V spannungsversorgt. Das Aufwachen aus dem Low-Power Modus in den aktiven Modus dauert weniger als $6 \mu s$.

Folgende Komponenten des MSP430F167 werden verwendet:

- zwei serielle Schnittstellen:
UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)
SPI (Serial Peripheral Interface)
- 24 digitale Ein/Ausgänge

Die Abbildung 3.9 stellt das Blockschaltbild des MSP430 dar.

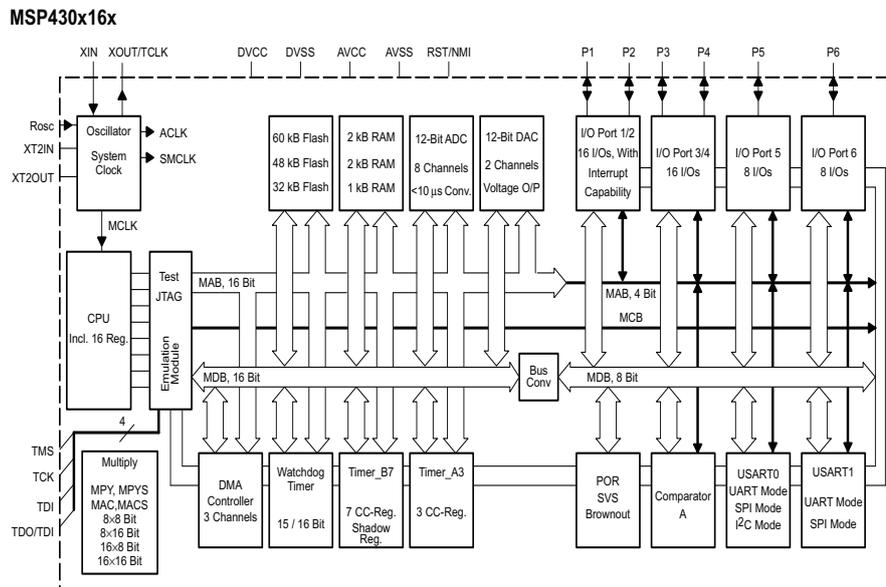


Abbildung 3.9: Blockschaltbild des MSP430F167 [29]

Um die Spannung konstant zu erhalten, wird ein LDO-Spannungsregler MIC5209 eingesetzt. Der MIC5209 ist ein effizienter, geradliniger Spannungsregler. Dieser ist besonders für tragbare, batterieangetriebene Geräte entworfen worden. Seine niedrige Abfallspannung beträgt 10 mV an geringen Lasten und weniger als 500 mV an der Vollast. Der Temperatur Arbeitsbereich liegt zwischen $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ und der maximale Ausgangsstrom beträgt 500 mA. Dabei kann der MIC5209 mit einer Versorgungsspannung zwischen 2,6 V und 16 V betrieben werden. Als Ausgangsspannung liefert er 3,3 V. Dessen Genauigkeit liegt bei 1%. Der MIC5209 ist in regulierbaren oder festen Ausgangsspannungen verfügbar.

Die Beschaltung des MCDM(R)-08-T ist in folgender Abbildung 3.12 dargestellt.

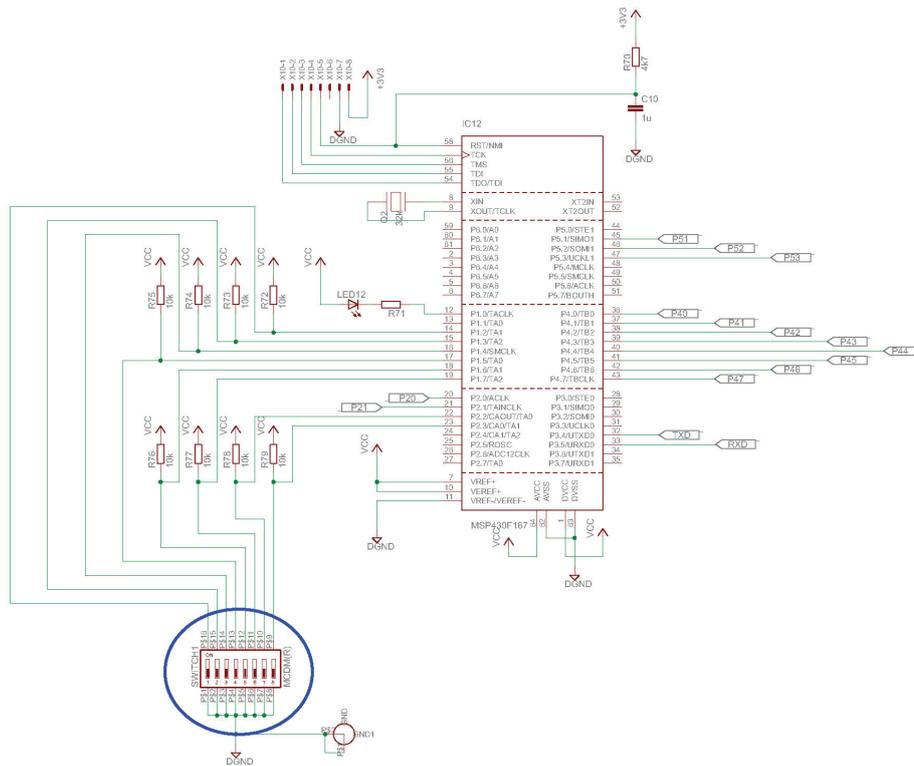


Abbildung 3.12: Auswahl der Antennen mit Hilfe des Schalters

Wenn der Schalter auf „ON“ eingestellt wird, bedeutet dies, dass der Eingangspin des μC s auf „logisch LOW“ gesetzt wird. Beim Öffnen des Schalters bzw. wenn der Schalter auf „OFF“ eingestellt wird, zieht der Pullup-Widerstand die Spannung am Eingangspin des μC s bis zum Versorgungsspannungswert 3,3 V hoch. Dies entspricht „logisch HIGH“. Der μC wählt somit die entsprechenden Antennen aus. Für die optische Kontrolle, welche von den acht Antennen ausgewählt wurde, sorgt je eine leuchtende blaue LED.

Die Ein- und Ausgangspins des verwendeten μC s werden als Ports bezeichnet. Wie im Schaltplan (siehe A.1) ersichtlich, wird Port 5 für die Kommunikation zu den Funkmodulen verwendet.

Dies erfolgt über die SPI (Serial Peripheral Interface) Verbindung, die nach dem Master-Slave-Prinzip arbeitet und in folgender Abbildung 3.13 dargestellt ist.

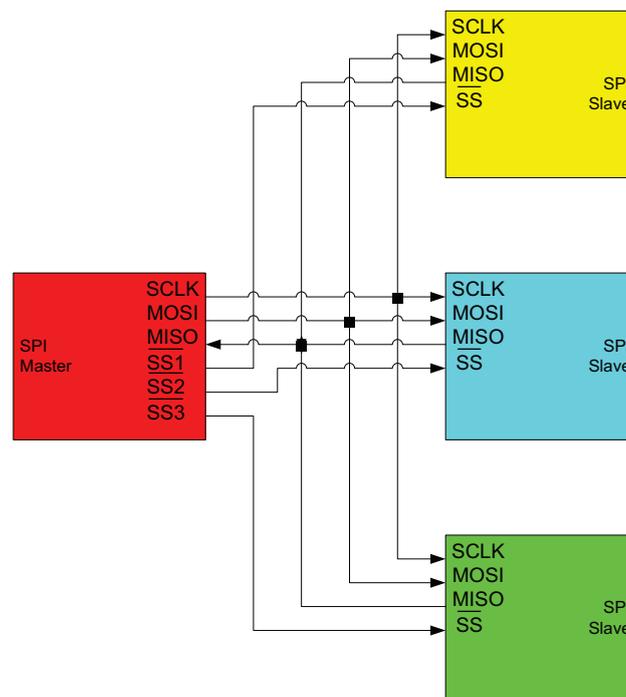


Abbildung 3.13: Master-Slave-Prinzip des SPI-Bus

Der SPI-Bus ist ein einfacher Bus, der aus vier Leitungen besteht:

- MISO (Master in Slave out)
- MOSI (Master out Slave in)
- SCLK (Serial Clock)
- \overline{SS} (Slave Select bzw. Chip Select)

In diesem Fall arbeitet der μC als Master und die acht Funkmodule als Slaves. Theoretisch können beliebig viele Teilnehmer an den Bus angeschlossen werden, wobei es immer nur einen Master geben kann.

Der Master bzw. μC gibt das Taktsignal vor und bestimmt über den Zustand der Chip-Select-Leitungen, mit welchem Slave bzw. Funkmodul er kommunizieren will.

Die Chip-Select-Leitung ist immer mit logisch-0 aktiv. Wenn dieser Zustand eintritt wird das jeweilige Funkmodul aktiv und der μC legt seine Daten im Takt von SCKL an MISO.

Somit werden die Daten vom Mikrocontroller zum Funkmodul und vom Funkmodul zum Mikrocontroller übertragen. Ist ein Funkmodul nicht selektiert, so geht der Datenausgang in einen hochohmigen Zustand (Hi-Z) über. Damit ist gesichert, dass nicht mehrere Funkmodule gleichzeitig Daten ausgeben. Das Port 4 ist für die Chip-Select-Leitungen definiert, um jeweils eines von acht Funkmodulen zu selektieren und somit die Kommunikation mit dem Sensorknoten zu ermöglichen. Die Kommunikation zum PC erfolgt am Port 3 mit den Sende- und Empfangsleitungen (TXD und RXD) der UART-Schnittstelle.

3.2.4 Kommunikation zum Sensorknoten

Die Kommunikation zum Sensorknoten erfolgt über die acht Funkmodule, wobei jeweils nur ein Funkmodul zum Daten senden bzw. empfangen aktiv sein kann. Die folgende Abbildung 3.14 verdeutlicht dies.

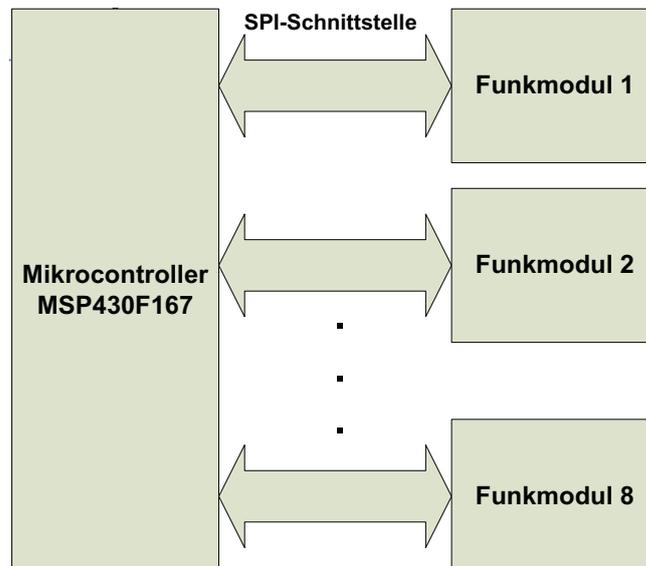


Abbildung 3.14: Die Kommunikation zum Sensorknoten

Das Selektieren der Funkmodule wurde bereits durch das Master-Slave-Prinzip erklärt. Aufgrund der hohen Sensitivität (-112 dBm bei 1,2 kBaud @ 433 MHz, 1 % packet error rate), des geringen Stromverbrauchs (15,0 mA in Receive mode) und der programmierbaren ISM Frequenzen wurde der CC1101 von Texas Instruments ausgewählt. Er ist hauptsächlich auf die ISM (Industrial Scientific Medical) Frequenzen von 315, 433, 868 und 915 MHz ausgelegt. In dieser Anwendung wird mit 433 MHz für Europa und 315 MHz für die USA gearbeitet.

In Abbildung 3.15 ist das Blockschaltbild des CC1101 dargestellt und in Abbildung 3.16 das dazugehörige Pinout.

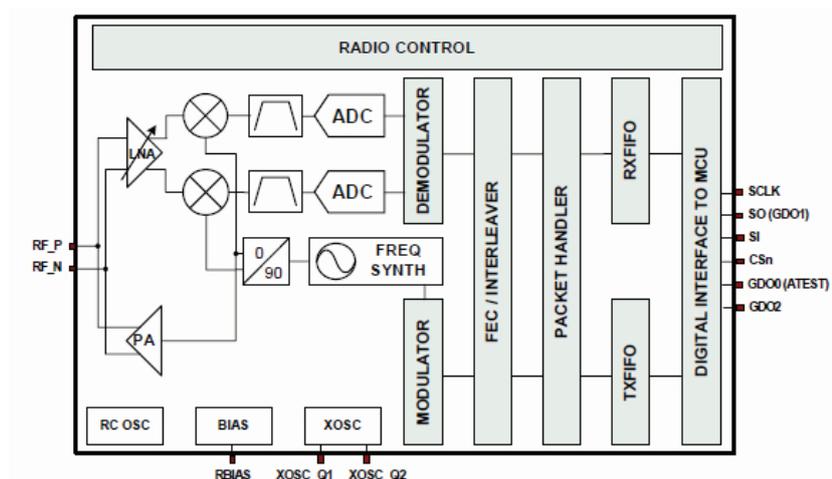


Abbildung 3.15: Blockschaltbild des CC1101 [31]

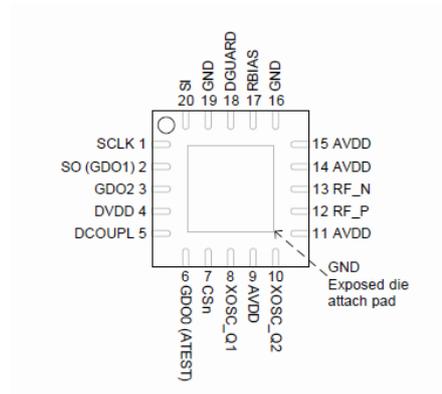


Abbildung 3.16: Pinout CC1101 [31]

Das empfangene RF Signal wird mittels des LNA (Low Noise Amplifier) verstärkt und in I/Q Signale gewandelt. Durch den A/D-Umsetzer werden diese Signale digitalisiert. Auch die Filterung, Demodulation und automatische Verstärkung werden digital durchgeführt. Der Frequenzsynthesizer erzeugt das Sendesignal. Dieser stellt mit einem on chip VCO und einem 90° Shifter das I/Q Signal her. Ein Quarz generiert den Takt für den Synthesizer und für die A/D-Umsetzer. Dieser ist an Pin XOSC_Q1 und XOSC_Q2 angebracht. Die Beschaltung des CC1101 von Texas Instruments ist in Abbildung 3.17 ersichtlich.

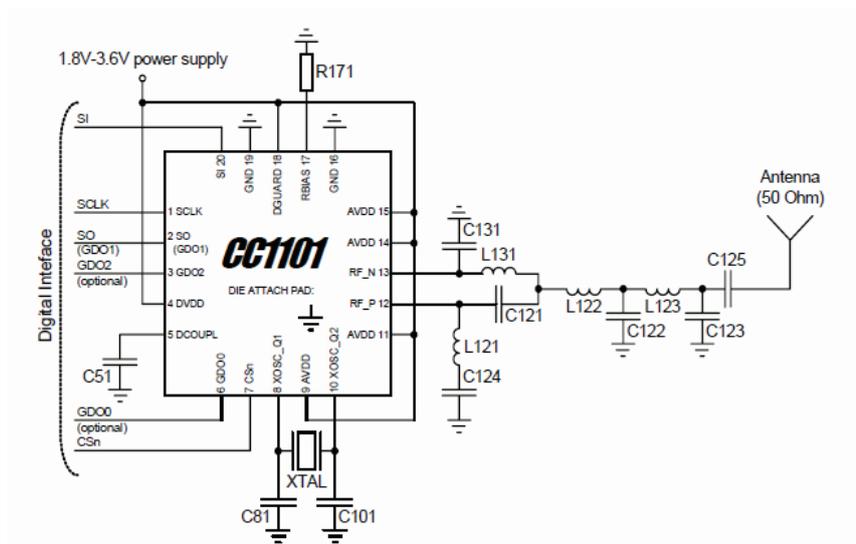


Abbildung 3.17: Die Beschaltung des CC1101 [31]

Der RF Ein- und Ausgang am CC1101 wird vom Pin RF_N und RF_P gebildet. Die Umschaltung zwischen RX (Empfangsmodus) und TX (Sendemodus) erfolgt automatisch. Die passiven Bauelemente müssen an Pin RF_N und RF_P angebracht werden, um für gute Leistungseigenschaften zu sorgen. Die Bauelemente C131, L131, L121 und C121 bilden den Balun, der das differentielle RF Signal in ein unsymmetrisches RF Signal wandelt. Als Koppelkondensatoren werden C124 und C125 verwendet. Die Impedanz wird mit dem LC-Netzwerk (L122, C122, L123, C123) auf 50Ω festgesetzt. Das Reference Design des CC1101 von Texas Instruments wurde übernommen, um die besten Eigenschaften in Bezug auf Leistung und Rauschen zu erhalten. Ebenso muss auf das Layout besonders geachtet werden.

Die folgende Abbildung 3.18 zeigt das PCB-Layout. Es ist gut ersichtlich, dass das Anpassnetzwerk ganz symmetrisch angebracht ist. Dies ist mit gelber Markierung dargestellt.

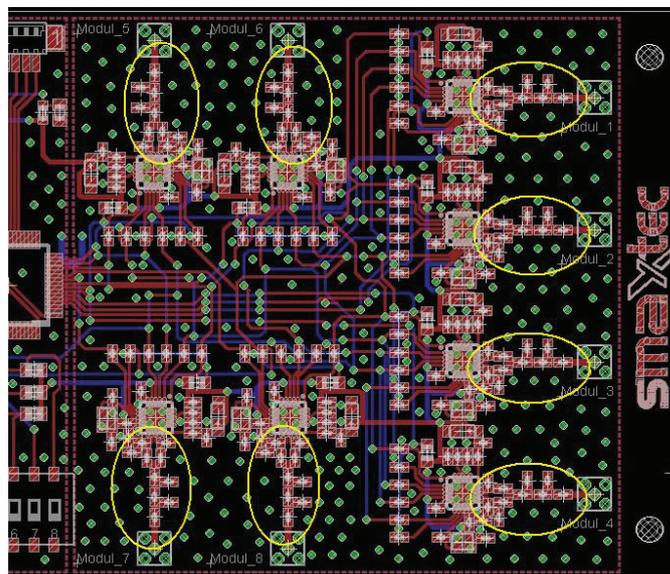


Abbildung 3.18: PCB-Layout der Funkmodule

Um die beste Signalstärke zu erreichen, soll der Bereich rund um den CC1101 eine Fläche mit dem Bezugspotential (RF-GND) sein. Ebenso sollen alle darunter liegenden Schichten, Flächen mit demselben Potential besitzen.

Weiters muss dieses Bezugspotential von der analogen Seite (A-GND) getrennt werden, was in Abbildung 3.19 deutlich zu sehen ist.

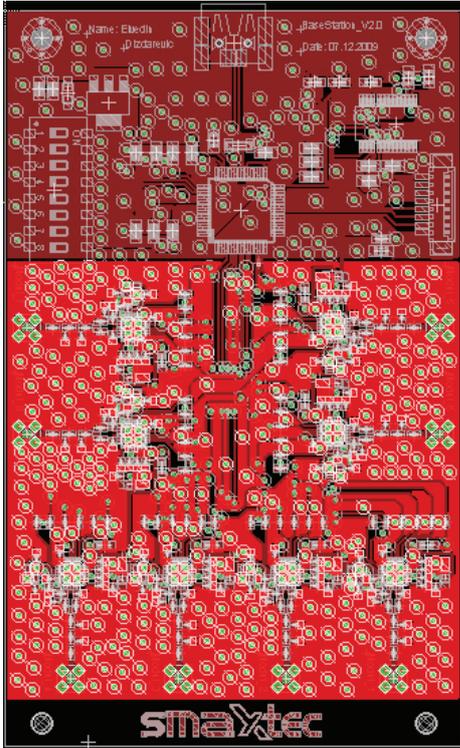


Abbildung 3.19: Layout, RF-GND

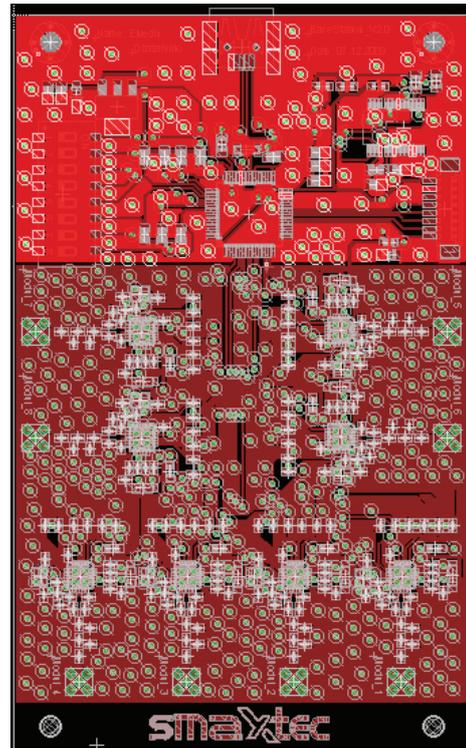


Abbildung 3.20: Layout, A-GND

Dies wird durch Trennen der beiden Massen bewerkstelligt. Die beiden Massen werden in einem Sternpunkt zusammengeführt. Durch dieses Verfahren wird weitgehend verhindert, dass die RF-Seite durch die analoge „Welt“ beeinflusst wird. Die analoge Seite (A-GND) ist in Abbildung 3.20 zu sehen.

3.3 Firmware

3.3.1 Funktionalität der Basisstation

Die generelle Funktionalität der Basisstation ist wie folgt definiert:

- Alle Datenblöcke, kommend via USB-Schnittstelle werden über die Luft-Schnittstelle (433 MHz) übertragen.

- Die einzelnen Datenblöcke sind durch Pausen von $T_{communication-timeout}$ im Datenstrom getrennt.
- Werden Daten auf der Luft-Schnittstelle empfangen, so werden diese auf Übertragungsfehler geprüft und - falls in Ordnung - über USB an die Host Applikation weiter geleitet.
- Mittels spezieller Escape-Sequenzen können Parameter der Basisstation geändert, bzw. Statusinformationen ausgelesen werden.

Alle ankommenden Daten werden ohne semantische Prüfung über den HF Transceiver übertragen. Die Übertragung eines Datenpaketes beginnt sobald auf der USB Schnittstelle für eine gewisse Zeit ($T_{communication-timeout}$) keine Daten folgen. Die Größe eines Datenpaketes ist auf 128 Byte beschränkt. Die Firmware kann mit 128 Byte Frames umgehen, muss diese jedoch auf mehrere Pakete aufteilen. Daher ist es empfehlenswert Frames mit mehr als 60 Byte zu vermeiden.

Beginnt ein Datenpaket mit der Zeichenkette `#Config:` wechselt die Basisstation in den Konfigurations-Modus, wo diverse Parameter gesetzt/abgefragt werden können. Die Tabelle 3.2 verdeutlicht diesen Konfigurations-Modus.

Escape Sequenz	Bedeutung
<code>#Config:VERSION</code>	Versionsnummer der Basisstation abfragen
<code>#Config:RSSI</code>	Signalstärke von letztem Paket abfragen
<code>#Config:RESET</code>	Software-Reset der Basisstation
<code>#Config:BAUDRATE=n</code>	Setzen der Baudrate
<code>#Config:RFPOWER=n</code>	Festlegen der Sendeleistung
<code>#Config:CHANNEL=hh</code>	Auswahl des Funk-Kanals
<code>#Config:DEVICEADDR=hh</code>	Festlegen einer Geräteadresse
<code>#Config:MDMCFG1=hh</code>	FEC und Preamble-Länge einstellen
<code>#Config:CRC=(ON—OFF)</code>	Hardware CRC16 Check aktivieren
<code>#Config:RFTEST</code>	Dauer-Senden aktivieren für Messungen
<code>#Config:BSPI</code>	Auslesen der Baudrate des CC1101
<code>#Config:BAUDSPI=n</code>	Setzen der Baudrate des CC1101

Tabelle 3.2: Konfigurations-Modus der Basisstation

Um feststellen zu können, welche Hardware/Software Version eine Basisstation hat, kann die Version-Escape-Sequenz benutzt werden. Der Rückgabewert ist ein String, welcher den aktuellen Firmware-Stand wiedergibt.

Befehl	#Config: VERSION
Parameter	keine
Antwort	Version-String (z.B. „Basestation V2.0“)

Der verwendete Funkchip CC1101 misst bei jedem empfangenen Frame die Signalstärke und die Basisstation-Firmware macht diese Information der Host Software zugänglich.

Befehl	#Config: RSSI
Parameter	keine
Antwort	Signalstärke im 2-er Komplement in Hex (z.B. „41“)

Aus zweierlei Gründen kann es notwendig sein einen Software-Reset in der Basestation auszulösen. Einerseits werden diverse Parameter nur beim Systemstart gesetzt (Baudrate, Sendeleistung, ...). Andererseits kann mittels Software-Reset ein Error-Recovery in der Host-Software implementiert werden.

Befehl	#Config: RESET
Parameter	keine
Antwort	keine

Aus Kompatibilitäts-Gründen wird auf der virtuellen seriellen Schnittstelle eine Datenrate von 19200 Baud, 2 Stop-Bits und keine Parität verwendet. Um einen höheren Datendurchsatz zwischen Host-Computer und Basisstation zu erzielen, kann die Datenrate erhöht werden.

Erst nach einem Software-Reset der Basisstation wird die Einstellung übernommen.

Befehl	#Config: BAUDRATE = n
Parameter	n = 0; 19200 Baud (default) n = 1; 38400 Baud n = 2; 57600 Baud n = 3; 115200 Baud n = 4; 230400 Baud
Antwort	„OK“ bzw. „ERROR“

Je nach verwendeten Antennen und zu überbrückenden Entfernungen zwischen Basisstation und Sensoren kann es sinnvoll sein die Sendeleistung zu variieren. Die Einstellung wird erst nach einem Software-Reset der Basisstation übernommen.

Befehl	#Config: RFPOWER = n
Parameter	n = 0; +10 dBm (default) n = 1; + 7 dBm n = 2; + 5 dBm n = 3; 0 dBm n = 4; - 5 dBm n = 5; -10 dBm n = 6; -15 dBm n = 7; -20 dBm n = 8; -30 dBm
Antwort	„OK“ bzw. „ERROR“

Je nach eingestellter Datenrate und Filtereinstellung des CC1101 Funk-Chips gehen sich im ISM Band (433,05 MHz bis 434,79 MHz) mehrere Kanäle aus. Die Kanalbreite beträgt 250 kHz. Die Einstellung wird erst nach einem Software-Reset der Basisstation übernommen.

Befehl	#Config: CHANNEL = nn
Parameter	nn... gewählter Kanal (in hex); (Channel 00 = 433.05MHz); Default: 00
Antwort	„OK“ bzw. „ERROR“

Der CC1101 Chip verfügt über einen einfachen Paket Filter. Jede Station bekommt eine Adresse zugeordnet und nur Datenpakete, welche an diese Adresse gerichtet sind, werden empfangen. Adresse 00 fungiert als Broadcast-Adresse. Die Einstellung wird erst nach einem Software-Reset der Basisstation übernommen.

Befehl	#Config: DEVICEADDR = nn
Parameter	nn... gewählte Adresse, codiert in 2 Hex-Stellen; Default: 00
Antwort	„OK“

Das High-Nibble des MDMCFG1 Registers kann direkt von der Host-Software programmiert werden. Dadurch lässt sich bei Bedarf die Forward-Error-Correction aktivieren, sowie die Länge der Präambel verändern. Die Einstellung wird erst nach einem Software-Reset der Basisstation übernommen.

Befehl	#Config: MDMCFG1 = nn
Parameter	nn... Registerinhalt als 2 Hex-Stellen codiert; Default: 33
Antwort	„OK“

Um Daten gesichert übertragen zu können, bietet der CC1101 Chip die Möglichkeit einen CRC16 automatisch zu berechnen und zu prüfen. In der Basisstation kann diese automatische Überprüfung abgeschaltet werden. Dann werden alle empfangenen Daten ohne Prüfung an den Host weitergeleitet.

Befehl	#Config: CRC =
Parameter	ON (default); OFF
Antwort	„OK“ bzw. „ERROR“

Zum Ändern der Baudrate des CC1101 dient folgender Befehl:

Befehl	#Config: BAUDSPI = n
Parameter	n... gewählter Baudrate n = 1; 1200 Baud n = 2; 2400 Baud n = 4; 4800 Baud n = 9; 10000 Baud Default: 4
Antwort	„OK“

Zum Auslesen der Baudrate des CC1101 ist dieser Befehl zuständig:

Befehl	#Config: BSPI =
Parameter	keine
Antwort	F5 = 1200Baud F6 = 2400 Baud C7 = 4800 Baud C8 = 10000 Baud

Die Kommunikation mit dem Sensorknoten ist in Abbildung 3.21 ersichtlich. Jegliche Kommunikation ist von der Host-Software ausgehend. Zum Zeitpunkt t_0 wird ein Frame am virtuellen COM-Port übertragen (t_1).

Nach Ablauf von $T_{communication-timeout}$ (t_2) übergibt die Firmware den Frame an den Funkchip CC1101. Nach kurzer Einschwingzeit der HF Endstufe beginnt dieser den Frame zu übertragen. Nach Erhalt des Frames im Sensorknoten (t_3) muss der Befehl dekodiert und ausgeführt werden. Je nach Art des Befehls dauert dies mehr oder weniger lang bis zum Zeitpunkt t_4 die Sensorknoten Firmware mit der Übertragung der Antwort beginnt. Sobald die Antwort vollständig von der Basisstation empfangen ist (t_5) und die CRC Überprüfung erfolgreich war, beginnt die Übertragung zum FTDI Chip (t_6, t_7). Da auf dem USB Bus jegliche Kommunikation stets vom USB Master ausgehen muss, pollt der FTDI USB Treiber periodisch ob Daten verfügbar sind. Je nachdem welches Polling Intervall beim Treiber konfiguriert wurde verzögert dies die Kommunikation zusätzlich und die Daten können erst zum Zeitpunkt t_8 von der Host-Software ausgelesen werden.

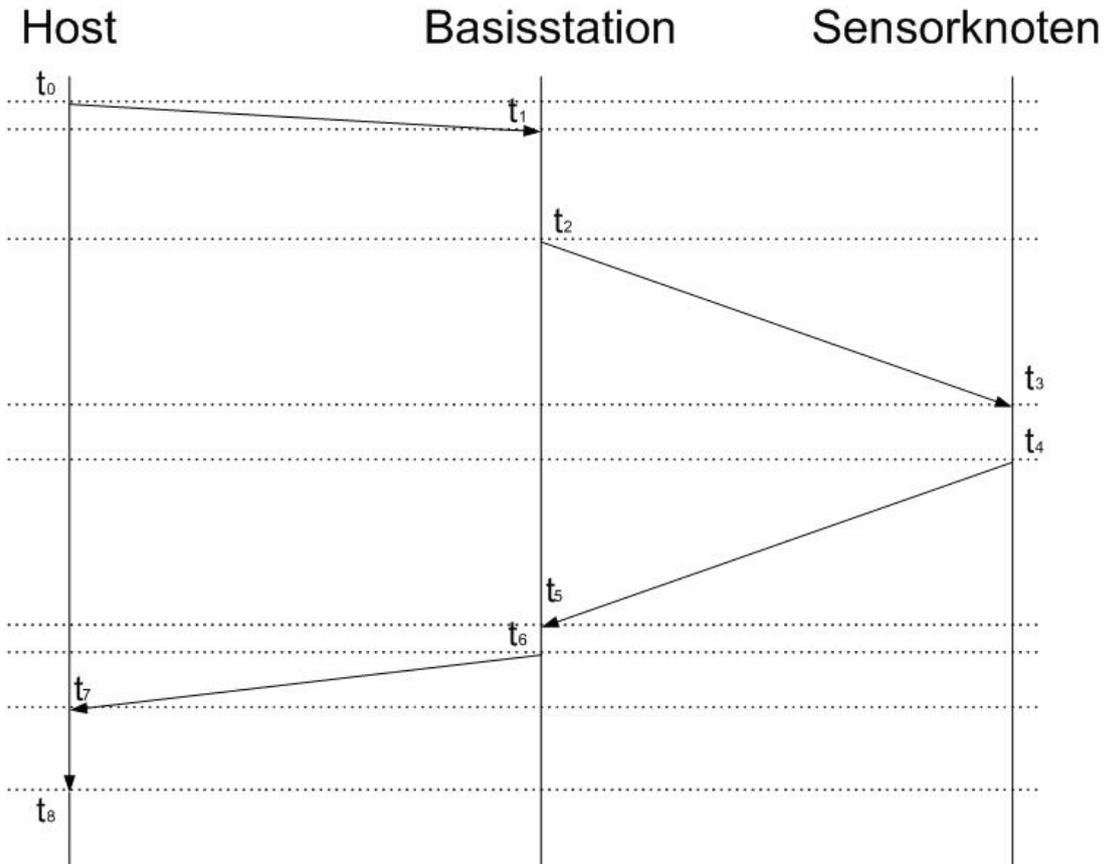


Abbildung 3.21: Kommunikationsablauf Host - Basisstation - Sensorknoten

Tabelle 3.3 gibt Aufschluss darüber wie die einzelnen Zeiten von der Frame-Größe (n) abhängen.

Zeit	Bezeichnung	Abschätzung
$t_0 - t_1$	Übertragung vom FTDI Chip	$\frac{n*11}{Baudrate}$
$t_1 - t_2$	Kommunikations-Timeout	$T_{communication-timeout} + \frac{n*8}{100.000}$
$t_2 - t_3$	RF Übertragung	$\frac{(n+4)*8}{10.000}$
$t_3 - t_4$	Befehlsausführung	$\mu s \dots s$
$t_4 - t_5$	RF Übertragung	$\frac{(n+4)}{1000}$
$t_5 - t_6$	Auslesen aus RF Chip	$\frac{n*8}{100.000}$
$t_6 - t_7$	Übertragung zu FTDI Chip	$\frac{n*11}{Baudrate}$
$t_7 - t_8$	USB Polling Intervall	1 - 255 ms

Tabelle 3.3: Berechnung des Round-Trip-Delays eines Befehls

In Tabelle 3.4 sind für eine Übertragung von 32 Nutzbyte alle Zeiten, sowie das gesamte Round-Trip Delay, angegeben.

Zeit	Bezeichnung	19,2 kBaud	230,4 kBaud
$t_0 - t_1$	Übertragung vom FTDI Chip	17 ms	1,44 ms
$t_1 - t_2$	Kommunikations-Timeout	32,56 ms	32,56 ms
$t_2 - t_3$	RF Übertragung	36 ms	36 ms
$t_3 - t_4$	Befehlsausführung	1 ms	1 ms
$t_4 - t_5$	RF Übertragung	36 ms	36 ms
$t_5 - t_6$	Auslesen aus RF Chip	2,56 ms	2,56 ms
$t_6 - t_7$	Übertragung zu FTDI Chip	17 ms	1,44 ms
$t_7 - t_8$	USB Polling Intervall	16 ms	16 ms
	Round Trip Delay	158 ms	98 ms

Tabelle 3.4: Gemessene Zeiten für Übertragung von 32 Byte Nutzdaten

Die Host-Software muss gewisse Timing-Vorgaben einhalten um einerseits eine fehlerfreie Kommunikation zu gewährleisten und um andererseits einen optimalen Datendurchsatz zu erzielen. Da die Basisstation keine Interpretation der zu sendenden Daten vornimmt, müssen Datenpakete mittels Kommunikations-Pausen definiert werden. Die Abbildung 3.22 veranschaulicht diese Situation.

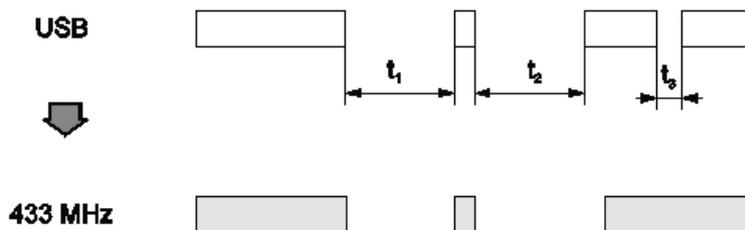


Abbildung 3.22: Timing für Datentransfer auf USB Schnittstelle

Datenblöcke, welche mit einer Pause größer als $T_{communication-timeout}$ (also t_1 und t_2) getrennt sind, werden in einem Burst gesendet. Treten in der USB Kommunikation kürzere Pausen (t_3) als $T_{communication-timeout}$ auf, so werden die Blöcke zusammengefasst und in einem Burst gesendet.

Es ist daher ratsam, dass die Host-Software alle Frames zunächst im Speicher zusammen stellt und dann mittels eines einzigen Write-Befehls am virtuellen COM-Port ausgibt.

3.3.2 Umschalten der Antennen

Das Umschalten der Antennen muss schnell erfolgen, denn nur so kann man durch geeignete Positionierung der Antennen im Betrieb, die Sensorknoten in Reichweite detektieren. Wie im Unterabschnitt 3.2.3 beschrieben hat man maximal acht Antennen zur Auswahl. In einem landwirtschaftlichen Betrieb reichen diese acht Antennen aus, um die Kommunikation zwischen der Basisstation und den Sensorknoten zu gewährleisten. Die Lösung sollte so aussehen, dass die Antennen vor allem in der Nähe der Fütterungsanlage sowie der Melkanlage montiert werden, da sich die Kühe an diesen zwei Stellen länger aufhalten. Somit ist gesichert, dass die Kommunikation zwischen der Basisstation und dem Sensor erfolgreich durchgeführt werden kann. Die restlichen Antennen werden im Betrieb montiert, um die Kommunikation stabil zu halten und um alle Sensoren detektieren zu können.

Um die Kommunikation und das Umschalten der Antennen besser zu verstehen, soll an dieser Stelle die Funktion des Sensorknotens beschrieben werden. Es werden kurz die Anforderungen der Sensorknoten beschrieben. Die generelle Funktionalität selbst ist wie folgt definiert:

- Wenn der Sensorknoten nicht aktiv ist (Idle), soll er in den Sleep Modus gehen um Energie zu sparen.
- Alle $T_{\text{measurement-intervall}}$ Sekunden aus dem Sleep Modus aufwachen, um Messwerte aufzunehmen und zu speichern.
- Alle $T_{\text{communication-intervall}}$ Sekunden aus dem Sleep Modus aufwachen und am Kommunikationskanal auf Anfragen des Servers reagieren.
- Ist kein Kommunikationspartner nach weiteren $T_{\text{communication-timeout}}$ Sekunden detektierbar, soll der Sensorknoten wieder in den Sleep Modus wechseln.
- Dasselbe gilt falls die Kommunikation an einer beliebigen Stelle unterbrochen wird.

Jeglicher Datenaustausch zwischen Host und Sensorknoten wird in Form von Datenpaketen abgewickelt. Ein derartiges Datagramm hat folgende Form:

SOF	Length	Payload	EOF
-----	--------	---------	-----

Jedes Paket beginnt mit einem „Start of Frame“, einem Längenfeld sowie dem eigentlichen Datenteil. Abgeschlossen wird ein Datenpaket jeweils mit einem „End of Frame“ Charakter.

SOF	0x7b („{“)
Length	1...125
EOF	0x7d („}“)

Ein Beispiel ist an dieser Stelle gegeben:

Der Beispiel-Befehl "7b092d08414141414141417d" (siehe 3.1) soll genauer beschrieben werden. Den „Start of Frame“ repräsentiert das „7b“ bzw. die offene geschweifte Klammer „{“. Dann folgt die Anzahl der Bytes, die die Nutzdaten (Payload) beinhalten, in diesem Fall „09“ Bytes. Der Quiet-Befehl ist mit „2d“ definiert bzw. mit „-“ dargestellt. Die Seriennummer des Sensorknotens ist „8“ Byte lang und als "0841414141414141" definiert. Abgeschlossen wird der Befehl mit einem „End of Frame“ Charakter bzw. mit einer geschlossener geschweiften Klammer „}“.

Unvollständige bzw. unkorrekte Datagramme werden grundsätzlich verworfen. Aufgrund des verwendeten Funkmoduls ist die Größe eines Datenpaketes auf 128 Byte limitiert.

Die Funktion eines Sensorknotens lässt sich durch ein Zustandsdiagramm (State Machine) beschreiben, wie in Abbildung 3.23 ersichtlich ist.

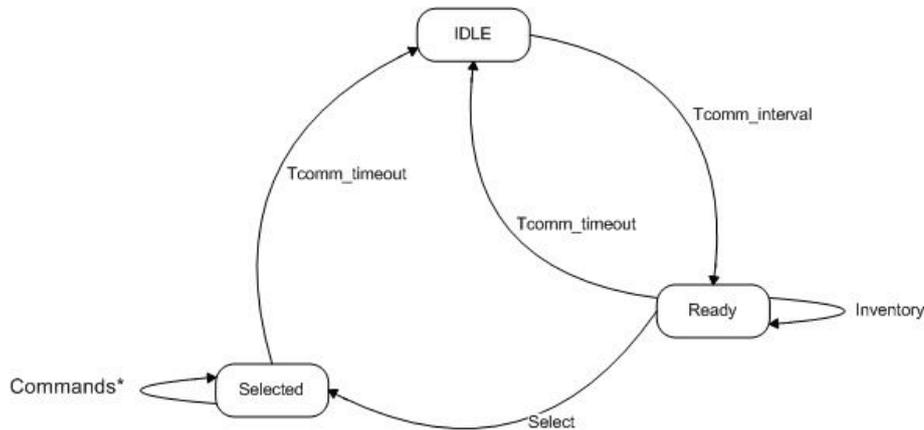


Abbildung 3.23: Zustandsdiagramm um die Funktion eines Sensorknotens zu beschreiben

Die meiste Zeit verbringt ein Sensorknoten im IDLE State. Hier ist das Funkmodul sowie andere Peripherie abgeschaltet, um Strom zu sparen. Folglich kann der Sensor in diesem Zustand nicht kontaktiert werden. In regelmäßigen Abständen ($T_{comm_interval}$) wechselt der Sensorknoten in den Ready State und verbleibt in diesem Zustand eine gewisse Zeit ($T_{comm_timeout}$). Im Ready State antwortet der Sensorknoten auf eine eingeschränkte Anzahl von Kommandos. Durch Senden des „Select“ Befehls wechselt der Sensorknoten in den Selected State. In diesen Zustand ist es möglich den Sensorknoten mittels einer Reihe von Befehlen zu konfigurieren, dessen gespeicherte Messwerte auszulesen, usw. Üblicherweise befindet sich immer nur ein Sensorknoten im Selected State. Wird für $T_{comm_timeout}$ kein Befehl an den Sensorknoten geschickt, so wechselt dieser in den IDLE State.

Mittels Konfigurations-Befehls ist es möglich alle Timeouts zu definieren. Im Default Zustand gelten folgende Werte:

$T_{comm_timeout}$	2s
$T_{comm_interval}$	60s

Diese Zeiten haben direkten Einfluss auf den Stromverbrauch des Sensorknotens.

Das Gesamtsystem ist in einem landwirtschaftlichen Betrieb installiert und die Kommunikation zwischen der Basisstation und dem Sensorknoten wird an dieser Stelle näher erklärt. Anhand des folgenden Logfile-Ausschnitts (3.1) soll die Kommunikation beschrieben werden:

Auflistung 3.1: Logfile-Ausschnitt der Kommunikation zwischen der Basisstation und dem Sensorknoten

```
onClientFound: "08:41:41:41:41:41:41" from: "/dev/ttyUSB0"
model::onClientFound: 594828374313091393
Complete new Device – Dynamic Create...
"12:18:38:036" > "7b092d08414141414141417d"
"12:18:38:236" < "7b080841414141414141417d"
"12:18:38:636" > "7b092d08414141414141417d"
"12:18:38:836" < "7b080841414141414141417d"
"38:836" Successfull Select/Quiet
"12:18:38:936" > "7b095308414141414141417d"
"12:18:39:136" < "7b080841414141414141417d"
"39:136" Successfull Select/Quiet
"12:18:39:236" > "7b0244467d"
"12:18:39:536" < "7b46000200c78340004333017800d0070841414141
41414141542b932efd31355c30f5365802c39fb44100000000000000000
00fa44474330303030"
"12:18:39:636" < "3030656f3135343030321f007d"
"12:18:39:736" > "7b01517d"
"12:18:39:936" < "7b0200037d"
"39:936" 3 AvailableDataPoints in client!
lastReadCount: 0 count: 3
generate ReadCommand...
"40.036" encode Read!
13 : "52000000030841414141414141"
"12:18:40:036" > "7b0d520000000308414141414141417d"
"12:18:40:236" < "7b880841414141414141417d"
"12:18:40:536" < "7b1b02120911521633041e02120911581636042502
12091208235205607d"
```

```

Decoded 3/3
onNewDataPoints
"40:537" Start DB write...
"40:567" Finished!
"12:18:40:636" > "7b095308414141414141417d"
"12:18:40:836" < "7b080841414141414141417d"
"40:836" Successfull Select/Quiet
"12:18:40:936" > "7b095808414141414141417d"
"12:18:41:136" < "7b01007d"
"41::136" Succussfull UnSelect/Eraser
"12:18:41:236" > "7b01557d"
"12:18:41:436" < "7b01007d"
"41:436" Succussfull UnSelect/Eraser

```

Wie in diesem Ausschnitt (3.1) ersichtlich wird als erstes die Zeit angegeben, z.B. "12:18:38:036". Das größer Zeichen „>“ weist darauf hin, dass ein Befehl von Basisstation aus zum Sensorknoten geschickt wurde, analog dazu ist das kleiner Zeichen „<“. Mit der Information „Successfull Select/Quiet“ wird angegeben, dass der Befehl erfolgreich durchgeführt wurde.

Um die Sensorknoten im Empfangsbereich der Basisstation zu finden, führt die Basisstation eine „Inventory Round“ mit Anti-Kollision („I“) durch. Das einfache Inventory-Kommando kann in Umgebungen mit vielen Sensorknoten in Reichweite der Basisstation zu Problemen führen, da bei Kollisionen auf der Luftschnittstelle keine gültigen Daten empfangen werden können. Um dennoch die gesamten Sensorknoten erkennen zu können, ist es möglich beim Inventory-Befehl einen „Round“ Parameter anzugeben. In Kombination mit dem „Quiet-Befehl“ ist es auf diese Weise möglich, stets alle in Empfangreichweite befindliche Sensoren zu detektieren.

Die Vorgehensweise hierfür ist wie folgt definiert:

- Host Software generiert eine neue Round Number $\neq 00h$.
- Inventory und Round Number wird geschickt.
- Aktive Sensorknoten antworten nach zufälliger Verzögerung (0... 300 ms).

- Host schickt Quiet-Befehl an detektierte Sensorknoten → Betroffene Sensorknoten antworten in dieser Runde nicht mehr auf Inventory-Befehle.
- Nach einer gewissen Zeit ($2 * T_{comm_interval}$) beendet der Host diese Inventory Runde.

Ein derartiges Datagramm hat folgende Form:

Befehl	„I“ (Hex = 49; Inventory)
Parameter	Aktuelle Runde (1 Byte, $\neq 00h$)
Sensorknoten Antwort	Seriennummer (8 Byte)

Wenn ein Sensorknoten in Reichweite detektiert wird, antwortet er, wie im Logfile-Ausschnitt (3.1) ersichtlich, mit seiner Seriennummer "08:41:41:41:41:41:41". Diese wird dem Sensorknoten beim Initialisieren manuell zugewiesen.

Die Zeile "12:18:38:036" > "7b092d08414141414141417d" bedeutet, dass genau zu diesem Zeitpunkt der „Quiet-Befehl“ von der Basisstation aus zum Sensorknoten geschickt wird. Der Quiet-Befehl dient dazu, gefundene Sensorknoten zu bestätigen. Der ausgewählte Sensorknoten bestätigt diesen Befehl mit seiner Seriennummer, in diesem Fall mit "12:18:38:236" < "7b080841414141414141417d" und antwortet in der aktuellen Runde nicht mehr auf weitere Inventory-Befehle.

Das dazugehörige Datagramm ist wie folgt definiert:

Befehl	„-“ (Hex = 2d; Quiet)
Parameter	Seriennummer (8 Byte)
Sensorknoten Antwort	Seriennummer (8 Byte)

Als nächster Schritt wird zum Zeitpunkt

"12:18:38:936" > "7b095308414141414141417d" der Select-Befehl von der Basisstation aus zum Sensorknoten geschickt. Mittels Select-Befehl wird ein Sensorknoten ausgewählt, um ihm weitere Kommandos schicken zu können. Es ist zu jedem Zeitpunkt maximal ein Sensorknoten im „Selected State“.

Das Datagramm ist wie folgt definiert:

Befehl	„S“ (Hex = 53; Select)
Parameter	Seriennummer (8 Byte)
Sensorknoten Antwort	Seriennummer (8 Byte)

Auch in diesem Fall liefert der Sensorknoten die Seriennummer zurück, "12:18:39:136" < "7b0808414141414141417d". Dann folgt mit "39:136" „Successfull Select/Quiet“ die Bestätigung, dass der Select-Befehl erfolgreich durchgeführt worden ist.

Zum Zeitpunkt "12:18:39:236" > "7b0244467d" wird der Read-Flashconfig Befehl zum Sensorknoten geschickt.

Nun das Datagramm für den Read-Flashconfig Befehl:

Befehl	„DF“ (Hex = 4446; Read-Flashconfig)
Sensorknoten Antwort	Inhalt der Struktur Flashconfig (n Byte)

Der Sensorknoten liefert mit

"12:18:39:536" < "7b46000200c78340004333017800d...4330303030"

und "12:18:39:636" < "3030656f3135343030321f007d" einen langen Flashconfig Inhalt zurück.

In weiterer Folge schick die Basisstation diesen Befehl "12:18:39:736" > "7b01517d" zum Sensorknoten. Es handelt sich um den Query-Befehl. Mittels Query-Befehl kann die Anzahl der gespeicherten Messwerte ausgelesen werden.

Ein derartiges Datagramm hat folgende Form:

Befehl	„Q“ (Hex = 51; Query)
Parameter	keine
Sensorknoten Antwort	Anzahl der Messwerte (2 Byte)

Die Antwort des Sensorknotens lautet „Anzahl der Messwerte“ und ist mit

"12:18:39:936" < "7b0200037d" angegeben. Die Länge ist hier mit „02 Byte“ definiert und die Anzahl der Messwerte „03“ beträgt.

Mit folgender Angabe "39:936" „3 AvailableDataPoints in client!“ wird darauf hingewiesen, dass 3 Messwerte zur Verfügung stehen. Mit dieser Information wird der Read-Befehl vorbereitet und zum Sensorknoten gesendet:

```
lastReadCount: 0 count: 3
generate ReadCommand...
"40.036" encode Read!
13 : "52000000030841414141414141"
"12:18:40:036" > "7b0d520000003084141414141417d"
```

Das Datagramm ist wie folgt definiert:

Befehl	„R“ (Hex = 52; Read Data)
Parameter	Start Index (2 Byte) Anzahl der Messwerte (n) (2 Byte)
Sensorknoten Antwort	(9*n Byte)

Dieser Befehl ist zum Auslesen des Datenspeichers vorgesehen. Man kann entweder den ganzen Speicher auslesen oder auch nur Teile (z.B. die letzten Messwerte). Dieser Befehl kann nur im „Selected State“ benutzt werden.

Mit "12:18:40:236" < "7b8808414141414141417d" wird zuerst die Seriennummer gesendet, dann folgt mit

"12:18:40:536" < "7b1b02120911521633041e0212091...235205607d" das Auslesen des Datenspeichers. Die weiteren Informationen zeigen nur den Ablauf beim Auslesen der Messwerte.

```
Decoded 3 / 3
onNewDataPoints
"40:537" Start DB write...
"40:567" Finished!
```

Mit dem Select-Befehl wird der detektierte Sensorknoten wieder selektiert "12:18:40:636" > "7b095308414141414141417d". Darauf antwortet der Sensorknoten mit der Seriennummer "12:18:40:836" < "7b0808414141414141417d" und bestätigt mit "40:836" „Successfull Select/Quiet“ die erfolgreiche Durchführung. Das Selektieren muss erfolgen, um den Messwertspeicher des detektierten Sensorknotens zu löschen. Das geschieht mit dem Erase-Befehl "12:18:40:936" > "7b095808414141414141417dd". Aus Sicherheitsgründen muss noch einmal die Seriennummer des zu löschenden Sensorknotens angegeben werden. Dieser Befehl kann nur im „Selected State“ benutzt werden.

Das Datagramm ist wie folgt definiert:

Befehl	„X“ (Hex = 58; Erase Data)
Parameter	Serial Number (8 Byte)
Sensorknoten Antwort	Bestätigung (00h) Fehlercode ($\neq 00h$)

Dem Datagramm nach ist die Antwort des Sensorknotens mit einer Bestätigung definiert, "12:18:41:436" < "7b01007d". Da die Bestätigung „00“ lautet, sind die Daten gelöscht worden. Schlussendlich wird mit "41:436" „Succussfull UnSelect/Erase“ hingewiesen, dass der Erase-Befehl erfolgreich durchgeführt wurde.

Um das Umschalten der Antennen zu verdeutlichen, ist in Abbildung 3.24 der Zeitverlauf des Sensorknotens sowie vom Host ersichtlich. Wie schon beschrieben ist der Sensorknoten in der Zeit $T_{comm.timeout}$ für 2 Sekunden wach und befindet sich im Ready-Zustand. Sollte in dieser Zeit ein Inventory-Befehl von einer der acht Antennen geschickt werden, ist man in der Lage den Sensorknoten zu detektieren. Folglich wird der Sensorknoten selektiert, um ihm weitere Befehle zu schicken. Sollten keine Befehle kommen, so wechselt der Sensorknoten wieder in den IDLE-Zustand. Nach Ablauf der Zeit $T_{comm.interval}$, die in der Default-Einstellung 60 Sekunden beträgt, wacht der Sensorknoten wieder aus dem Sleepmodus auf und bleibt für weitere 2 Sekunden ($T_{comm.timeout}$) im Ready-Zustand. Das Umschalten der Antennen erfolgt alle 360 ms. Das Wichtigste dabei ist, dass zum Zeitpunkt $T_{comm.timeout}$ der Sensorknoten, die Kommunikation an einer der acht Antennen stattfindet. Nur in solchem Fall ist gesichert, dass man den Sensorknoten in Reichweite detektieren und folglich die Messwerten auslesen kann.

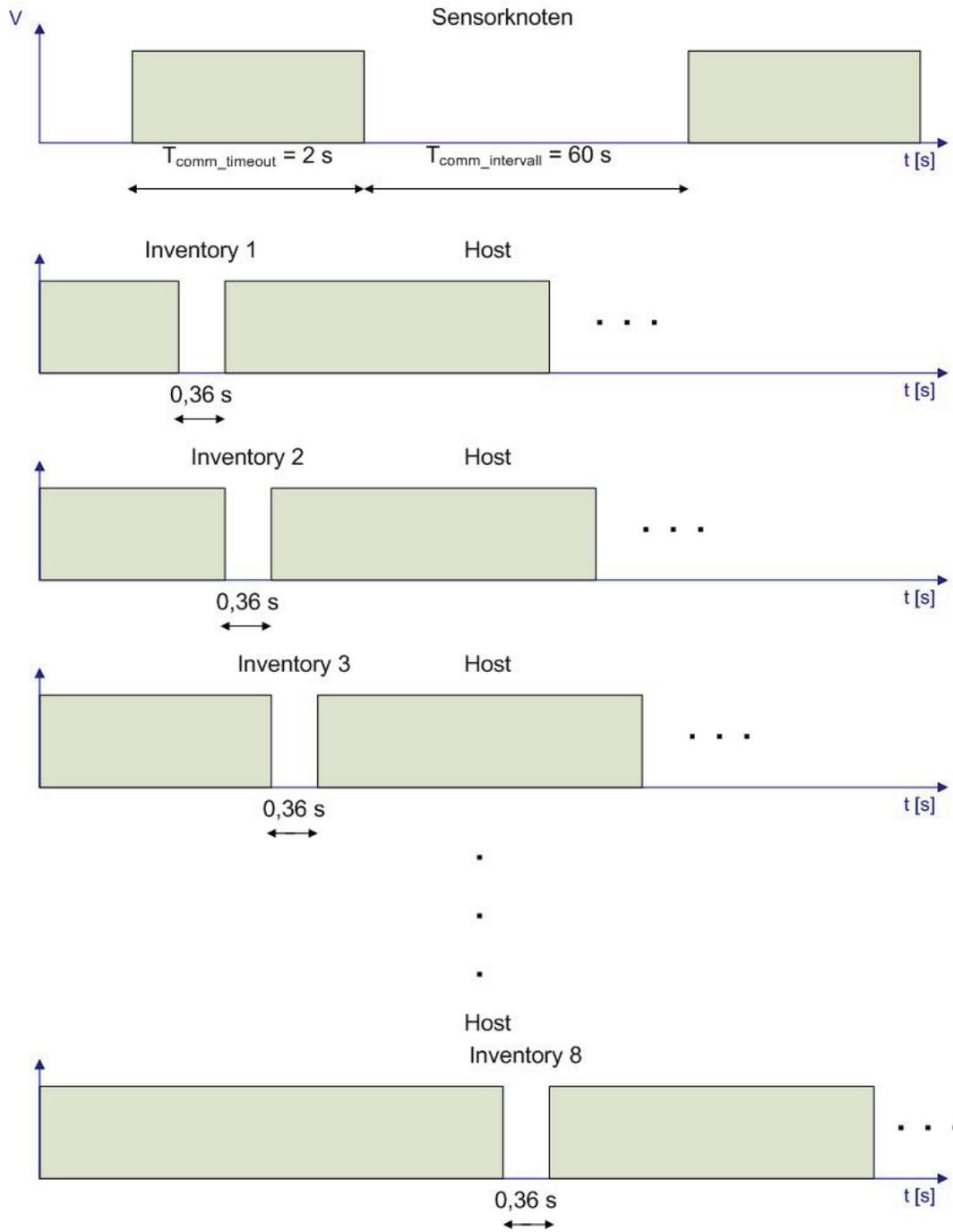


Abbildung 3.24: Zeitverlauf beim Umschalten der Antennen

Das Flussdiagramm des Programmablaufs, das in Abbildung 3.25 ersichtlich ist, verdeutlicht das Umschalten der Antennen näher.

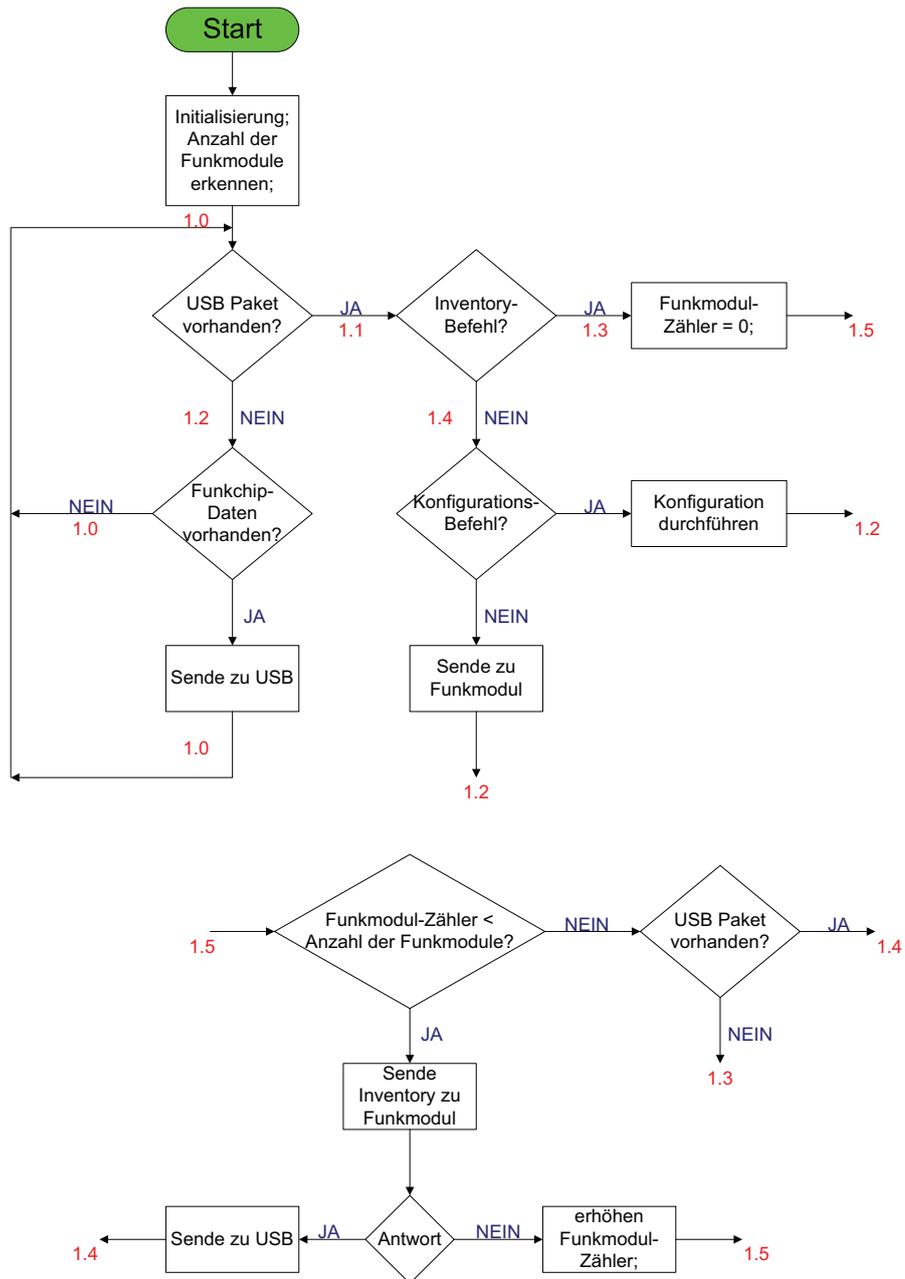


Abbildung 3.25: Das Flussdiagramm des Programmablaufs

Beim Start des Programms werden zuerst die Funkmodule initialisiert. Danach erfolgt die Abfrage, ob ein USB Paket vorhanden ist. Wenn JA, wird im USB Paket nach einem Inventory-Befehl gesucht. Ist die Abfrage erfolgreich, wird die „Broadcast-Methode“ aufgerufen und das Umschalten der Antennen durchgeführt.

Der Funkmodul-Zähler wird auf Null gesetzt. Damit wird gesichert, dass man beim ersten Funkmodul bzw. bei der ersten Antenne anfängt zu senden. Weiters wird abgefragt, ob der Funkmodul-Zähler kleiner als die Anzahl der Funkmodule ist. Erfolgt dabei eine positive Antwort, wird der Inventory-Befehl an das Funkmodul gesendet. Danach erwartet das Funkmodul eine Antwort vom Sensorknoten. Wenn die Antwort JA lautet, werden die Daten zum USB und folglich zum Host gesendet. Falls aber die Antwort negativ ist, dann muss der Funkmodul-Zähler erhöht werden. Dies bedeutet, dass auf die nächst liegende Antenne umgeschaltet wird. Es erfolgt wieder die gleiche Abfrage ob der Funkmodul-Zähler kleiner als die Anzahl der Funkmodule ist. Somit wird laufend von der ersten bis zur letzten Antenne umgeschaltet (In diesem Fall sind es acht Antennen).

Die Entwicklungsumgebung ist Code Composer Essentials v3.1 Core Edition von Texas Instruments. Dies ist eine Freeware-Version, die auf 16 kB Codegröße beschränkt ist. Der C-Compiler und ein Debugger sind bereits eingebunden. Diese Entwicklungsumgebung ist auf Eclipse basierend und vom Aussehen fast identisch. Der Code für die Firmware ist in C-Programmiersprache entwickelt worden. Die Codegröße beträgt dabei 6221 Bytes.

In Abbildung 3.26 ist der Ausschnitt des Code Composer Essentials v3.1 ersichtlich.

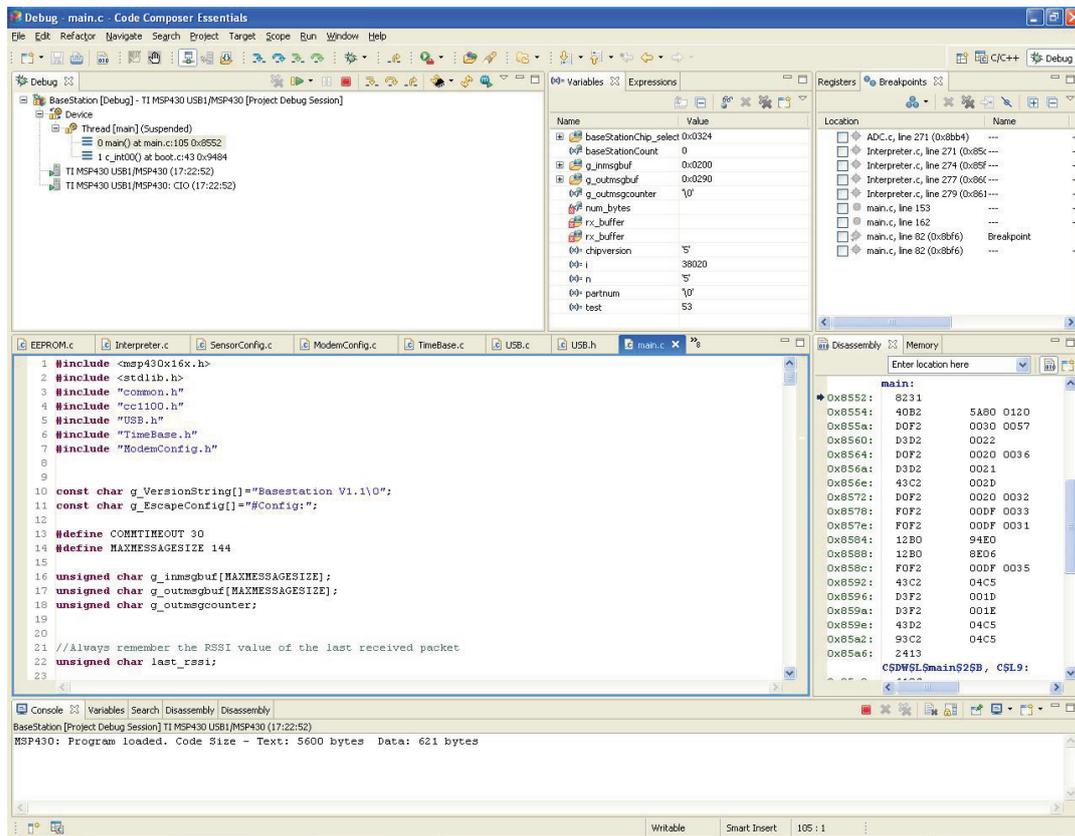


Abbildung 3.26: Code Composer Essentials v3.1 Core Edition

Der μC wird über die JTAG-Schnittstelle programmiert. Dies ist mit Hilfe des MSP430 USB Debugging Interface möglich, das in Abbildung 3.27 zu sehen ist.



Abbildung 3.27: MSP430 USB Debugging Interface [32]

Kapitel 4

Evaluierung

4.1 EMV-Prüfung

Die EMV-Prüfungen der entwickelten Basisstation wurden in Zusammenarbeit mit der FH JOANNEUM in Kapfenberg nach der R&TTE¹ Richtlinie durchgeführt. Die Ergebnisse der Prüfungen müssen den Anforderungen nach ETSI EN 301 489-1 V1.4.1 (2002-08) und ETSI EN 301 489-3 V1.4.1 (2002-08) entsprechen. Die in diesem Abschnitt 4.1 angegebenen Ergebnisse beziehen sich auf den Prüfbericht mit der Projektnr. PIE.08.017-01 (Datum: 18-02-2010) erstellt von der FH JOANNEUM.

Die Norm ETSI EN 301 489-1 V1.4.1 (2002-08) ist wie folgt definiert: Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkpektrumangelegenheiten (ERM); Elektromagnetische Verträglichkeit für Funkeinrichtungen und -dienste; Teil 1: Gemeinsame technische Anforderungen.

Weiters ist die Norm ETSI EN 301 489-3 V1.4.1 (2002-08) definiert: Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkpektrumangelegenheiten (ERM); Elektromagnetische Verträglichkeit für Funkeinrichtungen und -dienste; Teil 3: Spezifische Bedingungen für Funkgeräte geringer Reichweite (SRD) für den Einsatz auf Frequenzen zwischen 9 kHz und 40 GHz [33].

¹Radio & Telecommunications Terminal Equipment (Funkanlagen und Telekommunikations-einrichtungen)

Folgende Prüfungen wurden durchgeführt:

- Prüfung ESD,
- Prüfung BURST,
- Prüfung HF asymmetrisch,
- Prüfung HF symmetrisch,
- Prüfung Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung,
- Funkstörfeldstärke Prüfung und
- Prüfung Funkstörspannung.

Zur Bewertung bei den Störfestigkeitsmessungen wurde neben der Kontrolle der allgemeinen Funktion (Kontrolle über LED Status Sensorknoten, LED Status Basisstation) auch die Datenkommunikation zwischen Basisstation und Sensorknoten im Detail ausgewertet (Log Daten).

Das Prüfobjekt besteht aus nachfolgenden Komponenten:

- Basisstation,
- POE (Power over Ethernet) Adapter,
- Sensorknoten LEN 195142 0924/0017 (ohne Gehäuse),
- Monopol Stabantenne und
- Steckernetzteil WATTAC BBA0241CI-180-A03 18VDC

In der Tabelle 4.1 sind die Prüfpunkte (Schnittstellen) der Störfestigkeitsmessungen ersichtlich.

Bezeichnung	Anschluss
Netz	Steckernetzteil 2 polig 2,0 m
LAN Kabel	LAN Kabel CAT5 > 3,0 m
Antenne	Antennenkabel RG58 > 3,0 m

Tabelle 4.1: Prüfpunkte der Störfestigkeitsmessungen

Es wurde durchwegs ein Störgrad höher und ein Bewertungskriterium mehr bestanden. Dies entspricht der Störfestigkeit in der Industrie. Die Messergebnisse sind in folgender Tabelle 4.2 dargestellt.

Störfestigkeit	Norm	Prüfergebnis
ESD	EN 61000-4-2	Anforderung erfüllt
HF symmetrisch	EN 61000-4-3	Anforderung erfüllt
BURST	EN 61000-4-4	Anforderung erfüllt
HF asymmetrisch	EN 61000-4-6	Anforderung erfüllt
Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung	EN 61000-4-11	Anforderung erfüllt
Störaussendung		
Funkstörungen	EN 55022	Anforderung erfüllt

Tabelle 4.2: Messergebnisse der EMV-Prüfung

Es wurden zusätzlich zum Prüfobjekt weitere Komponenten verwendet:

- Laptop mit Test Software Putty Version 0.60.0.0

Das Prüfobjekt darf unter Störeinfluss gewisse Fehler aufweisen. Dafür gibt es verschieden strenge Bewertungskriterien:

- Performance Kriterium A,
- Performance Kriterium B und
- Performance Kriterium C.

Das strengste Bewertungskriterium ist das Kriterium A und das fehlertoleranteste das Kriterium C. Eines der drei Bewertungskriterien ist je nach Intensität der Prüfung gemäß Norm ETSI EN 301 489-3 V1.4.1 gültig.

Während des Tests gilt für das Performance Kriterium A:

- Muss gemäß Spezifikationen weiterarbeiten,
- kein Funktionsausfall,
- für Einrichtung Typ II die min. Performance soll 12 dB SINAD² sein,
- keine unabsichtliche Reaktionen.

Nach dem Test gilt für das Performance Kriterium A:

- Muss gemäß Spezifikationen weiterarbeiten,
- für Einrichtung Typ II soll die Kommunikationsverbindung erhalten sein,
- kein Funktionsausfall,
- keine Verschlechterung der Performance,
- kein Verlust der gespeicherten Daten oder vom Anwender programmierbarer Funktionen.

Während des Tests gilt für das Performance Kriterium B:

- Funktionsausfall darf auftreten (ein oder mehrere),
- keine unabsichtliche Reaktionen.

Nach dem Test gilt für das Performance Kriterium B:

- Muss gemäß Spezifikationen weiterarbeiten,
- ausgefallene Funktionen müssen sich von selbst wieder erholen,
- keine Verschlechterung der Performance,

²Signal to Noise and Distortion (Verhältnis von Signalleistung zu Rauschleistung)

- kein Verlust der gespeicherten Daten oder vom Anwender programmierbarer Funktionen.

Während des Tests gilt für das Performance Kriterium C:

- Die Funktion darf ausfallen.

Nach dem Test gilt für das Performance Kriterium C:

- Ausgefallene Funktionen müssen sich entweder von selbst wieder erholen oder vom Anwender wieder in einen funktionstüchtigen Zustand gebracht werden.

Für alle Bewertungskriterien gilt, dass kein Personen- oder Sachschaden entstehen darf. Außerdem dürfen keine gefährlichen oder unsicheren Zustände entstehen.

In folgenden Unterabschnitten werden die Prüfungen detaillierter beschrieben.

4.1.1 Prüfung ESD

Die Messanordnung entspricht dem Messaufbau für eine Laborprüfung nach EN 61000-4-2+A1 +A2:2002. Folgende Prüfgeräte wurden dabei verwendet:

- Schaffner ESD Simulator NSG 435
- Prüfelektrode für Luftentladung
- Prüfelektrode für Kontaktentladung

In Abbildung 4.1 ist ESD-Prüfaufbau ersichtlich.



Abbildung 4.1: ESD-Prüfaufbau

Den Anforderungen nach ETSI EN 301 489-1 V1.4.1 sind mindestens jeweils 100 positive und 100 negative Entladungen, auf mindestens vier Prüfpunkten und maximal eine Entladung je Sekunde notwendig. Es dürfen keine Entladungen auf offene Steckverbindungen sein. In der Tabelle 4.3 sind die Anforderungen dargestellt.

Spannung	Einkoppelart	Bewertungskrit.	Einkoppelort
$\pm 4,0$ kV	Kontaktentladung	B	Vom Anwender berührbare Teile bzw. Flächen leitfähig
$\pm 8,0$ kV	Luftentladung	B	Vom Anwender berührbare Teile bzw. Flächen nicht leitfähig

Tabelle 4.3: Anforderungen, ESD-Prüfung

Allgemeine Prüfpunkte sind:

- indirekte Kontaktentladung auf die vertikale Koppelplatte,
- indirekte Kontaktentladung auf die horizontale Koppelplatte,
- direkte Kontaktentladung auf Gehäuse und
- direkte Luftentladung auf isolierte Oberflächen.

In der Tabelle 4.4 sind die Prüfpunkte der ESD-Prüfung ersichtlich.

Bezeichnung	Anschluss
Gehäuse P1	Oberfläche Metallgehäuse
Stecker LAN	Stecker der LAN Verbindung (POE)
Stecker Antenne	Stecker des Antennenkabels
Stecker Antenne 1	Stecker des offenen Antennenanschlusses

Tabelle 4.4: Prüfpunkte der ESD-Prüfung

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle 4.5 sind zu sehen.

Nr.	Einkoppelort	Luft	Kont.	kV	Ergebnis / Anmerkung
1	Gehäuse P1	x		± 6	Kein Fehler
2	Gehäuse P1	x		± 8	Kein Fehler
3	Gehäuse P1	x		± 15	Kein Fehler
4	Gehäuse P1		x	± 4	Kein Fehler
5	Gehäuse P1		x	± 6	Kein Fehler
6	Gehäuse P1		x	± 8	Kein Fehler
7	Stecker LAN	x		± 6	Kein Fehler
8	Stecker LAN	x		± 8	Kein Fehler
9	Stecker LAN	x		± 15	Kein Fehler
10	Stecker LAN		x	± 4	Kein Fehler
11	Stecker LAN		x	± 6	Kein Fehler
12	Stecker LAN		x	± 8	Kein Fehler
13	Stecker Ant	x		± 6	Kein Fehler
14	Stecker Ant	x		± 8	Kein Fehler
15	Stecker Ant	x		± 15	Kein Fehler
16	Stecker Ant		x	± 4	Kein Fehler
17	Stecker Ant		x	± 6	Kein Fehler
18	Stecker Ant		x	± 8	Kein Fehler
19	Stecker Ant 1	x		± 6	Kein Fehler
20	Stecker Ant 1	x		± 8	Kein Fehler
21	Stecker Ant 1	x		± 15	Kein Fehler
22	Stecker Ant 1		x	± 4	Kein Fehler
23	Stecker Ant 1		x	± 6	Kein Fehler
24	Stecker Ant 1		x	± 8	Kein Fehler

Tabelle 4.5: Ergebnisse der ESD-Prüfung

Es wurde für alle Tests Kriterium A erreicht (Kriterium B gefordert). Da die Basisstation ein Metallgehäuse besitzt wurde auf die vertikale Einkoppelmethode verzichtet.

4.1.2 Prüfung BURST

Die Messanordnung entspricht dem Messaufbau für eine Laborprüfung nach EN 61000-4-3:2007. Die dabei verwendeten Prüfgeräte sind:

- Steuer PC: mit IEEE-Schnittstelle und Software
- Ultra-Compact-Simulator UCS 500-M Firma EM Test S/N 0499-07
- kapazitive Koppelzange

In Tabelle 4.6 sind die Anforderungen nach ETSI EN 301 489-1 V1.4.1 dargestellt.

Prüfwert	Einkoppelart	Bewertungs-kriterium	Einkoppelort
0,5 kV	kap. Koppelzange	B	Eingangs-/Ausgangsanschluss, Telekommunikationsanschluss, nur > 3 m
1,0 kV	Koppelnetzwerk	B	Wechselstromnetzversorgung
0,5 kV	Koppelnetzwerk	B	Gleichstromversorgung, nur > 3 m

Tabelle 4.6: Anforderungen BURST-Prüfung

Der Prüfaufbau ist in Abbildung 4.2 dargestellt.



Abbildung 4.2: BURST-Prüfaufbau

Die Prüfpunkte sind in folgender Tabelle 4.7 ersichtlich.

Bezeichnung	Anschluss
Netz	Steckernetzteil 2 polig 2,0 m
LAN Kabel	LAN Kabel CAT5 > 3,0 m
Antenne	Antennenkabel RG58 > 3,0 m

Tabelle 4.7: Prüfpunkte der BURST-Prüfung

Beim Netzkabel konnten 2 kV (gefordert 1 kV) Burstspannungsfestigkeit erreicht werden. In der Tabelle 4.8 sind die Ergebnisse zu sehen.

Nr.	Koppl.	Spg.	Pol.	Bewertung	Ergebnis / Anmerkung
1	L, N, L+N	1,0 kV	pos/neg	A	Kein Fehler
2	L, N, L+N	2,0 kV	pos/neg	A	Kein Fehler

Tabelle 4.8: Ergebnisse, Prüfpunkt-Netzkabel

Weiters konnten 1 kV (gefordert 0,5 kV) Burstspannungsfestigkeit beim LAN Kabel erreicht werden. Dies ist in der Tabelle 4.9 ersichtlich.

Nr.	Koppl.	Spg.	Pol.	Bewertung	Ergebnis / Anmerkung
1	Clamp	0,5 kV	pos/neg	A	Kein Fehler
2	Clamp	1,0 kV	pos/neg	A	Kein Fehler

Tabelle 4.9: Ergebnisse, Prüfpunkt-LAN Kabel

Bei der Antenne konnten 1 kV (gefordert 0,5 kV) Burstspannungsfestigkeit erreicht werden. Die folgende Tabelle 4.10 verdeutlicht dies.

Nr.	Koppl.	Spg.	Pol.	Bewertung	Ergebnis / Anmerkung
1	Clamp	0,5 kV	pos/neg	A	Kein Fehler
2	Clamp	1,0 kV	pos/neg	A	Kein Fehler

Tabelle 4.10: Ergebnisse, Prüfpunkt-Antenne

4.1.3 Prüfung HF asymmetrisch

Die Messanordnung entspricht dem Messaufbau für eine Laborprüfung nach EN 61000-4-6+A1: 2002. In Abbildung 4.3 ist der Prüfaufbau HF asymmetrisch dargestellt.



Abbildung 4.3: HF asymmetrisch-Prüfaufbau

Dabei beträgt der Prüfpegel der EMV Störfestigkeit HF-unsymmetrisch mit 1 kHz, 3V, 80 % AM bei 0,15 - 80 MHz nach EN 61000-4-6 mit Bewertungsklasse A. Die verwendeten Prüfgeräte bzw. Hilfsmittel sind in Tabelle 4.14 zu sehen.

Geräteart	Typ/Modell	Hersteller	Serien Nr.
HF Leistungssignalgenerator 20 kHz 230 MHz, bis 25V	CWS 500 A	EM Test	1026.552.12
PC mit IEEE-Schnittstelle u. Steuer-SW	ICD SW	EM Test	1003
6 dB Abschwächer	ATT6	EM Test	9709049A
EM Clamp	F-0231-23	FCC	—
CDN Netzleitung 2/3 polig	CDN 801-M2/M3	Lüthi	1775
CDN Power Line	FCC-801-M2-16A	FCC	9957
CDN Symm. Signal Leitungen	FCC-801-T4	FCC	9938
CDN Unsymm. Signal Leitungen	FCC-801-AF12	FCC	9912
CDN gesch. Signal Leitungen	FCC-801-S25	FCC	9932

Tabelle 4.11: Verwendete Prüfgeräte bzw. Hilfsmittel, HF asymmetrisch

Die Prüfpunkte sind in Tabelle 4.12 ersichtlich.

Bezeichnung	Anschluss
Netz	230 V Steckernetzteil 2 polig 2,0 m (PoE)
LAN Kabel	LAN Kabel CAT5 > 3,0 m
Antenne	Antennenkabel RG58 > 3,0 m

Tabelle 4.12: Prüfpunkte der HF asymmetrisch-Prüfung

Die Messungen wurden entsprechend EN 61000-4-6, 80% AM 5 V im Bereich 0,15 bis 80 (230) MHz durchgeführt. Das dazu gehörige Logfile ist in Auflistung 4.1 ersichtlich.

Auflistung 4.1: Logfile-Ausschnitt der HF asymmetrisch Prüfung

```
onClientFound: "11:41:41:41:41:41:41:41" from: "/dev/ttyUSB0"
model::onClientFound: 1243346720654442817
Complete new Device – Dynamic Create...
```

```
"00:30:48:553" > "7b092d11414141414141417d"  
"00:30:48:753" < "7b081141414141414141417d"  
"48:753" Successfull Select/Quiet  
.br/>.br/>.br/>"00:31:14:861" > "7b095311414141414141417d"  
"00:31:15:061" < "7b081141414141414141417d"  
"15:061" Successfull Select/Quiet  
.br/>.br/>.br/>"00:42:01:860" > "7b095311414141414141417d"  
"00:42:02:060" < "7b081141414141414141417d"  
"02:061" Successfull Select/Quiet  
.br/>.br/>.br/>"01:04:01:257" > "7b095311414141414141417d"  
"01:04:01:457" < "7b081141414141414141417d"  
"01:457" Successfull Select/Quiet  
"01:04:01:757" >! "7b02491d7d"  
"01:04:02:657" >! "7b02491d7d"  
"01:04:03:557" >! "7b02491d7d"  
.br/>.br/>.br/>"01:13:42:961" > "7b095311414141414141417d"  
"01:13:43:061" < "7b081141414141414141417d"  
"43:061" Successfull Select/Quiet
```

Die Messergebnisse sind in Tabelle 4.13 zu sehen.

Nr.	Messpunkt	Koppelart	Anmerkung/Log-Daten	Referenz
M01	Versorg.	CDN	00:31:15 - 00:40:57	Auflistung 4.1
M02	LAN	Zange	00:42:02 - 00:51:45	Auflistung 4.1
M03	Antenne	Zange	01:04:03 - 01:13:43	Auflistung 4.1

Tabelle 4.13: Messergebnisse der HF asymmetrisch-Prüfung

Es wurde keine Beeinflussung im gesamten Frequenzbereich bei einem Prüfwert von 5 V/m festgestellt. Die Prüfung wurde erfolgreich bestanden.

4.1.4 Prüfung HF symmetrisch

Die Messanordnung entspricht dem Messaufbau für eine Laborprüfung nach EN 61000-4-3+A1: 2004. Der Prüfaufbau HF symmetrisch ist in Abbildung 4.4 dargestellt.



Abbildung 4.4: HF symmetrisch-Prüfaufbau

Dabei beträgt der Prüfpegel der EMV Störfestigkeit-HF mit 3 V/m 80 % amplitudenmoduliert bei 80 bis 2000 MHz nach EN 61000-4-3 mit Bewertungskriterium A.

Die verwendeten Prüfgeräte sind in Tabelle 4.14 ersichtlich.

Geräteart	Typ/Modell	Hersteller	Serien Nr.
HF Signalgenerator 300 kHz 3,3 GHz	SMIQ 03B	R&S	1125.5555.03
Leistungsverstärker 0,8 1 GHz	FLH 200/100	Frankonia	0012
Richtkoppler 0,8 1 GHz, 500 W	C5982	Werlatone	
Leistungsverstärker 1,0 1 GHz	FLG 25	Frankonia	0015
Richtkoppler 1,0 1 GHz, 100 W	C5019	Werlatone	
Feldstärkesonde	APE 15	AFJ	15010404013
BILOG Antenne	BTA-L	Frankonia	980007H
Hornantenne	BBHA 9120 E	Schwarzbeck	152
EMV-Absorber Kammer M-CDC	B83117	Albatros	B1432-T162
Belastung 600 W cont. 0 - 3 GHz	638.21	Jones Electr.	—

Tabelle 4.14: Verwendete Prüfgeräte, HF symmetrisch

Die Prüfpunkte beziehen sich auf das Gehäuse mit angeschlossenen Kabeln. Die Messungen wurden entsprechend EN 61000-4-3, 80% AM 5 V im Bereich 80 bis 2000 MHz durchgeführt. Das dazu gehörige Logfile ist in Auflistung 4.2 dargestellt.

Auflistung 4.2: Logfile-Ausschnitt der HF symmetrisch Prüfung

```
onClientFound: "11:41:41:41:41:41:41" from: "/dev/ttyUSB0"
model::onClientFound: 1243346720654442817
"00:23:53:659" > "7b092d11414141414141417d"
"00:23:53:859" < "7b081141414141414141417d"
"54:169" Successfull Select/Quiet
.
.
.
"00:23:57:059" > "7b095311414141414141417d"
"00:23:57:259" < "7b081141414141414141417d"
```

"57:259" Successfull Select/Quiet
.
.
.
"00:34:26:859" > "7b095311414141414141417d"
"00:34:27:059" < "7b081141414141414141417d"
"27:059" Successfull Select/Quiet
.
.
.
"00:50:16:959" > "7b095311414141414141417d"
"00:50:17:159" < "7b081141414141414141417d"
"17:159" Successfull Select/Quiet
.
.
.
"01:00:36:060" > "7b095311414141414141417d"
"01:00:36:260" < "7b081141414141414141417d"
"36:260" Successfull Select/Quiet
.
.
.
"01:15:10:055" > "7b095311414141414141417d"
"01:15:10:255" < "7b081141414141414141417d"
"10:255" Successfull Select/Quiet
.
.
.
"01:22:16:058" > "7b095311414141414141417d"
"01:22:16:158" < "7b081141414141414141417d"
"16:159" Successfull Select/Quiet

Die Messergebnisse sind in Tabelle 4.15 zu sehen.

Nr.	Frequenz [GHz]	File	Pol	Pos [°]	Anmerkung/Log-Daten Ref.: Auflistung 4.2
1	0,08 1,0	Pollux.log	hor	0	00:23:57 - 00:28:42
2	0,08 1,0	Pollux.log	ver	0	00:29:10 - 00:33:50
3	0,08 1,0	Pollux.log	hor	90	00:34:27 - 00:38:54
4	0,08 1,0	Pollux.log	ver	90	00:39:24 - 00:44:22
5	0,08 1,0	Pollux.log	hor	180	00:45:10 - 00:49:44
6	0,08 1,0	Pollux.log	ver	180	00:50:17 - 00:54:55
7	0,08 1,0	Pollux.log	hor	270	00:55:20 - 00:59:56
8	0,08 1,0	Pollux.log	ver	270	01:00:36 - 01:05:28
9	1,0 2,0	Pollux.log	hor	0	01:10:10 - 01:11:30
10	1,0 2,0	Pollux.log	ver	0	01:11:48 - 01:13:03
11	1,0 2,0	Pollux.log	hor	90	01:13:38 - 01:14:51
12	1,0 2,0	Pollux.log	ver	90	01:15:10 - 01:16:2
13	1,0 2,0	Pollux.log	hor	180	01:16:51 - 01:18:07
14	1,0 2,0	Pollux.log	ver	180	01:18:36 - 01:19:59
15	1,0 2,0	Pollux.log	hor	270	01:20:42 - 01:21:55
16	1,0 2,0	Pollux.log	ver	270	01:22:16 - 01:23:53

Tabelle 4.15: Messergebnisse der HF symmetrisch-Prüfung

Wie in Abbildung 4.4 und in der Tabelle 4.15 ersichtlich, wurde das Prüfobjekt bei 0° , 90° , 180° und 270° positioniert und bei verschiedener Polarisation gemessen. Dabei wurde keine Beeinflussung im gesamten Frequenzbereich bei einem Prüfwert von 5 V/m festgestellt.

Die Prüfung wurde erfolgreich bestanden. Dies ist in Abbildung 4.5 auch am Diagramm ersichtlich.

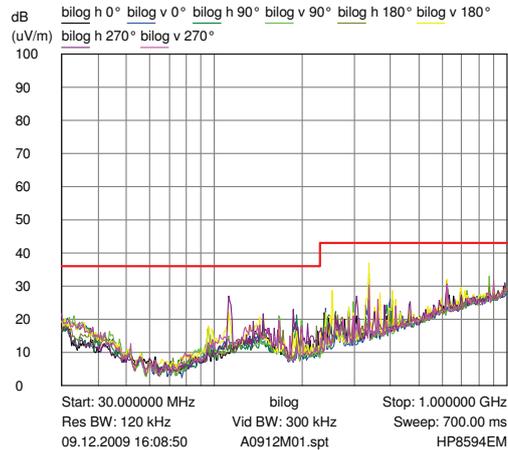


Abbildung 4.5: Diagramm zu den Messungen

4.1.5 Prüfung Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung

Die Messanordnung entspricht dem Messaufbau für eine Laborprüfung nach EN 61000-4-11:2005. Die Anforderungen nach ETSI EN 301 489-1 V1.4.1 sind in folgender Tabelle 4.16 dargestellt.

Prüfwert	Störgröße	Bewert. krit.	Einkoppelort
<5 % bei 1/2 Periode (10 ms)	Spannungseinbruch	B	Wechselstromnetzvers.
70 % bei 25 Perioden (500 ms)		C	
<5 % bei 250 Perioden (5000 ms)	Kurze Unterbrechung	C	
Spannungssprung beim Nulldurchgang der Spannungskurvenform			

Tabelle 4.16: Anforderungen, Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung Prüfung

Die Prüfpunkte beziehen sich auf den Wechselstromnetzeingang. Die dabei verwendete Prüfgeräte sind in Tabelle 4.17 ersichtlich.

Geräteart	Typ/Modell	Hersteller	Serien Nr.
Ultra-Compact-Simulator	UCS 500-M	EM Test	0499-07
Stell- Trenntransformator	BR350	Block	FA35103
Oszilloskop	TDS 744A	Tektronix	B030772
Multimeter	MX44	Metrix	70202117

Tabelle 4.17: Verwendete Prüfgeräte, Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung Prüfung

Die Messergebnisse sind in Tabelle 4.18 dargestellt.

Nr.	Prüfwert [%]	Dauer [ms]	Spg. [V]	Krit. soll	Anmerkung/Ergebnis
1	< 5	10	< 12	B	kein Fehler Kriterium A
2	70	500	161	C	kein Fehler Kriterium A
3	< 5	5000	< 12	C	Reset am Gerät, Kriterium B

Tabelle 4.18: Messergebnisse der Spannungseinbruch und Spannungsunterbrechung Prüfung

Das Prüfobjekt entspricht den Anforderungen und ist um ein Bewertungskriterium besser.

4.1.6 Funkstörfeldstärke-Prüfung

Die Messung der Funkstörfeldstärke erfolgt als Normmessung nach EN 55022. Die Grenzwerte für die Störfeldstärke entsprechen der EN 55022+A1+A2:2003 bei einer Messentfernung von 10 m für Einrichtungen der Klasse B. Da die Messung in einer Vollabsorberkammer mit 3 m Messabstand durchgeführt wird, werden die Grenzwerte entsprechend korrigiert.

Dies ist in folgender Tabelle 4.19 ersichtlich.

Frequenz [MHz]	Quasipeak [dB μ V/m]	Quasipeak, 3 m Vollabsorber [dB μ V/m]
30 bis 230	30	34
230 bis 1000	37	41

Tabelle 4.19: Grenzwerte der Funkstörfeldstärke-Prüfung

Der Prüfaufbau Funkstörfeldstärke ist in Abbildung 4.6 dargestellt.



Abbildung 4.6: Funkstörfeldstärke-Prüfaufbau

Die Prüfpunkte beziehen sich auf das Gehäuse mit angeschlossenen Leitungen. Die dabei verwendeten Prüfgeräte sind in Tabelle 4.20 dargestellt.

Geräteart	Typ/Modell	Hersteller	Serien Nr.
EMC Analyser 9 kHz - 2,9 GHz	8594EM	HP	3651U01021
Vorverstärker 9 kHz - 1300 MHz	8447F Opt. H64	HP	3113A07223
Bilog Antenne 30 - 1000 MHz	CBL6111B	Chase	2055
Schirm- Absorberkammer	M - CDC	Albatros	B1432-T162

Tabelle 4.20: Verwendete Prüfgeräte, Funkstörfeldstärke-Prüfung

Die Messergebnisse sind in folgender Tabelle 4.21 ersichtlich.

Nr.	Datei	Antenne Position H/V	Kommentar / Ergebnis
1	A0912M01	bilog_h/v 0-270 °	Mastereinheit + Sensorknoten

Tabelle 4.21: Messergebnisse der Funkstörfeldstärke-Prüfung

Die Funkstörfeldstärke liegt im gesamten Bereich unter dem Grenzwert für die Klasse B.

4.1.7 Prüfung Funkstörspannung

Die Messanordnung entspricht dem Messaufbau für eine Laborprüfung nach CISPR22. Die Grenzwerte für die Funkstörspannung entsprechen der EN 55022 Klasse B. Diese sind in Tabelle 4.22 dargestellt.

Frequenz	0,15 - 0,5 MHz	0,5 - 5 MHz	5 - 30 MHz
Messung QuasiPeak	66 - 56 dB μ V	56 dB μ V	60 dB μ V
Messung Average	56 - 46 dB μ V	46 dB μ V	50 dB μ V

Tabelle 4.22: Grenzwerte der Funkstörspannung-Prüfung

Der Prüfaufbau Funkstörspannung ist in Abbildung 4.7 dargestellt.



Abbildung 4.7: Funkstörspannung-Prüfaufbau

Der Messaufbau erfolgt normgerecht nach der EN 55022. Die Prüfpunkte beziehen sich auf das Netzkabel. Die dabei verwendeten Prüfgeräte sind in Tabelle 4.23 dargestellt.

Geräteart	Typ/Modell	Hersteller	Serien Nr.
Messempfänger	8010	PMM	0379
Netznachbildung	LISN L2/16	PMM	0131
Netznachbildung	4V- 16/25	Bajong	01-40-101
Trenntransformator			

Tabelle 4.23: Verwendete Prüfgeräte, Funkstörspannung-Prüfung

Die Messungen wurden entsprechend EN 55022, Messung der leitungsgeführten Funkstörspannung an den Netzversorgungsanschlüssen im Frequenzbereich 0,15 MHz - 30 MHz mit einer Netznachbildung durchgeführt. Die Messergebnisse sind in folgender Tabelle 4.24 ersichtlich.

Nr.	Datei	Netznachbildung	Kommentar / Ergebnis
1	L1012P01	PMM L2-16	Peak an L1+L2
2	L1012A02	PMM L2-16	Average an L1+L2
3	L1012LP3	PMM L2-16	Peak an L2

Tabelle 4.24: Messergebnisse der Funkstörspannungs-Prüfung

Das Prüfobjekt entspricht den Anforderungen.

4.2 Feldtests

Damit man feststellen konnte, mit welcher Antenne die beste Kommunikation zwischen Basisstation und den Sensorknoten stattfindet, wurden die RSSI-Werte (Received Signal Strength Indication) ermittelt. Andererseits wurden die ausgewählten Antennen mit dem Gesamtsystem in einem landwirtschaftlichen Betrieb eingesetzt und die Kommunikation mitgeloggt. Das Gesamtsystem arbeitet mit einer Frequenz von 433,05 MHz. Diese Funkfrequenz unterliegt dem ISM-Band und daher wurden auch die entsprechenden Antennen für 433,05 MHz getestet. Mit einer RSSI Anzeige, die im Softwareprogramm implementiert ist, kann man die empfangene Signalstärke

ablesen und somit eine aussagekräftige Entscheidung treffen, welche von den getesteten Antennen die beste Performance aufweist. Folgende Antennen sind getestet worden:

- Groundplane-Antenne
- Flach-Antenne
- Stab-Antenne

Im Allgemeinen sind Antennen ihrer Funktion nach Wellentypwandler. Ihre Aufgabe als Sendeantenne ist es, die längs Leitungen geführte Hochfrequenzenergie in Wellentypen umzuformen. Als Empfangsantennen haben sie die Aufgabe, die aus dem Raum aufgenommene Energie in eine leitungsgeführte Welle zurück zu verwandeln. Der Wunsch ist es, dass der Übergang vom einen in den anderen Zustand mit möglichst geringen Verlusten erfolgt.

4.2.1 RSSI Test

Eine schematische Darstellung des Messaufbaus für den RSSI-Test ist in Abbildung 4.8 zu sehen.

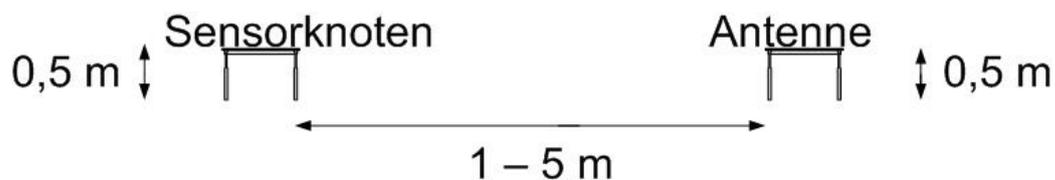


Abbildung 4.8: Messaufbau für den RSSI-Test

Der Sensorknoten und die Antenne befinden sich auf gleicher Ebene. Die Höhe zwischen Boden und dem Sensorknoten bzw. der Antenne beträgt 0,5 m. Die RSSI-Werte sind im Abstand von 1 bis 5 m gemessen worden. Die Position des Sensorknotens wurde normal bzw. parallel zur Antenne gerichtet. Da man keinen Kuhmagen simulieren konnte, war man sich sicher, dass diese empfangene Signalstärke unter realer Bedingungen anders aussehen werden.

In Abbildung 4.9 ist zuerst die Groundplane-Antenne ersichtlich.



Abbildung 4.9: Groundplane-Antenne [34]

Dabei wurden folgende Werte für die empfangene Signalstärke gemessen:

Abstand in Meter	RSSI-Werte in dBm; Sensorknoten normal zur Antenne	RSSI-Werte in dBm; Sensorknoten parallel zur Antenne
1 m	-53,5 dBm	-50 dBm
2 m	-46,5 dBm	-47.5 dBm
3 m	-51 dBm	-49.5 dBm
4 m	-65 dBm	-50.5 dBm
5 m	-50.5 dBm	-52 dBm

Tabelle 4.25: Empfangene Signalstärke bei Verwendung der Groundplane-Antenne

Wie man aus der Tabelle 4.25 sehen kann, unterscheiden sich die RSSI-Werte nur minimal. Die Position des Sensorknotens parallel zur Antenne liefert dabei etwas bessere RSSI-Werte.

Als zweite Antenne wurde die Flach-Antenne getestet. Diese ist in Abbildung 4.10 dargestellt und deren empfangene Signalstärke in Tabelle 4.26 ersichtlich.



Abbildung 4.10: Flach-Antenne [35]

Abstand in Meter	RSSI-Werte in dBm; Sensorknoten normal zur Antenne zur Antenne	RSSI-Werte in dBm; Sensorknoten parallel zur Antenne
1 m	-37 dBm	-38 dBm
2 m	-40,5 dBm	-47 dBm
3 m	-53,5 dBm	-53,5 dBm
4 m	-42,5 dBm	-48 dBm
5 m	-53,5 dBm	-65,5 dBm

Tabelle 4.26: Empfangene Signalstärke bei Flach-Antenne

Auch hier ist der Unterschied minimal. Was jedoch auffällt: es sind diesmal die besseren RSSI-Werte bei Positionierung des Sensorknoten normal zur Antenne hin.

In Abbildung 4.11 ist die letzte getestete Stab-Antenne zu sehen. Diese wurde vertikal zum Sensorknoten aufgestellt.



Abbildung 4.11: Stab-Antenne [36]

Die dazugehörigen Werte sind in folgender Tabelle 4.27 dargestellt.

Abstand in Meter	RSSI-Werte in dBm; Sensorknoten normal zur Antenne	RSSI-Werte in dBm; Sensorknoten parallel zur Antenne
1 m	-44,5 dBm	-48 dBm
2 m	-56 dBm	-40,5 dBm
3 m	-50 dBm	-47,5 dBm
4 m	-63,5 dBm	-44,5 dBm
5 m	-54,5 dBm	-62,5 dBm

Tabelle 4.27: Empfangene Signalstärke bei Stab-Antenne

Aus der Tabelle 4.27 ist ersichtlich, dass die Stab-Antenne bei 2/3/4 m bessere RSSI-Werte liefert, wenn der Sensorknoten parallel zur Antenne positioniert ist.

Im allgemeinen Vergleich der drei Antennen, hat sich die Flach-Antenne als Beste erwiesen. Auf Grund der hohen Kosten hat man dennoch auf die Flach-Antenne verzichtet und wählte die kostengünstigere Stab-Antenne aus. Ein weiterer Vorteil der Stab-Antenne ist die leichte Montage in einem landwirtschaftlichen Betrieb.

4.2.2 Einsatz in einem landwirtschaftlichen Betrieb

Für den Testeinsatz in einem landwirtschaftlichen Betrieb ist das Gesamtsystem inklusive fünf Stab-Antennen installiert worden. Da die Kühe zweimal am Tag gemolken werden, um ca. 04:30^h und ca. 16:30^h, sind drei Stab-Antennen bei der Melkanlage montiert worden. Weiters wurden bei der Kraftfutterstation zwei Stab-Antennen installiert. Die Kommunikation zwischen der Basisstation und dem Sensorknoten wurde mitgeloggt. In Abbildung 4.12 ist die Box mit dem Linux-Rechner und der entwickelten Basisstation, sowie die zwei Stab-Antennen zu sehen. Diese zwei Stab-Antennen wurden über der Melkanlage installiert. Eine weitere Stab-Antenne wurde an die Wand gegenüber der Box montiert. Somit hat man eine gute Kommunikation bei der Melkanlage erreicht. Die Daten können ohne Probleme ausgelesen werden (siehe 4.3 und 4.4).



Abbildung 4.12: Lage der Stab-Antennen bei der Melkanlage

Der Abstand von der Box bis zu den Stab-Antennen bei der Kraftfutterstation beträgt ca. 25 m. In der Abbildung 4.13 ist die Lage der Stab-Antennen und die Kraftfutterstation ersichtlich.



(a)



(b)

Abbildung 4.13: (a) Lage der Stab-Antennen an der Decke und (b) Die Kraftfutterstation

Der Bolus wurde der Kuh per os eingegeben. Dies erledigt der Tierarzt mit Hilfe eines Eingebers, der in Abbildung 4.14 dargestellt ist. Per os ist die medizinische Bezeichnung für die Gabe über den Mund. Häufig wird der Ausdruck „Orale Gabe“ verwendet [37].



(a)



(b)

Abbildung 4.14: (a) Methode und (b) Bolus-Eingeber [38], [39]

Anhand des folgenden Ausschnitts aus dem Logfile (4.3) sieht man, dass die Kommunikation erfolgreich durchgeführt worden ist.

Auflistung 4.3: Logfile-Ausschnitt der Kommunikation bei Kraftfutterstation

```
onClientFound: "08:41:41:41:41:41:41" from: "/dev/ttyUSB0"
model::onClientFound: 594828374313091393
Complete new Device – Dynamic Create...
"12:18:38:036" > "7b092d08414141414141417d"
"12:18:38:236" < "7b080841414141414141417d"
"12:18:38:636" > "7b092d08414141414141417d"
"12:18:38:836" < "7b080841414141414141417d"
"38:836" Successfull Select/Quiet
"12:18:38:936" > "7b095308414141414141417d"
"12:18:39:136" < "7b080841414141414141417d"
"39:136" Successfull Select/Quiet
"12:18:39:236" > "7b0244467d"
"12:18:39:536" < "7b46000200c78340004333017800d0070841414141
41414141542b932efd31355c30f5365802c39fb44100000000000000000
00fa44474330303030"
"12:18:39:636" < "3030656f3135343030321f007d"
"12:18:39:736" > "7b01517d"
"12:18:39:936" < "7b0200037d"
"39:936" 3 AvailableDataPoints in client!
lastReadCount: 0 count: 3
generate ReadCommand...
"40.036" encode Read!
13 : "52000000030841414141414141"
"12:18:40:036" > "7b0d5200000003084141414141417d"
"12:18:40:236" < "7b880841414141414141417d"
"12:18:40:536" < "7b1b02120911521633041e02120911581636042502
12091208235205607d"
Decoded 3/3
onNewDataPoints
```

```
"40:537" Start DB write ...
"40:567" Finished!
"12:18:40:636" > "7b095308414141414141417d"
"12:18:40:836" < "7b080841414141414141417d"
"40:836" Successfull Select/Quiet
"12:18:40:936" > "7b095808414141414141417d"
"12:18:41:136" < "7b01007d"
"41::136" Succussfull UnSelect/Erase
"12:18:41:236" > "7b01557d"
"12:18:41:436" < "7b01007d"
"41:436" Succussfull UnSelect/Erase
```

An der Uhrzeit ist ersichtlich, dass die Kuh mit ihrem zugeteilten Sensorknoten an der Kraftfutterstation gewesen ist. Ein anderer Teil-Ausschnitt des Logfiles (4.4), gibt die Information über eine erfolgreiche Kommunikation bei der Melkanlage wieder. Dies ist ebenfalls an der Uhrzeit zu sehen:

Auflistung 4.4: Logfile-Ausschnitt der Kommunikation bei Melkanlage

```
Decoded 10/10
onNewDataPoints
"38:925" Start DB write ...
"38:986" Finished!
"16:44:39:023" > "7b095308414141414141417d"
"16:44:39:223" < "7b080841414141414141417d"
"39:223" Successfull Select/Quiet
"16:44:39:323" > "7b095808414141414141417d"
"16:44:39:523" < "7b01007d"
"39::523" Succussfull UnSelect/Erase
"16:44:39:623" > "7b01557d"
"16:44:39:823" < "7b01007d"
"39:823" Succussfull UnSelect/Erase
```

Somit hat sich die kostengünstige Stab-Antenne für die Kommunikation zwischen der Basisstation und dem Sensorknoten als erfolgreich erwiesen. Das Auslesen der Messdaten kann problemlos mit Hilfe der entwickelten Mehr-Antennen Lösung durchgeführt werden.

Kapitel 5

Ausblick

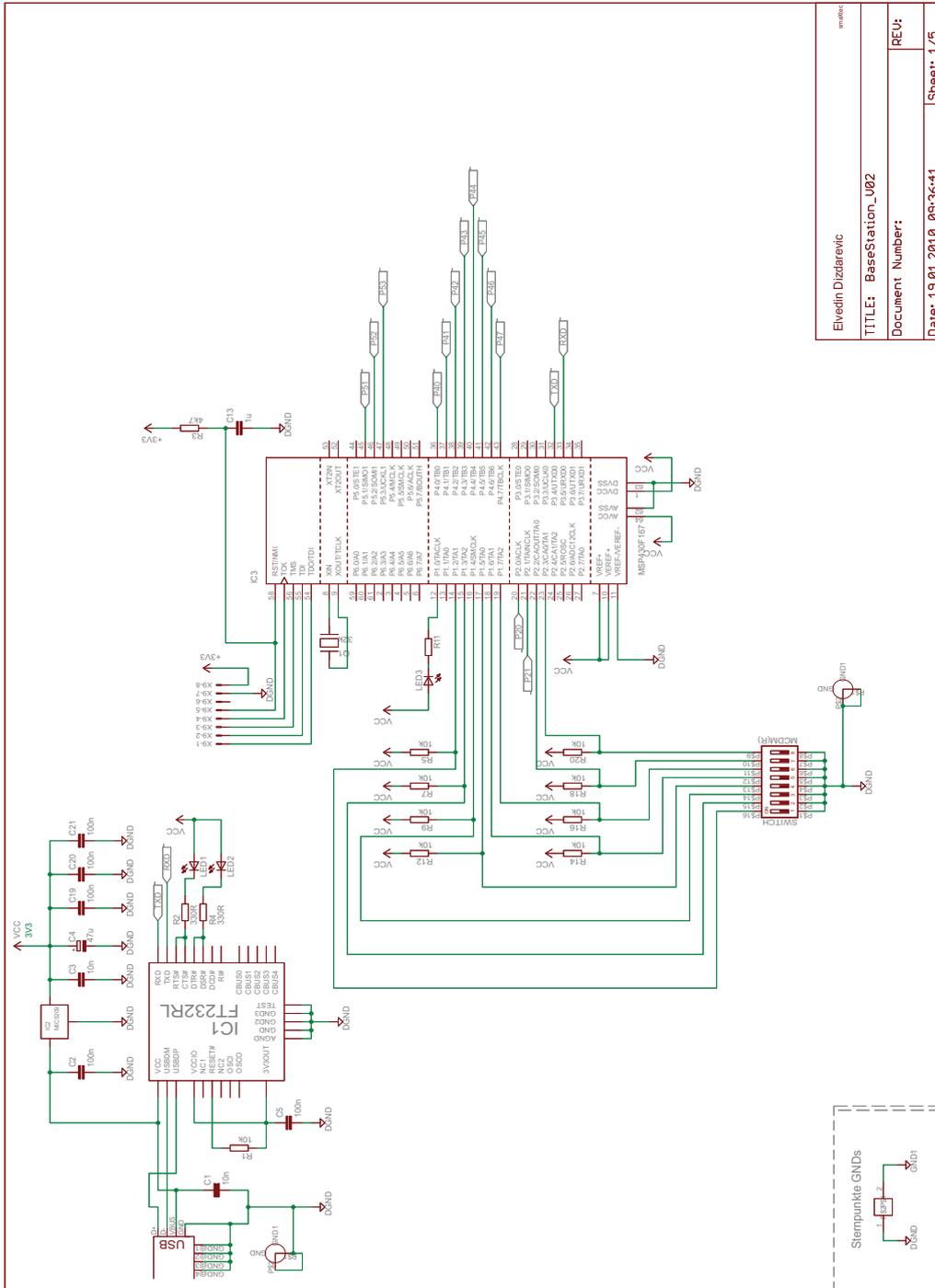
Auf Grund der bisherigen Ergebnisse, hat sich die entwickelte Mehr-Antennen Lösung der Empfangseinrichtung als erfolgreich erwiesen. Da sich die Betriebsstrukturen landwirtschaftlicher Betriebe in Richtung Großbetriebe verändern, wird es für Landwirte immer schwieriger die einzelne Tiere zu überwachen oder leistungsgerechte Futterzuteilung durchzuführen. Daher können Krankheitssymptome bei einzelnen Tieren oft nicht rechtzeitig erkannt werden. Für den Landwirt ist es von enormer Bedeutung über das Wohlbefinden der Tiere Bescheid zu wissen. Durch den Einsatz elektronischer Geräte wird dies möglich.

Neben der beschriebenen Möglichkeiten zur Messung des pH-Wertes und der Temperatur, können weitere Parameter ermittelt werden. Beispielsweise können mit Hilfe von Sensoren die Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder der Sauerstoffgehalt der Luft im Stall gemessen werden. Weiters können Methangehalt der Luft, Ammoniakgehalt der Luft, CO₂-Gehalt der Luft und pH-Wert der Gülle (Ausscheidungen wie Kot und Urin landwirtschaftlicher Nutztiere werden unter Gülle verstanden) ermittelt werden. Methan (CH₄) ist ein farbloses, geruchloses, ungiftiges Gas, das zu Kohlendioxid und Wasser verbrennt. Methan gehört zu den klimarelevanten Treibhausgasen [40]. Es entsteht hauptsächlich bei der Verdauung von Pflanzenfressern, beim Güllemanagement und bei Abbauprozessen in Deponien [41]. Ein hoher Anteil des in der Atmosphäre vorhandenen Methangases wird also auch durch Massentierhaltung erzeugt, größtenteils durch Rinder. Auch andere Parameter wie Temperatur des Stallbodens oder des Trinkwasser, sowie zugeführte Futtermenge können gemessen werden.

Anhang A

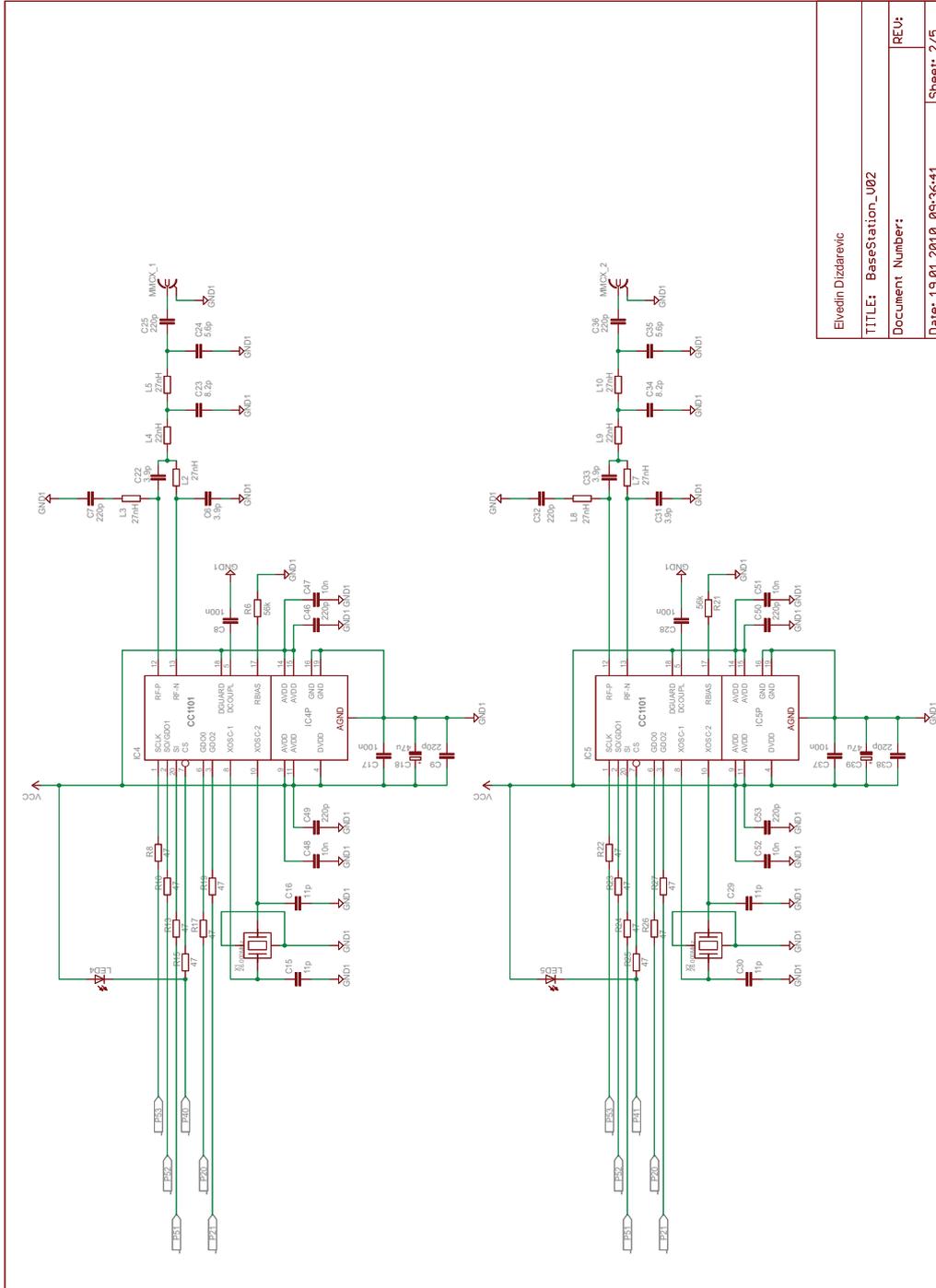
Anhang

A.1 Schaltplan



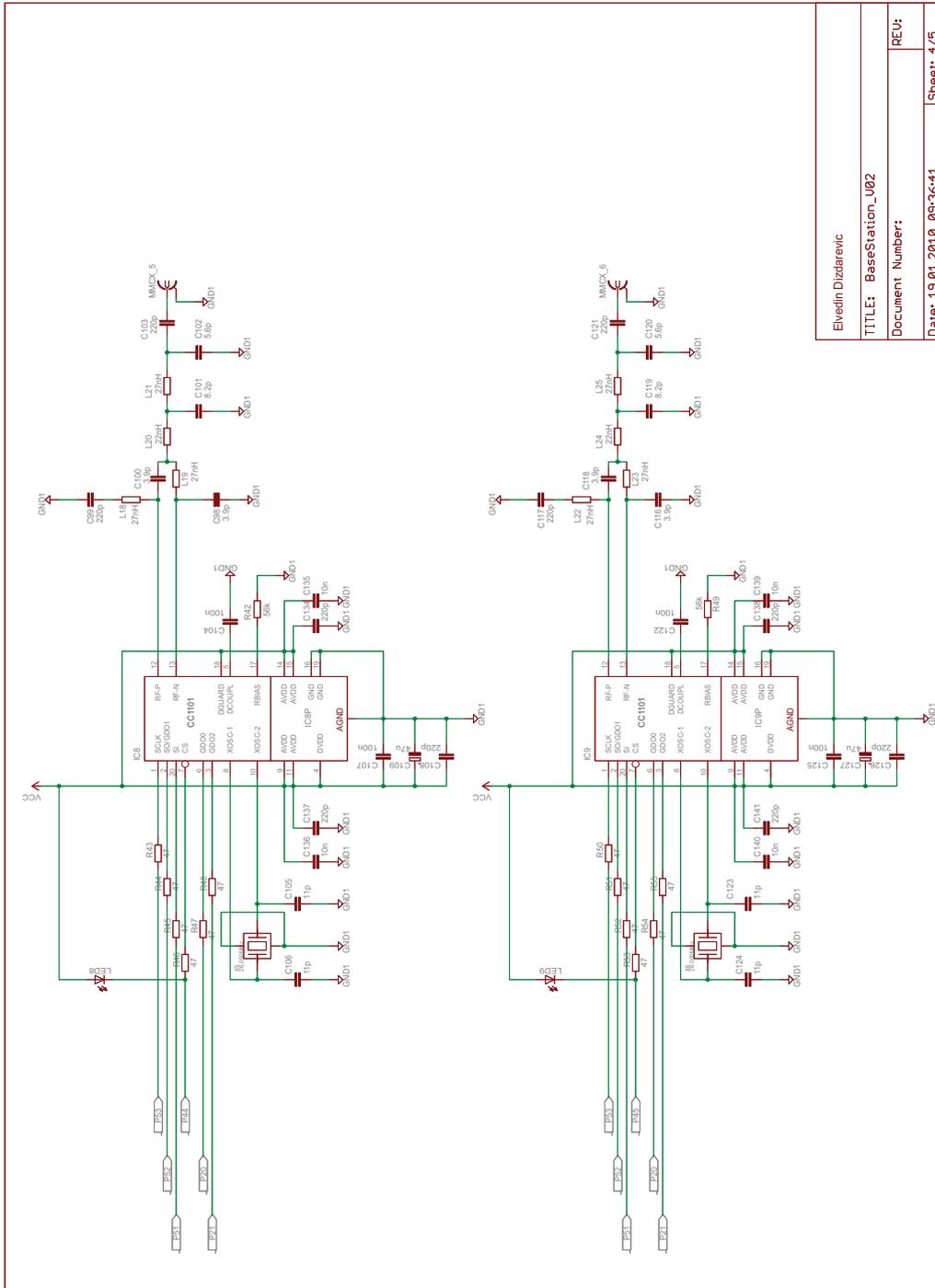
Elvedin Dizdarevic
TITLE: BaseStation_V02
Document Number:
Date: 19.01.2010 09:36:41
REV:
Sheet: 1/5

Abbildung A.1: Schaltplan Seite 1



Elvedin Dizdarevic
TITLE: BaseStation_V02
Document Number:
Date: 19.01.2010 09:36:41
Sheet: 2/5

Abbildung A.2: Schaltplan Seite 2



Elvedin Dizdarevic
TITLE: BaseStation_V02
Document Number:
Date: 19.01.2010 09:36:41
Sheet: 4/5

Abbildung A.4: Schaltplan Seite 4

A.2 Layout

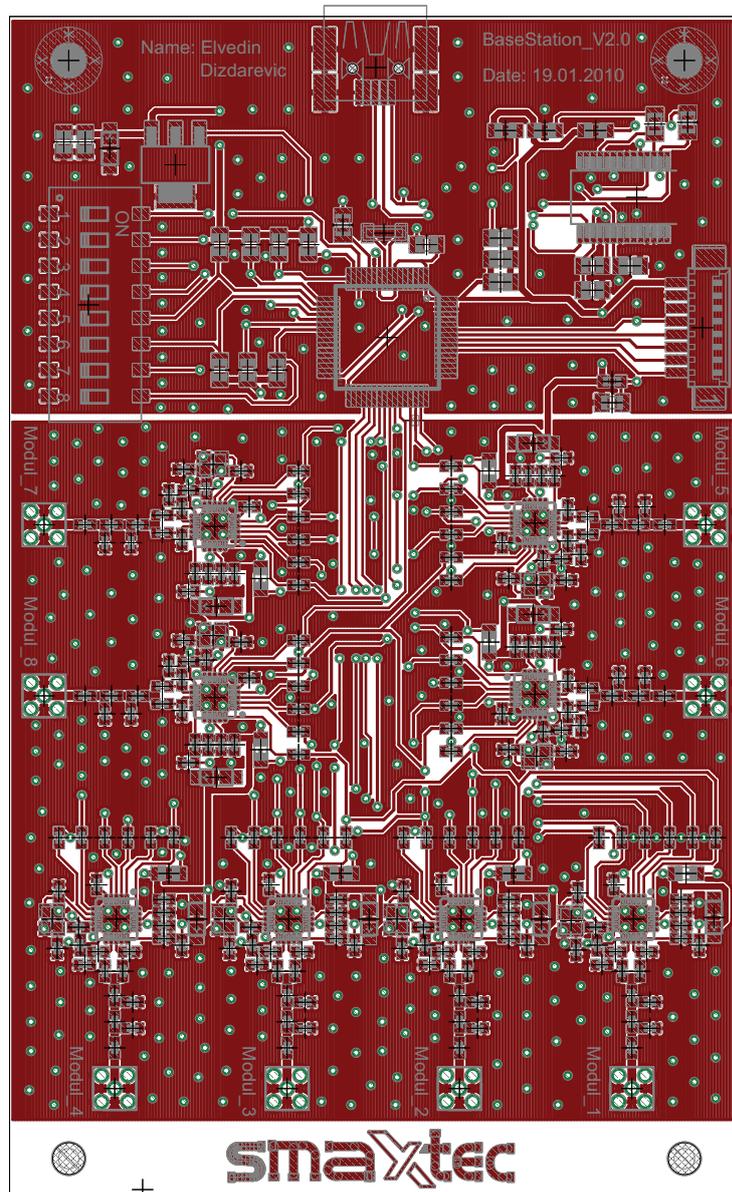


Abbildung A.6: Top-Layer

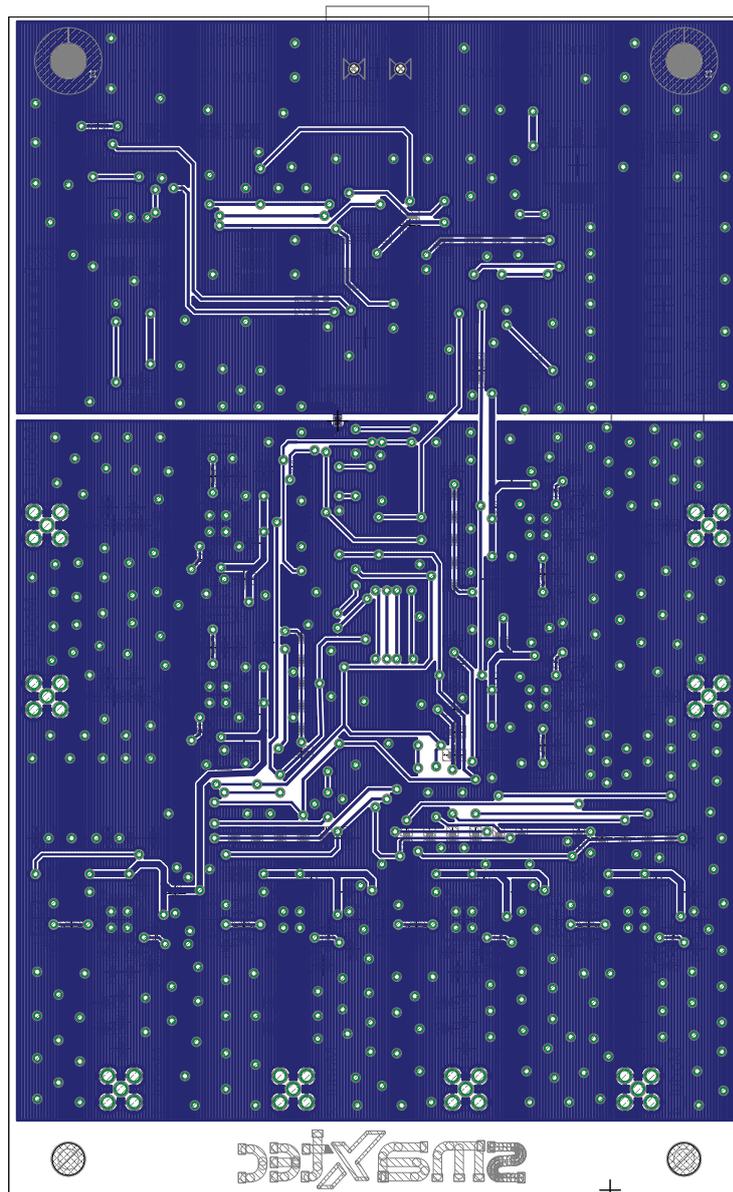


Abbildung A.7: Bottom-Layer

Literaturverzeichnis

- [1] Internet referenz. *Remontierung*. 2010.
http://www.portal-rind.de/besam_fru.htm.
- [2] Eurostat Pocketbooks. *Agricultural statistics - Main results*. 2007/08.
- [3] International Farm Comparison Network. *Dairy Report*. 2008.
- [4] Eurostat. *Livestock at regional level*.
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Livestock_statistics_at_regional_level
- [5] Rosenkranz S. Häusler J. Schneider K. Guggenberger T. Gasteiner J., Fal-last M. *Zum Einsatz einer intraruminalen pH-Datenmeseinheit mit kabelloser Datenübertragung bei Rindern unter verschiedenen Fütterungsbedingungen*. *Vet. Med. Austria* 96. 2009.
- [6] Fairfield A. Bagg R. Vessie G. Dick P. Wilson J. Aamini J. McBride B.W. Duffield T., Plaizier J.C. *Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows*. *J. Dairy Sci.* 87. 2004.
- [7] Gasteiner J. *Grundlagen zu den Verdauungsvorgängen beim Rind (Anatomie, Physiologie, Mikroflora)*. *Bericht zur 28. Viehwirtschaftlichen Fachtagung*. 2001.
- [8] Dirksen G. *Die klinische Untersuchung des Rindes*. 3. Aufl., Verlag Parey, Berlin-Hamburg. 1990.
- [9] Enemark S.T. Enemark J.M.D., Jorgensen R.J. *Rumen acidosis with special emphasis on diagnostic aspects of subclinical rumen acidosis. A review*. *Vet. Zootech.* 20. 2002.

- [10] Oetzel G.R. Krause M.K. *Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds. A review. Anim. Feed Sci. Technol.* 126. 2006.
- [11] Gasteiner J. *Möglichkeiten zur Gewinnung von Pansensaft und zur Messung des Pansen-pH-Wertes. Bericht zur Viehwirtschaftlichen Fachtagung.* 2008.
- [12] Dirksen G. *Der Pansenazidose - Komplex neuere Erkenntnisse und Erfahrungen. Tierärztl. Praxis* 13. 1985.
- [13] Boosman R. *The influence of calving and puerperium on clinical and histopathologic changes associated with laminitis and sole ulceration in a group of first-calving cows. J. Vet. Med. (A),* 37. 1990.
- [14] Zebelli Q. Steingass H. *Strukturbewertung von Rationen für Wiederkäuer. 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 9.-10. April 2008, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein.* 2008.
- [15] Gitzel A. Geishauser T. *A comparison of rumen fluid sampled by oro-ruminal probe versus rumen fistula. Small Rum. Res.* 21. 1996.
- [16] Dirksen G. *Eine lenkbare Sonde zur gezielten Pansensaftentnahme beim Rind. Tierärztl. Umschau* 8. 1975.
- [17] Spohr M. Seemann G. *Untersuchungen zur Häufigkeit der subklinischen Pansenazidose und zur Zuverlässigkeit üblicher Diagnostika. Proc. 32. Fortbildungsveranstaltung Labordiagnostik in der Bestandsbetreuung, 22.6.2007 Tierklinik Leipzig, D.* 2007.
- [18] Kaufmann T. Steiner A. Kirchofer M. Strabel D., Ewy A. *Rumenozentese: eine geeignete Methode zur pH-Bestimmung im Pansensaft beim Rind? Schweiz. Arch. Tierheilk.* 149. 2007.
- [19] Profs-products. *RUMINATOR. Das Pansensaft-Entnahmeggerät.* 2010.
http://www.profs-products.com/deutsch_2008/ruminator_gebrauch.htm.
- [20] Nordlund K.V. *Herd-based diagnosis of subacute ruminal acidosis. AABP Pre-convention Seminar 7, Columbus-OH.* 2003.
- [21] Oetzel G.R. Nordlund K.V., Garrett E.F. *Herd-based rumenocentesis: a clinical approach to the diagnosis of subacute rumen acidosis. Compend. Contin. Educ. Pract. Vet.* 17. 1995.

- [22] Smith V.R. *In vivo studies of hydrogen ion concentrations in the rumen of the dairy cow.* *J. Dairy Sci.* 24. 1941.
- [23] Allen M.S. Dado R.G. *Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility and ruminal pH of cattle.* *J. Dairy Sci.* 76. 1993.
- [24] Kyriazakis L. Duffield T.F. Widowsky T.M. Lindinger M.I. McBride B.W. Keunen J.E., Plaizier J.C. *Effects of a subacute ruminal acidosis model on the diet selection of dairy cows.* *J. Dairy Sci.* 12. 2002.
- [25] France J. Froetscher M. McBride B.W. Alzahal O., Kebraeb E. *Ruminal temperature may aid in the detection of subacute ruminal acidosis.* *J. Dairy Sci.* 91. 2007.
- [26] Berg R. Koch T. *Lehrbuch der Veterinäranatomie, Enke Verlag.* 1990.
- [27] Bruss M.L. Grohn Y.T. *Effective diseases, production and season on traumatic reticuloperitonitis and ruminal acidosis in dairy cattle.* *J. Dairy Sci.* 73. 1990.
- [28] Delaval. *Die Laktationskurve einer Milchkuh.* 2010.
http://de.delaval.ch/Dairy_Knowledge/EfficientCowComfort/Milking.htm.
- [29] Texas Instruments. *Data Sheet - MSPx16x, MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER,* 2002.
- [30] Micrel. *Data Sheet - MIC5209 - 500mA Low-Noise LDO Regulator,* 2000.
- [31] Texas Instruments. *Data Sheet - Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver (Enhanced CC1100),* 2009.
- [32] Texas Instruments. *MSP430 USB Debugging Interface.* 2010.
<http://focus.ti.com/graphics/tool/msp-fet430uif.jpg>.
- [33] Internet referenz. *Amtsblatt der Europäischen Union.* 2008.
<http://www.ce-zeichen.de/templates/ce-zei/normen/rtte-norm-2008.pdf>.
- [34] Conrad. *ANTENNE 433 MHz 50 OHM GROUND PLANE GP 433.* 2010.
http://www.conrad.at/ce/de/product/190073/ANTENNE-433MHZ-50OHM-GROUND-PLANE-GP-433/SHOP_AREA_17364.

- [35] Mars Antennas & RF Systems. *433 MHz Base Station Panel Antenna*. 2010.
<http://www.mars-antennas.com/item/030c1f65b9e5-102.html>.
- [36] Conrad. *ANTENNE 433 MHz 50 OHM MIT FUSS AS 433*. 2010.
http://www.conrad.at/ce/de/product/190060/ANTENNE-433MHZ-50OHM-MIT-FUSS-AS-433/SHOP_AREA_17364.
- [37] Internet referenz. *Per os*. 2010.
http://flexikon.doccheck.com/Per_os.
- [38] Internet referenz. *Handhabung*. 2010.
<http://www.bovikalc.at/bovikalc/handhabung/index.htm>.
- [39] Internet referenz. *Bolus-Eingeber*. 2010.
http://www.valleyvet.com/ZoomImage.aspx?img=group_images/36381_A.jpg.
- [40] Internet referenz. *Methan*. 2010.
<http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBwerkstoffmaterialssubstanz/Methan.php>.
- [41] Internet referenz. *Methan*. 2010.
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/treibhausgase/methan/>.