



DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

**„Die Entwicklung eines einfachen Geräts zur
Messung elektromagnetischer Strahlung für die
Verwendung im Schulunterricht“**

verfasst von / submitted by

Christian Dobrovits

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 190 412 406

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UniStG;
UF Mathematik UniStG;
UF Physik UniStG;

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 1. Juli 2019

Unterschrift

(Christian Dobrovits)

Danksagung

Allen voran möchte ich meiner Mutter danken, die mir vor allem finanziell das Studium ermöglicht hat und mir mit Rat zur Seite stand, manchmal auch wenn man ihn gerade nicht brauchte/wollte.

Ebenso möchte ich meinen Großeltern für das Korrekturlesen der Arbeit danken, es wurden dadurch viele Beistriche gerettet.

Insbesondere gilt mein Dank meiner Freundin, die mich stets moralisch unterstützte, besonders in arbeitsreichen Zeiten, als die Diplomarbeit anstelle meiner "Freizeit" geschrieben wurde. Auch sie ist für einige - besonders formale - Korrekturen verantwortlich.

Als letztes möchte ich mich bei meinem Betreuer Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf und meinem Mitbetreuer Dr. Thomas Plotz bedanken. Besonders Dr. Plotz stand mir stets mit Ideen und Vorschlägen zur Seite, wann auch immer ich ihn aufsuchte.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	1
1.1.1 Forschungsfrage	2
1.1.2 Basisliteratur	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Theorie	4
2.1 Grundkräfte und Feldbegriff	4
2.1.1 Elementarladung	5
2.1.2 Elektrisches Feld	5
2.1.3 Magnetisches Feld - in Abhängigkeit eines Stroms	7
2.1.4 Das elektromagnetische Feld	8
2.1.5 Das elektromagnetische Wechselfeld	9
2.1.6 Definition der Strahlung	10
2.1.7 Nahfeld und Fernfeld	11
2.1.8 Elektrische Länge	12
2.2 Antennen	13
2.2.1 Halbwellendipol und Eingangsimpedanz	13
2.2.2 Verkürzungsfaktor	14
2.2.3 Richtwirkung von Antennen	16
2.2.4 Gewinn und Bezugsantennen	17
2.2.5 Polarisation	18
2.2.6 Zusammenfassung	19
2.3 Besondere elektronische Bauteile	20
2.3.1 LNA	20
2.3.2 Mixer	21
2.3.3 Filter	22
2.3.4 VCO	22
2.3.5 Leistungsanpassung	23
2.3.6 Zusammenspiel der Bausteine	23
2.4 Arduino als Mikrocontroller	24
2.4.1 Breadboard	25

2.4.2	Leuchtdioden	26
2.4.3	Widerstände und Spannungsteiler	27
2.4.4	Programmieren mit dem Arduino	28
2.5	Didaktik	38
2.5.1	Ziele und Experimente des Physikunterrichts	38
2.5.2	Elementarisierung - Key Ideas	41
2.5.3	Schülervorstellungen	41
3	App	45
3.1	Aufbau	45
3.1.1	Registerkarte "Messung"	45
3.1.2	Registerkarte "Roh"	47
3.1.3	Registerkarte "Plot"	47
3.1.4	Registerkarte "Stats"	48
3.1.5	Registerkarte "Map"	48
3.1.6	Weitere Registerkarten	49
3.2	Verwendungszweck	49
3.3	Versuchsvorschläge	49
4	Nachweisgerät	52
4.1	Grundlegender Aufbau	52
4.2	Antennen	54
4.3	Programm	57
4.3.1	Festzulegende Variablen	58
4.3.2	Feste Variablen	59
4.3.3	Mittelwertfunktion	59
4.3.4	LED - Funktionen	60
4.3.5	Hauptprogramm	61
4.4	Entwicklung eines Prototypen	63
4.5	Überarbeitung des Geräts	69
4.5.1	Schwierigkeitsgrad	73
4.5.2	Rentabilität	74
5	Unterricht	75
5.1	Stundenplanung unter Verwendung des Nachweisgeräts	76
5.2	Stundenplanung unter Verwendung der App	80
5.3	Arbeitsblatt für SchülerInnen	85
5.4	Spektrum	88
5.5	Sticker und Antennen	88

5.6	Verbesserungsvorschläge	89
5.6.1	Engage	89
5.6.2	Explore	90
5.6.3	Experimentierphase	91
5.6.4	Explain	92
5.6.5	Elaborate	92
5.6.6	Evaluate	92
5.6.7	Abschließende Bemerkungen	93
6	Schlussbetrachtung und Ausblick	94
	Literaturverzeichnis	95
	Anhang	A
	Programm Kopiervorlage	A
	Arbeitsblatt Kopiervorlage	D
	Zusammenfassung	G
	Abstract	H

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ADC	analog-digital converter
BPF	band-pass Filter
CCIR	Internationaler Beratender Ausschuss für den Funkdienst
DAC	digital-analog converter
EM	elektromagnetisch
EMW	elektromagnetische Welle(n)
engl.	englisch
GND	ground
GPS	global positioning system
HPF	high-pass Filter
IC	integrated circuit
IDE	integrated developer environment
IF	intermediate frequency
lat.	latein
LED	light emitting diode
LNA	low noise amplifier
LO	lokale Frequenz
LPF	low-pass Filter
MRT	Magnetresonanztomografie
RF	Rundfunk
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RSSNR	Reference Signal Signal to Noise Ratio

SAW	surface acoustic wave
SMA	Sub-Miniature-A
SSt.	Semesterstunden
UKW	Ultrakurzwelle
UV	ultra violett
vgl.	vergleiche
VCO	voltage controlled oscillator

Abbildungsverzeichnis

1	Abbildungen zum elektrischen Feld, in Anlehnung an Göbel (1998; S.205).	6
2	Visualisierung einer elektrischen Flussröhre um eine Feldlinie (aus Henke (2015; S.40)).	6
3	Abbildung des Magnetfelds eines Stromdurchflossenen Leiters, in Anlehnung an Rothammel (1988; S.19).	7
4	Links: Schematische Abbildung eines Dipols (vgl. Tabelle 1), rechts: Bild eines selbstgebauten Dipols (eigenes Foto).	13
5	Diagramm zum Ablesen des Verkürzungsfaktors (y-Achse) bei gegebenem Schlankheitsgrad (x-Achse). Abbildung aus (Rothammel 1988; S.50). . . .	16
6	Normierte Richtdiagramme eines Halbwellendipols (Rothammel (1988)). . .	17
7	Schaltzeichen eines LNA (In Anlehnung an Schweber (2013b)).	20
8	Schaltsymbol eines Mixers (In Anlehnung an Schweber (2013a)).	21
9	Schaltsymbole verschiedener Filter (In Anlehnung an (Lyons 1997; S.494-505)).	21
10	Blockdiagramm für den Eigenbau einer Schaltung statt der Fertigplatine (AD8318).	23
11	Links: Foto eines Breadboards. Rechts: Schematik der Vernetzung der Buchsen (Quelle: Brunswick (na)).	26
12	Symbolbild (links) und Schaltbild (rechts) einer LED (erstellt mit Fritzing).	26
13	Links: Foto, rechts: Schaltzeichen eines elektrischen Widerstands.	27
14	Schaltplan eines Spannungsteilers (In Anlehnung an die Elektronik-Fibel).	27
15	Screenshot der offiziellen IDE (Entwicklerumgebung) für das Programmieren mit Arduino.	28
16	Ausgabe des Seriellen Monitors für das Testprogramm.	38
17	Logo - Wilysis Network Cell Info App	45
18	Screenshots aus Network Cell Info Lite - App. (eigene Abbildung)	46
19	Screenshot aus Network Cell Info Lite - App. Map-Tab. (Screenshot aus Wilysis (2015))	48
20	Screenshot eines Browserfensters in dem die IP-Adresse der ScreenStream - App eingegeben wurde (hier: http://192.168.0.94:8080). <i>Anmerkung:</i> Die IP Adresse kann sich bei jedem Start ändern. (Eigenaufnahme)	50
21	Network Cell Info App im Flugmodus, mit aktiviertem WLAN. (Eigenaufnahme)	51
22	Blockdiagramm für den Grundaufbau	52
23	Funktionsdiagramm des AD8318. Devices (2006)	53
24	Blockdiagramm für den Eigenbau einer Schaltung statt des AD8318. (Selbst erstellt)	53

25	Bauteile für eine Antenne. Von links nach rechts: SMA-Hülse, SMA-Stecker (männlich), SMA-Spitze, Koaxialkabel RG-58, Schrumpfschlauch, Draht . . .	55
26	Bildbeschreibung zur Montage des SMA-Steckers	55
27	Fortschritt beim Bau von Dipolen erster und dritter Generation. (Eigene Aufnahmen)	57
28	Antennen im Eigenbau	58
29	Screenshot des seriellen Monitors, bei beispielhaftem Programmablauf. . .	64
30	Bauteile für den ersten Aufbau. Von links nach rechts: 9V Block, LED, 220 Ohm Widerstand, Jumper Kabel, Breadboard, AD8318 Platine	64
31	Schaltgrafik für den Aufbau auf dem Breadboard. Rechte untere Fläche soll die AD8318 Platine darstellen. (Erstellt mit Fritzing)	65
32	Beispiele für Arduino-Shields	65
33	Bauteile für den zweiten Aufbau. Von links nach rechts: 9V Blockbatterie, LED, 220 Ohm Widerstand, Header Pins, AD8318 Platine, Batterie Anschluss, Lochrasterplatine	66
34	Schaltplan für den Shield mit LEDs und AD8318. (Erstellt mit easyeda.com)	67
35	Pins sollten von der Position etwa passen, genaues Zurechtbiegen ist nachträglich möglich. (Eigene Abbildung)	67
36	Lochrasterplatine (mit Leiterbahnen).	68
37	Abbildungen des fertigen Prototypen.	68
38	Bargraph mit 10 LEDs. Links Ansicht von oben, mittig Seitenansicht. Rechts ein Widerstandsnetzwerk. Bus-Pin ist mit einem Punkt markiert. .	69
39	Testaufbau des Geräts auf dem Breadboard mit einem Bargraph und Widerstandsnetzwerken.	70
40	Schematik für die überarbeitete Gerätversion, mit Bargraph und Widerstandsnetzwerk. (Erstellt mit easyeda.com)	71
41	Abbildung des überarbeiteten Geräts, mit LED-Bar und verbesserter Halterung der Platine.	72
42	Finaler Prototyp mit Monopolantenne und Arduino.	72
43	Mögliches Design eines Gehäuses für den Shield. Das gesamte Gehäuse wird auf den Arduino aufgesteckt. (Eigens erstellt und designte Abbildung) . . .	73
44	4 Smartphones links: Anti-Strahlungsticker. 2 rechts: Antennenstreifen . .	88

Tabellenverzeichnis

1	Übersicht über verschiedene Antennenarten, incl. Kenngrößen. (In Anlehnung an Rothammel (1988; S.64) (Bilder kopiert))	
	Anmerkung: Erklärung zu den Abkürzungen siehe Abschnitt 2.2.4 Seite 17	15
2	Dämpfung zwischen elektromagnetischem Feld und Antenne durch verschiedene Polarisationen. In Anlehnung an Rothammel (1988; S.21)	19
3	Kodierung der Morsezeichen. In Anlehnung an (Spragg 1943; S.111).	25
4	Befehle, die in der Arduino IDE per Icon aufgerufen werden können (aus Arduino IDE).	29

1 Einleitung

Das Thema der elektromagnetischen Strahlung ist im Unterricht nur sehr begrenzt inkludiert. Zu den am häufigsten besprochenen Themen der Strahlung zählen Licht, Infrarot- und Gammastrahlung. Die im Alltag des Menschen allerdings nicht mehr wegzudenkenden Mikrowellen, die nicht nur im allseits bekannten Mikrowellenherd vorkommen, sondern auch von jedem Handy oder WLAN-Router ausgesendet werden, sind selten ein Thema in der Schule.

Im Lehrplan werden Mikrowellen selbst namentlich nicht erwähnt. Dort spricht man lediglich von *Elektrosmog*, bzw. *ionisierender Strahlung*.

Menschen sind durch Halbwissen, Fehlinformationen und gezielte Nichtinformation sehr beeinflussbar. Das Wort Elektrosmog bauscht sich regelrecht zu einer weitverbreiteten Krankheit auf. Man spricht von einer stark erhöhten Strahlungsbelastung durch Betrieb elektronischer Geräte und die Verwendung von Rundfunk, wie WLAN oder Smartphones, die Strahlungen aussenden, welche körperliche und psychische Auswirkungen auf den Menschen haben sollen. Und wenn das dann geglaubt wird, wird dies ausgenützt, um Schutzgegenstände oder Apparate zu vermarkten, die ebendiese Strahlenbelastung reduzieren oder gar einen "Ankerpunkt" für sie bilden sollen, der die Strahlung förmlich *anziehen* soll.

Speziell werden Aufkleber für Handy und Router verkauft, welche die Strahlenbelastung reduzieren sollen, ähnlich wie strahlungsabweisende Smartphone-Hüllen oder abschirmende Bettbezüge, die den Schlaf verbessern sollen.

Viele dieser Dinge könnten relativ einfach als Unsinn - bzw. nicht notwendig oder ineffektiv - aufgedeckt werden, würde das Thema im Unterricht behandelt werden. Dazu bedarf es allerdings Hilfsmittel. Fachausrüstung für Strahlungsvermessung erweist sich allerdings als vergleichsweise teuer und nicht ökonomisch für Schulen.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Ausrüstung für das Messen von Strahlung ist in der Anschaffung sehr kostspielig. Das liegt daran, dass sie meist über große Frequenzspektren reichen muss und exakt kalibriert wird. Der Fachmann verwendet diese Ausrüstung, um Strahlungsfelder punktgenau vermessen zu können.

Derart genaue Messungen sind für den Unterricht nicht notwendig und daher rentiert sich die Ausgabe für solche Geräte nicht. Es stellt sich aber die Frage, ob man eine einfache Form eines Strahlungsmessgeräts im Eigenbau und kostengünstig erzeugen kann. Hierbei

wäre es gar nicht notwendig, Strahlung *messen* zu können. Es wäre bereits damit gedient, Strahlung *nachweisen* und vergleichende, bzw. qualitative Aussagen machen zu können.

1.1.1 Forschungsfrage

Ist es möglich, ein Nachweisgerät für Mikrowellen zu bauen, das qualitative Aussagen über die Feldstärke machen kann und gleichzeitig kostengünstig realisierbar ist?

Speziell soll das Gerät die typischen Frequenzen der Handystrahlung messen können, namentlich 900MHz, 1800MHz und 2440MHz.

Der Preisrahmen soll möglichst unter 50€ bleiben. Es dürfen allerdings Bausteine vorausgesetzt werden, die eine Schule bereits hat oder für vielseitige Verwendungszwecke anschaffen könnte.

Das Gerät soll über eine LED-Anzeige verfügen, wobei bei einer starken Feldstärke mehr LEDs leuchten sollen als bei einer schwachen.

1.1.2 Basisliteratur

Der Kern der Arbeit wird aus Literaturrecherchen entwickelt. Da es sich allerdings um eine sehr gezielte Aufgabenstellung im Bereich der Hochfrequenztechnik handelt, wird spezialisierte Literatur benötigt. Im speziellen sind zwei Werke besonders grundlegend für diese Arbeit:

Das Antennenbuch von Rothammel (1988) dient als Grundlage für alle praktischen Entwicklungen. Es ist sehr praxisnah geschrieben und ein sehr bekanntes Nachschlagewerk für Funkamateure. Leider finden sich nur wenige spezielle Beispiele für Hochfrequenz in diesem Buch, aber das Entwickeln von Antennen erfolgt grundsätzlich nach denselben Prinzipien.

Als Grundlage für die mehr theoretischen Teile der elektromagnetischen Felder wird das Werk *Elektromagnetische Felder* von Henke (2015) verwendet. Dort sind alle theoretischen Hintergründe von Ohm'schem Gesetz bis zu den Maxwell Gleichungen vertreten.

Für das wichtige Abschnitt 2.5 Didaktik wird *Physikdidaktik kompakt* von Wiesner et al. (2011) verwendet. In diesem Buch finden sich alle Grundlagen zu den Themen Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten, Begriffswechselln und Unterrichtsmethoden.

Der Bereich der Strahlung ist im Didaktischen noch eher schwach erforscht, besonders die Mikrowellen sind in der Forschung wenig vertreten. Als Pionier auf dem Gebiet wird auf Plotz verwiesen, der in *Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung* (Plotz 2017b) den ersten großen Schritt in der Erforschung von Schülervorstellungen zur Strahlung machte.

Die Preise für sämtliche in der Arbeit verwendeten Bauteile beziehen sich auf das Jahr 2018. Dasselbe gilt für die Recherche der Bauteile, die für den Bau des Geräts in Frage kommen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Zunächst ist es wichtig, gefestigte Grundlagen zu schaffen, und daher beginnt die Arbeit mit Theorie in Kapitel 2. In diesem Abschnitt werden alle theoretischen Grundlagen besprochen, beginnend mit dem Feldbegriff. Über elektrische sowie magnetische Felder bis zu den Wechselfeldern wird schrittweise das Verständnis für elektromagnetischer Strahlung aufgebaut. Weiters werden die Bestimmung der geeigneten Antennenmaße unter Berücksichtigung der elektrischen Länge von Leitern, sowie ungewöhnliche elektronische Bausteine für die Hochfrequenztechnik besprochen. Anschließend wird die Verwendung von Mikrocontrollern beschrieben und alle wesentlichen Programmierkenntnisse, die für die Ausführung des Projekts notwendig sind, vermittelt. Um den theoretischen Hintergrund abzuschließen, wird noch ein kurzer Einblick in die Didaktik des Physikunterrichts mit einem Schwerpunkt auf den Strahlungsunterricht gegeben.

Als Vereinfachung und Alternative zu einem aufwändigen Eigenbau wird in Kapitel 3 kurz eine Applikation vorgestellt, die Rohdaten aus der Kommunikation zwischen Smartphone und Sendemasten auslesen und zur Verfügung stellen kann.

In Kapitel 4 wird Schritt für Schritt die Entwicklung und Überarbeitung eines Nachweisgeräts für elektromagnetische Wellen dokumentiert. Gleichzeitig wird der volle Programmcode beschrieben und kommentiert, sowie ein Ausblick auf weitere Optimierungen gegeben.

Als letzter großer Punkt wird in Kapitel 5 eine mögliche Verwendung im Unterricht aufgezeigt und eine exemplarische Stundenplanung konstruiert.

2 Theorie

In diesem Kapitel sollen die theoretischen Grundlagen erläutert werden, die hinter den Phänomenen stecken, die untersucht werden sollen. Ausgehend von der elektrischen Ladung und dem Feldbegriff wird schrittweise das Verständnis für elektromagnetische Wellen fundiert, um dann in die Antennentechnik überzuleiten, die einen großen Bestandteil der Arbeit ausmachen wird. Da es sich bei Mikrowellen um hochfrequente elektromagnetische Strahlung handelt, sind herkömmliche Schwingkreise zu schwerfällig, um die Wellen auswerten zu können. Es ist notwendig, einen Blick auf die Hochfrequenzbausteine, wie Mixer und rauscharme Verstärker (LNA), zu werfen. Zuletzt werden noch alle notwendigen Funktionen und die Basiskenntnisse für die Programmierung eines Mikrocontrollers erklärt, da die Auswertung der Empfangsleistung digital über einen Arduino erfolgen soll.

2.1 Grundkräfte und Feldbegriff

Man kann den lokalen Raum als *Feld* bezeichnen, wobei jedem Feldpunkt Eigenschaften zugeordnet werden können. Messbare physikalische Größen bezeichnet man als Kräfte. Eine Vielzahl jener, wie Reibung oder Druck, bedürfen eines Kontakts. Es finden sich jedoch durchaus auch Kräfte, die dies nicht benötigen wie beispielsweise die Massenanziehungskraft (Gravitation) und die Magnetkraft (Wagner et al. 2012; S.58). Genau genommen können alle Kräfte auf vier grundlegende Wechselwirkungen zusammengefasst werden:

- Schwerkraft
- schwache Kernkraft
- elektromagnetische Kraft
- starke Kernkraft

Alle anderen bekannten Kräfte (Reibung, chemische Kräfte, Molekularkräfte etc.) lassen sich aus obigen vier konstruieren. Gegen 1980 gelang es, zusätzlich zur Zusammenfassung der schwachen Kernkraft und der elektromagnetischen Kraft (elektroschwache Theorie von Glashow, Weinberg und Salam, (Svartholm 1968)) noch die starke Kernkraft zu einer einheitlichen Theorie zusammenzufassen (Henke 2015; S.2-3).

2.1.1 Elementarladung

Die elektrische Ladung wird angegeben als:

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C} \quad (1\text{C} = 1\text{As})$$

Aus dieser setzen sich alle elektrischen Ladungen zusammen, bzw. sind ein Vielfaches davon (Henke 2015; S.41).

Das erkannten bereits Ehrenhaft und Millikan. Unabhängig voneinander stellten sie fest, dass alle elektrischen Ladungen ein ganzzahliges Vielfaches eines elektrischen Elementarquantums sind. Die Festlegung, dass die Ladung eines Elektrons exakt $1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$ entspricht hat den Vorteil, dass in der Praxis eine sinnvolle Stromstärkeeinheit, nämlich *Ampere*, entsteht, denn im Umkehrschluss gilt dann, dass $1,602 \cdot 10^{19}$ Elektronen an einer Querschnittsfläche pro Sekunde gemessen für ein Ampere stehen (Wagner et al. 2012; S.241-243).

2.1.2 Elektrisches Feld

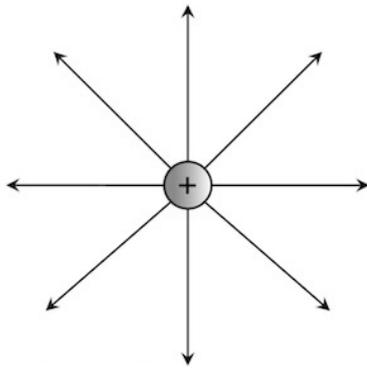
Betrachtet man eine punktförmige Ladung Q ruhend im freien Raum, so wird eine Art "Erregungszustand" im umgebenden Raum hervorgerufen. Betrachtet man nun eine zweite Punktladung q im Abstand r , so wird eine elektrische Kraft F auf diese ausgeübt, welche sich durch

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{r}_0 \quad (1)$$

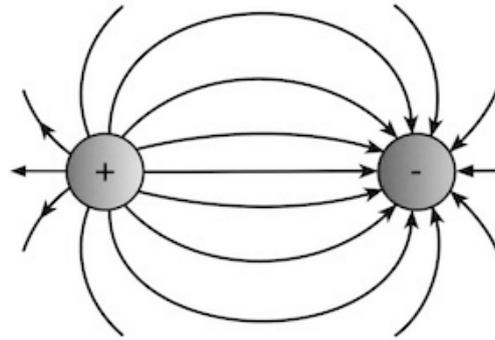
ergibt. Hierbei ist \vec{r}_0 der Einheitsvektor längs der Strecke von Q nach q und ϵ_0 die elektrische Feldkonstante. Diese Kraft ist von der betroffenen Ladung q selbst abhängig. Will man die Kraft auf eine allgemeine Ladung errechnen, so erhält man die elektrische Feldstärke \vec{E} als Kraft auf die Ladungseinheit (Wagner et al. 2012; S.242-244):

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

Im Alltag begegnet man eher selten zwei einzelnen Punktladungen. Einfacher stellt man sich hier zwei elektrisch verschieden geladene Objekte vor, die in einem gewissen Abstand zueinander sind. Ein gutes Beispiel hierfür wären zwei Platten eines Kondensators, die unterschiedlich geladen sind. Das Elektrische Feld wird durch Kraft- oder *Feldlinien* dargestellt wie in Abb. 1 (Rothammel 1988; S.18).



(a) Radialsymmetrisches Feld einer positiven elektrischen Ladung.



(b) Elektrisches Feld zwischen positiver und negativer Ladung.

Abbildung 1: Abbildungen zum elektrischen Feld, in Anlehnung an Göbel (1998; S.205).

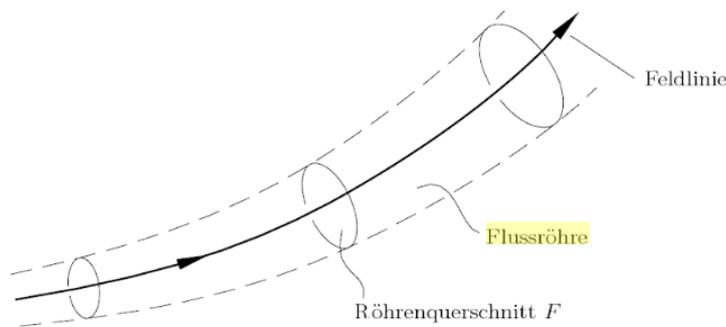


Abbildung 2: Visualisierung einer elektrischen Flussröhre um eine Feldlinie (aus Henke (2015; S.40)).

Streng formal müsste man Feldlinien so konstruieren, dass man in einem Punkt zunächst eine Kraft misst. Dann verrückt man das Messgerät um ein kleines Stück (Δr) in Richtung der gemessenen Kraft. In diesem Punkt wird dann ebenfalls die Kraft gemessen und wie vorhin vorgegangen. Durch diese Iterationen erhält man eine Kurve, welche eine Feldlinie beschreibt. Dies führt zu einer Differentialgleichung, der mathematischen Beschreibung der Feldlinien (Henke 2015; S. 39-40).

Anschaulicher allerdings ist die Vorstellung, dass jede Feldlinie eine sogenannte "Flussröhre" umgibt, deren Ausdehnung so definiert ist, dass durch jede einzelne Flussröhre derselbe elektrische Fluss geht. Genauer ausgedrückt, es geht durch jede Querschnittsfläche der Röhre derselbe elektrische Fluss (vgl. Abb. 2). Die Dichte der Feldlinien gibt demnach die Stärke des Feldes an, da bei kleinerem Abstand der Feldlinien die Querschnitte der umliegenden Flussröhren kleiner sein müssen, dadurch aber ein größerer elektrischer Fluss vorhanden sein muss. Bei kleineren Querschnittsflächen der Flussröhre muss also eine größere Feldstärke herrschen (Henke 2015; S. 39-40).

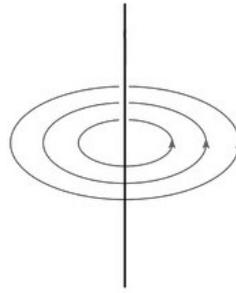


Abbildung 3: Abbildung des Magnetfelds eines Stromdurchflossenen Leiters, in Anlehnung an Rothammel (1988; S.19).

2.1.3 Magnetisches Feld - in Abhängigkeit eines Stroms

Um 1819 stellte Hans Christian Oersted fest, dass ein elektrischer Leiter, durch den ein konstanter Strom fließt, eine Kompassnadel beeinflusst. Ein stromdurchflossener Leiter erzeugt ein Magnetfeld, das senkrecht zur Stromrichtung verläuft. Die Feldlinien sind hierbei in sich geschlossen und kreisförmig um den Leiter, wie in Abb. 3 (Henke 2015; S.45).

Bei konstantem Strom bleiben Ausbreitungsrichtung und Feldstärke erhalten. Ist dieser Strom zeitlich verändert, so ändert sich das Feld ebenfalls in seiner Stärke und gegebenenfalls in seiner Richtung. Die Richtung des Feldes kann man durch die "rechte Hand Regel" erkennen¹ (Rothammel 1988; S.19).

Ampère stellte um 1825 das *erste Ampère'sche Gesetz* auf:

$$dK = I \times B dl \quad (3)$$

dK stellt die Kraft dar, die durch magnetische Induktion B auf einen Strom I der Länge dl ausgeübt wird. Betrachtet man zunächst eine einzelne Punktladung mit Geschwindigkeit v , so ergibt sich aus (3) die Lorentzkraft:

$$K = Qv \times B \quad (4)$$

Biot-Savart stellte wenig später folgende Formel auf:

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_S \frac{ds' \times (r - r')}{|r - r'|^3} \quad (5)$$

Sie gibt die magnetische Induktion B im Punkt r an, induziert durch einen dünnen stromdurchflossenen Leiter der Form S . Darauf aufbauend entstand später das *zweite*

¹Bspw. in Abb. 3 fließt der Strom im Leiter aufwärts.

Ampère'sche Gesetz (Durchflutungssatz):

$$\oint_S B \cdot ds = \mu_0 I_{\text{gesamt}} \quad (6)$$

Im wesentlichen entspricht der Gesamtstrom durch eine Fläche der magnetischen Induktion des umgebenden Kurvenintegrals. Der Durchflutungssatz der Magnetostatik ist bezüglich seiner Wichtigkeit vergleichbar mit dem Satz von Gauss aus der Elektrostatik (Henke 2015; S.45-46).

Was allerdings wesentlich schwerer wiegend aus dem Biot-Savart Gesetz folgt, ist eine der vier Maxwell'schen Gleichungen. Denn durch Umformen und Bilden der Divergenz von B erhält man:

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (7)$$

bzw.

$$\int_V \nabla \cdot B dV = \oint_O B \cdot dF = 0 \quad (8)$$

Interpretiert man diese Formeln, so gelangt man zu dem Ergebnis, dass es keine magnetischen Monopole gibt, bzw. magnetische Feldlinien keinen Ursprung haben und nicht divergieren (Henke 2015; S.46-47).

2.1.4 Das elektromagnetische Feld

Eine Potentialdifferenz erzeugt ein elektrisches und jeder Strom ein magnetisches Feld (vgl. Abschnitt 2.1.2 und Abschnitt 2.1.3). Strom kann allerdings nur dann fließen, wenn eine Spannung vorhanden ist. Finden wir also eine Stromänderung vor, so erzeugt diese infolge der Stromänderung ein *elektromagnetisches Feld*. Betrachtet man die Abbildungen 1 und 3, so erkennt man, dass die beiden Komponenten dieses Feldes - elektrische und magnetische - senkrecht zueinander stehen (Rothammel 1988; S.19).

Jedes Feld enthält eine gewisse Energie, die einem Generator² entnommen wird. Schaltet man nun den Generator ein, so baut sich infolge dessen ein Feld auf - es ist als Aufbau zu bezeichnen, da es nicht unendlich schnell passiert. Elektromagnetische Felder benötigen kein Ausbreitungsmedium, doch sind sie "nur" so schnell wie es die Lichtgeschwindigkeit zulässt. Wird dieser Generator nun wieder ausgeschaltet, so bricht das Feld zusammen. Im leeren Raum betrachtet ohne Absorber³ kehrt also die gesamte Energie - mangels einer Alternative - in den Leiter zurück. Das Zusammenbrechen hat ebenfalls eine gewisse

²Als Generator werden hier Spannungsquellen bezeichnet.

³Als Absorber werden hier Materialien bezeichnet, die die Energie eines EM-Feldes umwandeln können.

Laufzeit, denn es kehren weiter entfernte Feldlinien später zum Leiter zurück. Da nicht nur Strom ein Magnetfeld erzeugt, sondern ein zeitlich verändertes Magnetfeld auch Strom induziert (siehe Abschnitt 2.1.3), wird im Leiter folglich erneut eine Spannung erzeugt, welche wiederum ein elektrisches Feld aufbaut. Dieser Effekt findet beispielsweise in Zündkerzen Anwendung (Rothammel 1988; S.19).

Im Falle des Gleichstroms treten obige Phänomene lediglich zweimal ein. Beim Einschalten (Feldaufbau) und beim Ausschalten (Feldabbau). Diese Prozesse sind im Allgemeinen zeitlich unabhängig und asymmetrisch. Bei Wechselstrom hingegen sieht das Ganze anders aus. Den Wechselstrom kann man sich als periodisches Ein- und Ausschalten (und Umpolen) des Generators vorstellen. Die Periodizität, in der dies passiert, nennt man die *Frequenz* (Rothammel 1988; S.19).

Exkurs - Wechselstrom

In der technischen Stromerzeugung wird eine Leiterschleife (bzw. Spule) relativ zu einem Magnetfeld rotiert. Folglich wird eine periodisch veränderliche *Wechselspannung* erzeugt. Diese gelieferte Wechselspannung erhält man in Form von:

$$U = U_0 \cos \omega t \quad (9)$$

Dass hier eine sinusförmige Verteilung auftritt verwundert nicht, da bei einer Spule - je nach veränderlichem Effektivwinkel zum Magnetfeld - die induzierte Spannung größer oder kleiner wird. Schaltet man einen Verbraucher hinzu, so erhält man einen - im Allgemeinen phasenverschobenen - *Wechselstrom*, der Form:

$$I = I_0 \cos (\omega t - \varphi) \quad (10)$$

Wobei U_0 und I_0 die Amplituden von Strom und Spannung sowie ω die Kreisfrequenz und φ die Phasenverschiebung darstellen. Die Frequenz f ergibt sich aus $f = \frac{\omega}{2\pi}$ und die Periodendauer τ aus $\tau = \frac{2\pi}{\omega}$. Hier ist ersichtlich: $\tau = \frac{1}{f}$, daher genügt es, nur einen Wert anzugeben. In Europa übliche Werte hierzu sind für $f = 50\text{Hz}$ und $\tau = 20\text{ms}$ (Wagner et al. 2012; S.360-361).

2.1.5 Das elektromagnetische Wechselfeld

Betrachtet man nun einen Wechselstrom in einem Leiter in einzelnen Schritten, passiert folgendes: Zunächst baut sich - wie bereits bekannt durch die Laufzeit verzögert - ein elek-

tromagnetisches Feld auf. Dann fällt der Strom entsprechend Abschnitt 2.1.4 sinusförmig ab und die Feldenergie beginnt zum Leiter zurückzukehren. Verschiedene Teile des Feldes benötigen allerdings unterschiedlich lange, um in den Leiter zurückzukehren. Aufgrund dieser Verzögerung kommen die weiter entfernten Teile des Feldes zu einem Zeitpunkt an, zu dem durch die Wechselspannung bedingt in dem Leiter eine völlig andere Stromverteilung herrscht. Diese neue Stromverteilung erzeugt jedoch ihrerseits bereits ein eigenes Feld, welches gegensätzlich gepolt ist und die übrigen Teile des alten Feldes vom Leiter "wegdrückt". Die so "ausgesperrten" elektrischen Feldlinien bilden geschlossene Schleifen, umgeben von magnetischen Feldlinien. Dieser Vorgang wiederholt sich gemäß der Periodizität des Wechselstroms, und der Leiter "schiebt" somit eine *elektromagnetische Welle* von sich weg, die in Frequenz - und somit auch Wellenlänge - dem erregenden Wechselstrom genau entspricht. Für obigen Ablauf muss natürlich vorausgesetzt werden, dass der Generator genau zur richtigen Zeit umpolt, um dem zurückkehrenden Feld den Weg zu versperren und es somit zwingt, sich im Raum auszubreiten. Die Ausbreitungsrichtung verläuft stets senkrecht zu den elektrischen und magnetischen Feldstärkevektoren (Rothammel 1988; S.19-20).

Ermittelt man aus der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Feldstärke das Kreuzprodukt:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (11)$$

so erhält man den *Poynting'schen Vektor*. Er zeigt die Raumrichtung und die Dichte des Energieflusses. Genau genommen gibt er die Energiemenge an, die pro Sekunde durch eine Fläche von einem m^2 strömt, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung steht (Henke 2015; S.408).

2.1.6 Definition der Strahlung

An dem letzten Kapitel anknüpfend sei festgehalten, dass in dieser Arbeit das Wort *Strahlung* stets für die *elektromagnetische Strahlung* steht.

Im Alltag verbinden viele Strahlung mit radioaktiver Aktivität (α -, β -, γ - Strahlung) oder Wärme (Infrarot-Strahlung). In dieser Arbeit und in entstehenden Unterrichtskonzeptionen ist allerdings durchwegs teilchenlose Strahlung gemeint. In Anlehnung an Plotz (2016; S.1) und Plotz (2017a; S.31-33) wird zwischen *ionisierender* und *nicht ionisierender* Strahlung unterschieden, also der Strahlung, die genug Energie transportiert, um einen Stoff ionisieren zu können, und der, die dies nicht tut.

Es handelt sich hierbei nicht um eine klare Grenze, sondern um einen fließenden Übergang, da die Energiemenge, die für die Ionisierung notwendig ist, von dem bestrahlten Stoff abhängt. Diese Energie liegt zwischen 3 und 25 eV (Elektronenvolt). Um eine klare Definitionsgrundlage in dieser Arbeit zu geben, wird die Ionisierungsenergie des menschlichen Gewebes als Grenze betrachtet (4,3 eV), welche mit einer Wellenlänge von etwa 230 nm erreicht wird. Alle Strahlungen mit weniger Energie zählen demnach zur *nicht ionisierenden Strahlung* und alle mit mehr Energie zur *ionisierenden Strahlung*⁴ (Plotz 2017a; S.32).

2.1.7 Nahfeld und Fernfeld

In der allgemeinen Literatur zwar selten vertreten, aber doch wichtig zu erwähnen, ist, dass man zwischen zwei verschiedenen Arten von Feldern unterscheidet. Die Begriffe sind nicht einheitlich geprägt, daher sollen sie für diese Arbeit definiert werden⁵: Das *Nahfeld* (*storage field*) und das *Fernfeld* (*radiating field*) (Schmitt 2002; S.89).

Das Nahfeld existiert lediglich in der unmittelbaren Nähe (bis hin zu einigen Wellenlängen Distanz) und fällt nach Ausschalten der Quelle wieder in den Strahler zurück. Insofern verdeutlicht der englische Titel "storage⁶ field" den Charakter des Nahfeldes. Fernfelder hingegen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus und tun dies weiterhin, selbst wenn man die Quelle ausschaltet. Außerdem haben jegliche Einwirkungen von oder auf die Welle, wie zum Beispiel Absorptionen und Reflexionen, keinerlei Einfluss auf die Quelle: man sagt auch die Welle ist im Fernfeld "entkoppelt" (Schmitt 2002; S.90).

Als einfaches Beispiel betrachte man einen Fernsehsender. Die Energie, die benötigt wird, um die Sendung auszustrahlen, ist unabhängig davon, wie viele Geräte sie empfangen. Wenn jemand ein Fernsehgerät aufdreht, so benötigt der Sender keine zusätzliche Energie, um das Programm zu übertragen. Sobald das Signal das Nahfeld verlassen hat, ist es von der Quelle unabhängig, egal, ob es von einem Fernseher, einem Blatt, oder von einem Regentropfen absorbiert, oder gar ins Weltall reflektiert wird. Dies gilt allerdings nicht für das Nahfeld. Wird in diesem Energie umgewandelt oder abgelenkt, so ruft dies eine unmittelbare Reaktion in der Quelle hervor. Deshalb ist es sehr schwer, das Nahfeld zu vermessen, da jegliche Messung das Feld beeinflusst, das man messen möchte. Zum Nahfeld gehören sowohl statische als auch bewegte Ladungen. Ergo sind auch die Felder aus elektrischen Schaltungen inkludiert, im Speziellen Bereiche um Leiter, Widerstände, Transistoren oder andere elektronischen Bauteilen (Schmitt 2002; S.91).

⁴Visuelle Referenz in Abschnitt 5.4, Spektrum, S. 88.

⁵engl. Begriffe nach Schmitt

⁶engl. store = lagern, speichern

2.1.8 Elektrische Länge

Bisher wurde noch nicht zwischen mechanischer und elektrischer Länge unterschieden. Elektromagnetische Wellen breiten sich nur im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus, in einem Leiter sind sie langsamer. Daher unterscheiden sich mechanische und elektrische Längen von Leitern (Rothammel 1988; S.49).

Die elektrische Länge ist eine dimensionslose Größe, welche die Länge (L) eines Drahtes oder Geräts bei einer gewissen Frequenz angibt (Schmitt 2002; S.8):

$$\text{Elektrische Länge} = \frac{L}{\lambda} \quad (12)$$

(λ ...Wellenlänge)

Die Energie, welche von Antennen ausgesandt wird, ist proportional zur elektrischen Länge. Betrachtet man drei Antennen, die vom selben Strom (1A) durchflossen werden, und bei unterschiedlichen Frequenzen 60Hz, 100MHz und 10GHz dieselbe elektrische Länge haben, so haben alle dasselbe Strahlungsmuster und strahlen die gleiche Menge an Energie aus. Betrachtet man die dazugehörigen mechanischen Längen $2,5 \cdot 10^6\text{m}$, $1,5\text{m}$ und $1,5\text{cm}$, so ist ersichtlich, warum man bei vielen Geräten in die höheren Frequenzen tendiert (Schmitt 2002; S.91-92).

Für diese Betrachtungen wurde vorausgesetzt, dass eine ideale Antenne vorliegt, also eine, die unendlich dünn ist (Durchmesser ≈ 0). In der realen Welt kommt dies nicht vor. Das Verhältnis von Länge zu Durchmesser einer Antenne nennt man *Schlankheitsgrad* und der hat Einfluss auf die elektrische Länge eines Leiters. Je größer hierbei der Schlankheitsgrad der Antenne, desto länger ist die Antenne zu wählen. Abb. 5 (Seite 16) zeigt, dass der Verkürzungsfaktor zwar mit zunehmendem Schlankheitsgrad wächst, sich jedoch stets zwischen Null und Eins befindet. Dadurch wächst der Faktor immer weiter gegen Eins, was im Gegenzug weniger Verkürzung bedeutet. Man kann den Schlankheitsgrad durch folgende Formel berechnen:

$$\text{Schlankheitsgrad} = \frac{\lambda}{d} \quad (13)$$

wobei λ die Wellenlänge und d der Durchmesser des Leiters sind (Rothammel 1988; S.50).

Außer diesem beeinflusst auch der *Endeffekt* die Resonanzlänge des Leiters. Dieser ist abhängig von den Isolatoren an den Enden, falls die Antenne an den Enden befestigt werden muss, sowie von Umwelteinflüssen, wie dem Abstand zum Boden oder zu Bäumen, die Kapazitäten in den Enden der Antenne hervorrufen. Der Endeffekt kann nur empirisch ermittelt werden und steigt mit zunehmender Frequenz, weshalb in der Praxis die mechanische Länge eines Drahtes meist gekürzt werden muss, um Resonanz zu erzielen. Hierbei

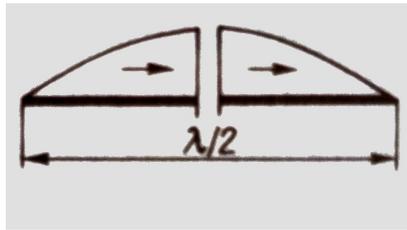


Abbildung 4: Links: Schematische Abbildung eines Dipols (vgl. Tabelle 1), rechts: Bild eines selbstgebaute Dipols (eigenes Foto).

gilt: je kleiner der Schlankheitsgrad (Länge/Durchmesser), desto kürzer die Antenne (Rothammel 1988; S.49).

2.2 Antennen

Der Begriff *Antenne* kommt aus der Zoologie, dort werden mit *antennae* (von lat. *antennae* = Segelstange) lange dünne Insektenfühler gemeint (Rothammel 1988; S.45).

Antennen nutzen das in Abschnitt 2.1.5 (S. 9) beschriebene Prinzip der Aussendung von elektromagnetischen Wellen. Auf die gleiche Weise, auf die die Bewegung von Elektronen im Leiter eine elektromagnetische Welle aussendet, regt dieselbe Welle Elektronen in einem zweiten Leiter an. Es gilt insbesondere das *Reziprozitätsgesetz*, welches besagt, dass die charakteristischen Eigenschaften einer Antenne beim Senden auch beim Empfangen erhalten bleiben. Etwas salopp könnte man sagen: Falls eine Antenne besonders gut auf einer gewissen Frequenz sendet, so ist sie für dieselbe Frequenz ebenfalls eine gute Empfangsantenne (Rothammel 1988; S.45).

In diesem Abschnitt sollen die Kenndaten von Antennen angeführt und erläutert werden. Es wird elektrische Länge im Zusammenhang mit physischer Länge der Antenne verglichen sowie Richtwirkung und charakteristische Eigenschaften von Antennen angeführt. Ziel ist es, eine geeignete Antenne für das Nachweisgerät zu finden.

2.2.1 Halbwellendipol und Eingangsimpedanz

Anhand des Halbwellendipols sollen die wichtigsten Gesichtspunkte von Antennen genannt werden.

Die Länge des Halbwellendipols ist eine halbe Wellenlänge, wobei er in der Mitte geteilt ist und dort die Speisung erfolgt, um entweder ein Signal zu senden oder zu empfangen (Rothammel 1988; S.45).

Die Impedanz einer Antenne ist der Speisepunktwiderstand (*Eingangsimpedanz*), nicht zu verwechseln mit dem Scheinwiderstand, welcher für jeden beliebigen Punkt an der Oberfläche eines Strahlers feststellbar ist. In der Literatur finden sich die Werte der *Strahlungswiderstände*. Sie sind meist auf das Strommaximum bezogen und können als Ersatzwiderstand angesehen werden, der die abgestrahlte Leistung umsetzen würde. Bei Speisung einer Antenne im Strombauch entspricht der Speisungswiderstand der Summe aus Strahlungswiderstand und Verlustwiderstand. Letzterer entsteht durch Oberflächenwiderstand des Antennenleiters sowie dielektrische Verluste in den Isolatoren (Rothammel 1988; S.48).

Im Fall des Halbwellendipols liegt der Speisepunkt in der Mitte der Antenne und somit im Strombauch und hat daher einen vergleichsweise geringen Speisungswiderstand (Rothammel 1988; S.47). Theoretisch kann man die Eingangsimpedanz eines Halbwellendipols auf 73Ω berechnen, allerdings gilt dies nur für einen unendlich dünnen Leiter, der sich unendlich hoch über der Erde befindet. Reale Halbwellendipole liegen etwa um 60Ω (Rothammel 1988; S.48).

Für eine Übersicht einiger Antennenformen mit zugehörigem Strahlungswiderstand eignet sich Tabelle 1 (S. 15).

2.2.2 Verkürzungsfaktor

Wie in Abschnitt 2.1.8 diskutiert, sind elektrische Länge und mechanische Länge nur im Idealfall⁷ gleich, im realen Fall dagegen ist die elektrische Länge stets länger. Durch Beachten des *Schlankheitsgrads* und des *Endeffekts* ergibt sich eine neue Resonanzlänge des Antennenleiters, der sogenannte Verkürzungsfaktor. Es gilt: je kleiner der Schlankheitsgrad, umso größer die Verkürzung (Rothammel 1988; S.49).

Berechnung der realen Leiterlänge

Will man nun die reale Länge eines Halbwellendipols für die Zielfrequenz von 900MHz ermitteln, so berechnet man zunächst die Wellenlänge nach

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (14)$$

⁷unendlich dünner Leiter

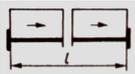
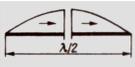
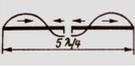
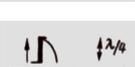
Antennenart	Stromverteilung	Richtfaktor bzw. Gewinn bei verlustfreier Antenne		Gewinn über Halbwellendipol		Strahlungswiderstand R_s in Ω
		G_i	g_i/dB	G_d	g_d/dB	
Kugelstrahler (isotrope Antenne)		1	0	0,61	-2,15	-
Elektrisch kurzer Dipol ($l < \lambda/5$)		1,5	1,76	0,92	-0,39	$197 (l/\lambda)^2$
Hertzscher Dipol (elektrisch kurzer Dipol mit Dachkapazitäten)		1,5	1,76	0,92	-0,39	$790 (l/\lambda)^2$
Halbwellendipol ($\lambda/2$ -Dipol)		1,64	2,15	1	0	73,2
Ganzwellendipol (λ -Dipol)		2,4	3,8	1,47	1,67	199,2
Verlängerter Doppelzepp ($1,28 \lambda \approx 5\lambda/4$ -Dipol)		3,3	5,18	2	3	98
Drehkreuzantenne (Turnstile Antenne)		0,82	-0,86	0,5	-3	326,6
Elektrisch kurze Vertikalantenne ($h < \lambda/10$)		3	4,77	1,83	2,62	$395 (l/\lambda)^2$
Elektrisch kurze Vertikalantenne mit Dachkapazität		3	4,77	1,83	2,62	$1579 (l/\lambda)^2$
$\lambda/4$ -Vertikalantenne (Marconi-Antenne)		3,28	5,16	2	3	36,6
$\lambda/2$ Vertikalantenne		4,82	6,83	2,94	4,68	99,6
$5\lambda/8$ -Vertikalantenne ($\approx 0,64\lambda$)		6,6	8,19	4	6	49
Kleiner Rahmen (Fläche A, Umfang $\ll \lambda$)		1,5	1,76	0,92	-0,39	$31 171 (A/\lambda^2)^2$
Ringelement (Umfang 1λ)		2,23	3,49	1,36	1,34	133
Quadelemente (Umfang 1λ)		2,06	3,14	1,25	0,99	117
Delta-Loop-Elemente (gleichseitiges Dreieck, Umfang 1λ)		1,91	2,82	1,17	0,67	106

Tabelle 1: Übersicht über verschiedene Antennenarten, incl. Kenngrößen. (In Anlehnung an Rothammel (1988; S.64) (Bilder kopiert))

Anmerkung: Erklärung zu den Abkürzungen siehe Abschnitt 2.2.4 Seite 17

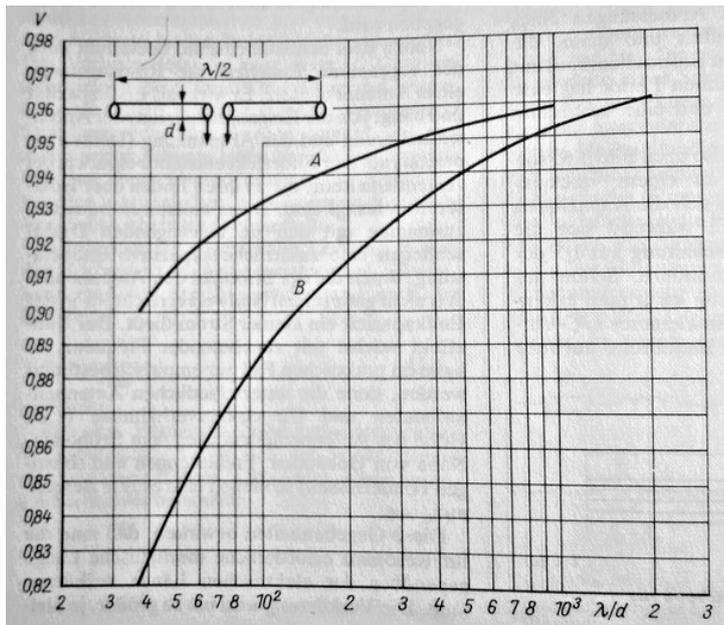


Abbildung 5: Diagramm zum Ablesen des Verkürzungsfaktors (y-Achse) bei gegebenem Schlankheitsgrad (x-Achse). Abbildung aus (Rothammel 1988; S.50).

wobei c die Lichtgeschwindigkeit, λ die Wellenlänge und f die Frequenz ist. Wir erhalten also:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{900 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}} = 0,3 \text{ m} \approx 33,3 \text{ cm} \quad (15)$$

Das ergibt eine Wellenlänge von etwa 33,3cm und daher ist die Länge des Halbwelldipols (für unendlich dünne Leiter) etwa 16,7cm. Der Leiter hat einen gewissen Durchmesser, den wir mit 1 mm festlegen. Nach Gleichung (13) aus Abschnitt 2.1.8 errechnet sich der Schlankheitsgrad zu etwa $\frac{0,3}{0,001} \approx 330^a$. Liest man noch aus Abb. 5 den entsprechenden Verkürzungsfaktor von etwa 0,93 ab, so erhält man eine reale Länge von $16,7 \text{ cm} \cdot 0,93 \approx 15,5 \text{ cm}$.

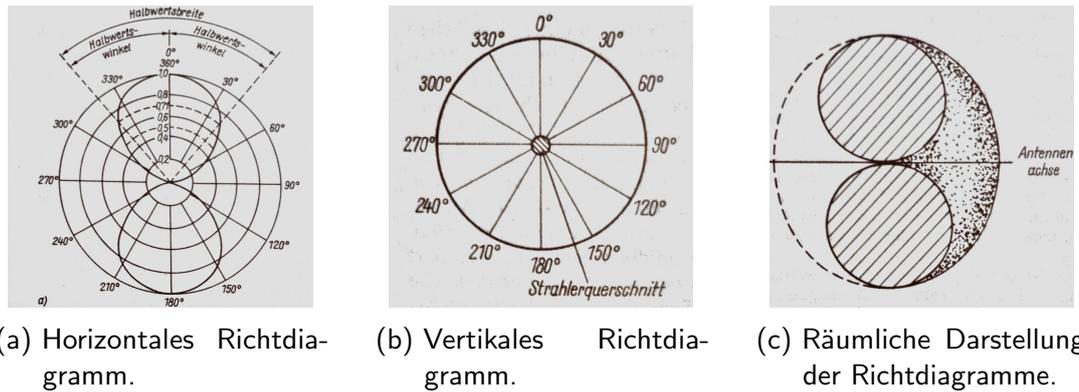
^aGenauer es Runden ist nicht notwendig, da aus der Grafik nur schätzungsweise Ablesen möglich ist.

In Anlehnung an (Rothammel 1988; S.50)

2.2.3 Richtwirkung von Antennen

Antennen weisen eine formabhängige Strahlungsrichtung auf. Als *isotropen Strahler* bezeichnet man den idealen Strahler, der in alle Richtungen gleichmäßig strahlt⁸. Eine reale Antenne hingegen weist eine sogenannte *Richtcharakteristik* auf. Diese beschreibt die räumliche Abstrahlungsrichtung der Antenne. Angegeben wird sie durch Horizontal- und

⁸Anschaulich ist hierbei ein Beispiel aus der Optik, in welcher man sich eine isotrope Lichtquelle als einen Punkt im Raum vorstellt, der in alle Richtungen leuchtet und durch sich selbst keinen Schatten wirft.



(a) Horizontales Richtdiagramm. (b) Vertikales Richtdiagramm. (c) Räumliche Darstellung der Richtdiagramme.

Abbildung 6: Normierte Richtdiagramme eines Halbwelldipols (Rothammel (1988)).

Vertikaldiagramme. In Abbildung 6 ist das Richtdiagramm eines klassischen Halbwelldipols abgebildet (Rothammel 1988; S.52). Will man sich diese im Raum vorstellen, so stellt man sich am besten die Antenne als senkrecht stehenden Stab vor und die Richtcharakteristik Donut-förmig rundherum.

Der Halbwelldipol ist demnach ein - fast - omnidirektionaler Strahler.

Richtdiagramme können durch die Umwelt beeinflusst werden. Metalle oder der Erdboden reflektieren einen Teil der Strahlung, weswegen der Abstand zum Boden bei größeren Wellenlängen nicht zu vernachlässigen ist⁹. Manche Materialien dämpfen durch Absorbieren elektromagnetischer Strahlung (Rothammel 1988; S.53-56).

2.2.4 Gewinn und Bezugsantennen

Nach der Betrachtung der Richtwirkung ist bei der Auswahl einer Antenne noch der sogenannte Gewinn zu betrachten. Den Gewinn G_E berechnet man nach

$$G_E = \frac{P_E}{P_K} \quad (16)$$

wobei P_E die Empfangsleistung der betrachteten Antenne und P_K die eines Kugelstrahlers ist. Beide sollten dafür optimal im ebenen Wellenfeld orientiert sein. Der Gewinn ist demnach das Verhältnis, um wie viel stärker oder schwächer die empfangene Leistung des ausgewählten Strahlers im Vergleich zu dem idealen Kugelstrahler ist. Aus der Definition der elektrischen Leistung $P = U^2/R$ folgt, dass man den Gewinn auch über das Verhältnis der Spannungen ermitteln kann (Rothammel 1988; S.58).

$$G_E = \left(\frac{U_E}{U_K} \right)^2 \quad (17)$$

⁹Ein absichtlich angebrachter Reflektor kann die Richtung beeinflussen und gleichzeitig das eingehende Signal verstärken, ähnlich wie man Licht durch einen Hohlspiegel bündeln kann.

Selten wird man ein anderes Maß als dB (*Dezibel*) antreffen, welches logarithmisch ist:

$$G_E = 10 \log \left(\frac{P_E}{P_K} \right) \quad \text{bzw.} \quad 20 \log \left(\frac{U_E}{U_K} \right) \quad (18)$$

Das hat einen praktisch orientierten Grund: Da man beim Arbeiten mit Antennen ebenfalls mit Dämpfungen zu rechnen hat, hat das Rechnen mit Dezibel den Vorteil, dass man Werte addieren kann. Betrachtet man demnach eine Antenne mit 12dB Gewinn, die mit einer Speiseleitung von 7dB Verlust verbunden ist, so erhält man im System einen Gesamtgewinn von $12-7=5$ dB (Rothammel 1988; S.60).

Wissenswert ist noch, dass nicht nur die Einheit dB, sondern auch dBi und dBd verwendet werden. Hierzu zwei Definitionen:

”*Internationale Gewinndefinition* (nach CCIR Radio Regulation No. 100/101, 1971) *Absoluter* oder *isotroper Gewinn* (G_i): Gewinn einer Antenne in einer gegebenen Richtung, wenn die Bezugsantenne ein Kugelstrahler im freien Raum ist.”

”*Relativer Gewinn*: Gewinn (G_D) einer Antenne in einer gegebenen Richtung, wenn die Bezugsantenne ein verlustfreier Halbwellendipol im freien Raum und seine Äquatorialebene die gegebene Richtung enthält. ” (Rothammel 1988; S.60)

Die Einheit dBi stammt vom Vergleich zum isotropen Kugelstrahler und die verwandte Einheit dBd vom Vergleich zum idealen Dipol (Rothammel 1988; S.60-61).

Eine Sammlung wichtiger Antennenformen mit entsprechenden Kenngrößen findet sich in Tabelle 1 (S.15).

2.2.5 Polarisation

Was bisher nicht behandelt wurde, ist, dass es unterschiedliche Arten der Polarisation bei elektromagnetischen Wellen gibt. Man unterscheidet zwischen *linear-* und *zirkulärpolarisiert*.

Bei linearer Polarisation stehen die Feldlinien im Bezug auf die Erdoberfläche entweder *horizontal* (parallel) oder *vertikal* (lotrecht).

Bei zirkulärer Polarisation unterscheidet man zwischen in Ausbreitungsrichtung *rechts zirkular* (im Uhrzeigersinn) und *links zirkular* (gegen den Uhrzeigersinn) drehenden Feldvektoren.

Nach quantenmechanischem Prinzip folgt, dass vertikal polarisierte EMW (Elektromagnetische Wellen) nicht von horizontal polarisierten Detektoren (Antennen) empfangen werden können. Analog können auch rechts-zirkulär polarisierte EMW nicht von links-zirkulär polarisierten Elementen empfangen werden.

Antennen- polarisation \ Feld- polarisation	vertikal ↑	horizontal →	zirkular rechtsdrehend ↻	zirkular linksdrehend ↺
vertikal ↑	0 dB	∞	3 dB	3 dB
horizontal ↻	∞	0 dB	3 dB	3 dB
zirkular rechtsdrehend ↻	3 dB	3 dB	0 dB	∞
zirkular linksdrehend ↺	3 dB	3 dB	∞	0 dB

Tabelle 2: Dämpfung zwischen elektromagnetischem Feld und Antenne durch verschiedene Polarisationen. In Anlehnung an Rothammel (1988; S.21)

Linear polarisierte EMW können allerdings mit einer Dämpfung von 3dB (also um die Hälfte gedämpft) von zirkulären Antennen empfangen werden. Für eine Übersicht zu Dämpfung zwischen unterschiedlichen Polarisationen dient Tabelle 2.

Es ist auch möglich, eine linear polarisierte Welle in beliebiger Lage zwischen horizontal und vertikal zu polarisieren. Beispielsweise verwenden vereinzelt UKW-Rundfunksender 45° geneigte Polarisation, um von horizontalen und vertikalen Empfangsantennen empfangen werden zu können (natürlich mit entsprechender Dämpfung) (Rothammel 1988; S.21).

2.2.6 Zusammenfassung

Worauf achtet man nun bei der Auswahl einer Antenne?

Zunächst sollte man sich darüber im Klaren sein, ob man eine gerichtete oder eine omnidirektionale Antenne möchte. Daher sollte man zuerst die Richtdiagramme betrachten.

Von weiterem Interesse ist stets auch die Polarisation. Will man jede Art von linear polarisierten Wellen messen, so greift man eher zu zirkulären Antennen und umgekehrt, falls man jede Art von zirkulär polarisierter Strahlung messen will, zu einer linear polarisierten Antenne. Will man jedoch maximale Empfangsleistung haben, so stimmt man die Antenne in Polarisation und Orientierung mit dem Sender ab.

Bei dem Kauf einer gewählten Antenne ist der wichtigste Wert, an dem man sich sonst noch orientieren sollte, der Gewinn, angegeben in dB, dBi oder dBd¹⁰. Bei Eigenbau muss man sich die entsprechenden Werte selbst berechnen, einen Online-Rechner zu Rate ziehen oder Fachliteratur vertrauen¹¹.

Nicht zu vernachlässigen ist auch die Eingangsimpedanz. Gekaufte Antennen sind meist auf 50Ω genormt, selbst gebaute müssen entweder von Beginn an diesem Wert entsprechen, angepasst werden oder zum fortgesetzten Schaltkreis passen¹².

¹⁰Nähere Informationen in Abschnitt 2.2.4 Seite 17

¹¹In dieser Arbeit werden nicht alle Arten von Antennen behandelt, für praktische Informationen empfiehlt der Autor Rothammel (1988), für theoretischen Input Henke (2015)

¹²Für Impedanz von Antennenformen siehe Tabelle 1, für nähere Informationen zur Leistungsanpassung Abschnitt 2.3.5 (S. 23).

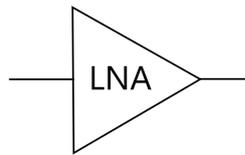


Abbildung 7: Schaltzeichen eines LNA (In Anlehnung an Schweber (2013b)).

In dieser Arbeit werden Experimente mit Eigenbau von einem klassischen Halbwellendipol (Impedanz $73,2\Omega$), einer Marconi-Antenne ($36,6\Omega$) und einer $5\lambda/8$ Vertikalantenne (49Ω) behandelt, da deren Eingangsimpedanzen möglichst nahe bei den genormten 50Ω liegen und ihr jeweiliger Aufbau relativ simpel ist. Man muss allerdings beachten, dass keinerlei Kalibrierungen vorgesehen sind und Monopole (Marconi- sowie $5\lambda/8$ Vertikalantennen) eigentlich eine geeignete Erde benötigen, die das Gerät nicht zur Verfügung stellen kann. Deswegen liegt das Hauptaugenmerk auf dem Halbwellendipol.

2.3 Besondere elektronische Bauteile

Herkömmliche Bauteile werden beim Arbeiten mit Hochfrequenz nicht mehr verwendet, da sie mit den hohen Frequenzen zu ungenau arbeiten. Bereits sehr kurze Strecken gelten dann als *elektrisch lang* und strahlen selbst einen Teil der Energie wieder ab. Zweiter Grund ist die meist sehr geringe Energiemenge, die transportiert wird. Bereits kleine Energieverluste führen dann oft zu stark verfälschten oder ausbleibenden Ergebnissen.

In diesem Kapitel soll eine kurze Übersicht über die gebräuchlichen Bauteile der Hochfrequenztechnik gegeben werden, um die Komplexität des Themas zu verdeutlichen und abzuschätzen, ob der Eigenbau sich im Sinne der Reproduzierbarkeit rentiert. Das Wissen über die gebräuchlichen Bauteile, wie elektrische Widerstände, Kapazitäten und Induktivitäten wird vorausgesetzt.

2.3.1 LNA

Der *Low Noise Amplifier* (kurz LNA, vgl. Abb. 7) ist ein typischer Bestandteil von Hochfrequenzschaltkreisen. Prinzipiell soll der Verstärker das - meist kleine - Eingangssignal der Antenne verstärken, damit es für weitere Etappen der Schaltung verwertbar ist. Wichtig dabei ist, dass dieser Verstärker möglichst wenig Eigenrauschen erzeugt, welches den Ertrag mindert. Üblicherweise sind die LNAs durch die verwendbaren Frequenzbereiche, Betriebsspannung, Gain und Rauschzahlen spezifiziert (Richard und Chi-Hsi 1938, Schweber 2013b)

Oft sind die an der Antenne anlangenden Signale im Mikrovolt Bereich (unter -100 dBm). Diese Signale müssen erst auf einen analysierbaren Pegel verstärkt werden ($0,5$ - 1 V). In einem auf 50Ω Impedanz genormten System entsprechen $10\mu\text{V}$ -87 dBm bzw. $100\mu\text{V}$ -67 dBm. Das eigentliche Problem bleibt nicht das Verstärken, sondern das Selektieren der zu verstärkenden Frequenzen. Man möchte das Rauschen so niedrig wie möglich halten (Schweber (2013b)).

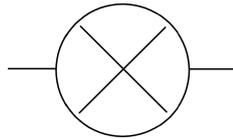
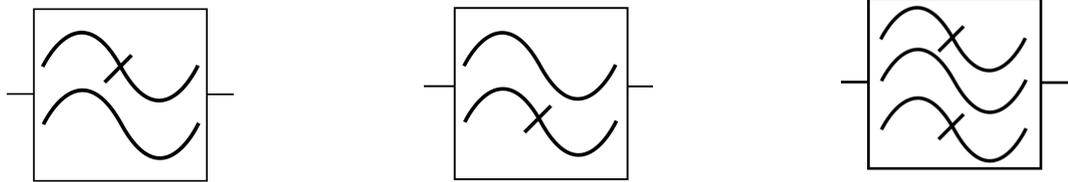


Abbildung 8: Schaltbild eines Mixers (In Anlehnung an Schweber (2013a)).



(a) Symbol eines Tiefpasses. (b) Symbol eines Hochpasses. (c) Symbol eines Bandpasses.

Abbildung 9: Schaltsymbole verschiedener Filter (In Anlehnung an (Lyons 1997; S.494-505)).

2.3.2 Mixer

Der Mixer (vgl. Abb. 8) nimmt die Eingangsfrequenz (RF) und die lokale Oszillatorfrequenz (LO) und "mischt" diese zusammen. Hierbei entstehen u.a. die Summe und die Differenz der beiden Frequenzen, unter anderem deswegen, weil - je nach Konstruktion der Mischer - durch nichtlineare Bauteile - besonders die Dioden - verschiedene Ordnungen der Mischsignale entstehen. Meist möchte man entweder die Differenz "downconversion" oder die Summe "upconversion" erhalten. Die gewünschte Frequenz nennt man IF für *intermediate Frequency* ("Zwischenfrequenz"). Die ungewünschten Frequenzen werden am Ausgang des Mixers abgeschlossen und ausgefiltert (Richard und Chi-Hsi 1938; S.699-701).

Der Weg von Antenne durch LNA zu Mixer ist bei Hochfrequenztechnik relativ kritisch, da bei hohen Frequenzen bereits ein sehr kurzer Leiter als *elektrisch lang* (vgl. Abschnitt 2.1.8 Seite 12) gilt und dadurch selbst zum Strahler wird, was eine Dämpfung nach sich zieht. Nach dem Mixer hat man das Signal auf die Zwischenfrequenz (IF) gesenkt, welche derartige Probleme nicht hervorruft. Auf der IF kann dann gefiltert und demoduliert werden (Schweber 2013a).

Man unterscheidet zwar zwischen aktiven und passiven Mixern, jedoch werden für den Mikrowellenbereich lediglich passive empfohlen. Die größten Vorteile des passiven Mixers umfassen die kleinen Rauschzahlen (3-5 dB passiv vs. 10-15 dB aktiv) und die höhere Zuverlässigkeit, da weniger Bauteile verwendet werden müssen, bei denen Fehler anfallen könnten (Richard und Chi-Hsi 1938; S.695-698).

Die Kriterien, nach denen man Mixer auswählt, sind meist passiv oder aktiv, Rauschzahlen und die Bandbreite, auf die die Mixer spezialisiert wurden. Außerdem spielen Isolation, dynamische Bandbreite oder Linearität noch eine Rolle (Schweber 2013a).

2.3.3 Filter

Grundlegend unterscheidet man zwischen *festen Filtern* und *abstimmbaren Filtern*. Abstimmbare Filter werden in dieser Arbeit nicht verwendet und daher auch nicht weiter erläutert¹³. Feste Filter haben den Vorteil, dass sie bereits sehr lange und fortschrittlich entwickelt wurden. Für die Formen *lowpass-filter* (LPF), *highpass-filter* (HPF) und *bandpass-filter* (BPF) (vgl Abb. 9) gibt es umfangreiche Tabellen oder sogar "online-Rechner" für die einzelnen Bauelemente (Richard und Chi-Hsi 1938; S.731-732).

Hierbei sind die Filter nach dem Frequenzspektrum benannt, das sie passieren lassen. Ein Tiefpass (*low-pass*) lässt tiefe Frequenzen bis zu einer bestimmten Wellenlänge passieren. Ab dieser bestimmten Frequenz werden alle höheren Frequenzen gedämpft¹⁴. Analog lässt der Hochpass (*high-pass*) nur hohe Frequenzen passieren und dämpft die tieferen. Der Bandpass besteht aus einem Hoch- und einem Tiefpass. In diesem Fall kann nur ein diskreter Frequenzbereich passieren. Zu tiefe Frequenzen werden durch den Hochpass gedämpft und zu hohe Frequenzen durch den Tiefpass (Lyons 1997; S.494-505).

In der Hochfrequenz ist es allerdings obsolet, noch selbst Filter zu bauen, sofern man nicht mit der Materie vertraut ist, da man hier viel falsch machen kann bzw. die Bauteile Dimensionen erreichen, die unökonomisch sind. Industriell gefertigte Filter sind preiswert und unkompliziert zu verbauen, daher empfiehlt der Autor hier, gewünschte Modelle zu kaufen, anstatt sie selbst zu bauen. In Frage kommen hier bspw. SAW (surface acoustic wave) Filter, Keramik Filter, oder *microstrip line* Filter (Richard und Chi-Hsi 1938; S.731-732).

2.3.4 VCO

Ein *voltage controlled oscillator* (VCO) ist im Wesentlichen ein Baustein, der eine spannungsgesteuerte Schwingfrequenz erzeugt. Je nach angelegter Spannung kann man die Frequenz variieren, genaue Informationen hierzu sind stets dem Datenblatt zu entnehmen. Will man eine fixe Frequenz einstellen, mag ein einfacher Vorwiderstand reichen. Möchte man es variabel haben, verwendet man ein Potentiometer, um mechanisch umstellen zu können. Je nach Belieben kann auch über einen Microcontroller und einen DAC (*Digital-Analog-Converter*) die anliegende Spannung über die Pins gesteuert werden. Üblicherweise werden VCOs in RF-Schaltkreisen als LO-Frequenz bei Mischern verbaut, um, je nachdem, welche Frequenz man auslesen möchte, die LO Frequenz anzupassen, sodass die IF stets die bleibt, mit der man weiter arbeiten möchte (Richard und Chi-Hsi 1938; S.749-751).

¹³Angeführt werden sie deswegen, falls Interessenten die vorgestellten Konzepte erweitern oder verändern wollen.

¹⁴Im Idealfall wäre dies ein direktes *Abschneiden* ab einer Frequenz, im Realfall allerdings gibt es ein Übergangsspektrum, in welchem nur zum Teil gedämpft wird. Man könnte von einer "Unschärfe" an der Randfrequenz sprechen

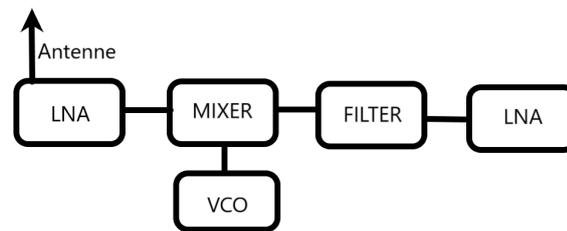


Abbildung 10: Blockdiagramm für den Eigenbau einer Schaltung statt der Fertigplatine (AD8318).

(hypothetisches) Beispiel

Angenommen man will die Frequenz von 938 MHz auf eine IF von 73,35 MHz herab transformieren: Zunächst schließt man RF_{in} an den Mixer sowie an einen geeigneten VCO, eingestellt auf LO von 864,65 (Informationen hierzu im jeweiligen Datenblatt). Am Ausgang des Mixers erhält man nun sowohl die Wunschfrequenz von 73,35 MHz, als auch 1802,65 MHz (Summe und Differenz). Durch geeignete LNA und/oder Tiefpass kann man nun die gewünschte Frequenz verstärken bzw. die ungewollte herausfiltern (Richard und Chi-Hsi 1938; S.705-706).

2.3.5 Leistungsanpassung

Um die maximale Leistung abgreifen zu können, muss der Schaltkreis leistungsangepasst sein. Übliche Norm in RF-Schaltkreisen sind 50Ω . Filter, VCOs und LNAs sind leicht auf 50Ω angepasst zu finden (Integrated 2002; S.4).

Ein Problem stellt sich allerdings beim Mischer. Dessen zwei Eingänge (RF/LO) sind oft auf 50Ω genormt, der Ausgang jedoch nicht und muss daher manuell normiert werden. Das hat den Grund, dass die Leistungsanpassung für verschiedene Frequenzen unterschiedliche Formen annimmt. Um daher ein möglichst breites IF-Band zur Verfügung zu stellen, lässt der Hersteller die Anpassung aus. Weiters muss der Ausgang des Mixers bezüglich *jeder* austretenden Frequenz angepasst sein. Das heißt, es muss der Ausgang nicht nur für die erwünschte IF angepasst werden, sondern auch für die Spiegelfrequenz geeignet sein, damit die Wellen nicht "retour laufen" und etwaige Schäden am Mischer verursachen, der relativ sensibel ist. Man erhält gelegentlich im Datenblatt Hinweise, wie man vorgehen könnte (Devices 2006; S.1,15-22,26), *jedoch rät der Autor stark ab, in Eigenbau ohne Hilfe oder Erfahrung auf diesem Gebiet zu hantieren.*

2.3.6 Zusammenspiel der Bausteine

In Abb. 10 ist eine mögliche Schaltung skizziert und zeigt, wie die Bauteile ineinander greifen. Von einer Empfangsquelle werden durch einen LNA die gewünschten Frequen-

zen verstärkt, ohne zu viel Rauschen zu erzeugen. Der lokale Oszillator ist so eingestellt, dass der Mixer zusammen mit dem Eingangssignal eine Zwischenfrequenz erzeugt, die an die folgenden Sensoren/Controller weitergeleitet werden kann und dabei möglichst wenig Energie abstrahlt. Je nach Notwendigkeit kann nach dem Mixer noch ein Filter und ein LNA zugeschaltet werden. Wichtig ist allerdings, dass nach dem Mixer eine Leistungsanpassung erfolgt. Der Mixer selbst ist ein sensibler Bauteil, der bei unangemessener Anpassung schnell zerstört wird, wenn nicht alle Frequenzen am Ausgang abgeschlossen werden.

Als zu empfehlende Alternative bieten sich logarithmische Detektoren an, die einige solcher Bauteile bereits verbaut haben. Dadurch spart man sich den Eigenbau ohne Mehrkosten, da die Einzelpreise elektronischer Bauteile in diesem Segment deutlich höher sind als Massenkauflpreise. Beispielsweise ist ein fertig abgestimmter und leistungsangepasster logarithmischer Detektor AD8318 bereits ab etwa 15€ erhältlich¹⁵, wohingegen der Preis nur für den Detektor-Baustein selbst ebenfalls auf etwa 13€ kommt.

2.4 Arduino als Mikrocontroller

Als *Mikrocontroller* bezeichnet man Entwicklerboards, auf denen ein kleiner Prozessor verbaut ist. Solche Controller können als einfache Computer betrachtet werden. Der Arduino kann über die USB-Schnittstelle mit einem PC kommunizieren und über die verschiedenen Pins digitale und analoge Signale erhalten und verarbeiten. Solch ein Mikrocontroller muss programmiert werden.

Der Arduino ist von Grund auf ein digitales Gerät. Das heißt, dass er vom Prinzip her mit diskreten Werten arbeitet (Scott Fitzgerald 2012; S. 5-6, 164).

Es gibt zwei Methoden, Signale zu übertragen: *analog* oder *digital*. Um zu verdeutlichen, was man unter analogen Geräten verstehen kann, gibt es zwei einfache Beispiele (Paolo 2013; S.55-56):

1. Die Sonne geht am Morgen auf. An ihrem Höchststand ist es Mittag und wenn sie untergeht, wird das Ende des Tages signalisiert. Die Sonne sendet uns hiermit Informationen, welche bereits sehr früh durch Hilfsmittel beobachtet werden konnten. Die Sonnenuhr ist ein analoges Gerät, das das Licht der Sonne nutzt.
2. Der Erfinder des Thermometers erkannte, dass sich alle Substanzen bei unterschiedlichen Temperaturen ausdehnen oder zusammenziehen. Flüssigkeitsthermometer nutzen diese Ausdehnung, um die Temperatur sichtbar zu machen.

Man sieht aus diesen Beispielen, dass analoge Geräte eine kontinuierliche Anzeige darstellen. Man kann üblicherweise stufenlos Werte ablesen, und die Genauigkeit der Skala und Kalibrierung entscheidet darüber, wie genau man die Werte ablesen kann.

Im Kontrast dazu stehen digitale Signale, die in keinem direkten Zusammenhang zur Umwelt stehen. Digitale Signale bestehen aus elektrischen Pulsen oder Lichtblitzen. Die digitalen Zeichen stehen in keiner offensichtlichen Relation zu ihrer Bedeutung.

¹⁵Amazon (2018)

Code	Buchstabe	Code	Buchstabe
·—	A	—·	N
—··	B	— — —	O
· — · —	C	· — · —	P
— · ·	D	— — · —	Q
·	E	· — ·	R
· · —	F	···	S
— — ·	G	—	T
····	H	· · —	U
··	I	··· —	V
· — — —	J	· — —	W
— · —	K	— · · —	X
· — · ·	L	— · — —	Y
— —	M	— — ·	Z

Tabelle 3: Kodierung der Morsezeichen. In Anlehnung an (Spragg 1943; S.111).

1. Betrachtet man die Werte: 1,3V; 4,7V; 8,1V; so scheinen diese in keinem direkten Zusammenhang zu stehen. Betrachtet man jeden Wert als Synonym für Buchstaben, z.B.: 1.3V=A, 4.7V=B und 8.1V=C, so erhalten sie eine Bedeutung.
2. Ein sehr bekanntes Beispiel sind auch Morsezeichen. Durch punktartige Piepstöne, langgezogene Piepstöne und Pausen werden in bestimmten Kombinationen alle Buchstaben des Alphabets und sämtliche arabische Ziffern dargestellt (vgl. Tabelle 3).

Im Falle des Arduino besitzt dieser *digitale Pins*. Diese Pins können ganz im Sinne des Binärsystems nur zwei Zustände einnehmen: *High* und *Low*. Der Zustand *High* bedeutet, dass an diesem Pin eine Spannung von 5V anliegt. Der Zustand *Low* beschreibt die Spannung von 0V (Scott Fitzgerald 2012; S.33).

Oft möchte man allerdings nicht nur messen, ob etwas *High* oder *Low* ist, sondern möchte wissen, wie hoch die angelegte Spannung ist. Da Prozessoren nur mit "Strom" oder "nicht Strom" arbeiten - 0/1 -, wurde im Arduino ein *Analog - Digital - Converter (ADC)* verbaut. Dieser wandelt analoge Spannungswerte in ein digitales, vom Arduino verarbeitbares Signal um. An diesem Pin wird ein Spannungswert zwischen 0V und 5V in 1024 Teile geteilt. Der Arduino gibt also basierend auf der anliegenden Spannung einen Wert zwischen 0 und 1023 aus. Mit dem Wissen, dass 0V - 5V in 0 - 1023 Teile geteilt werden, ergibt sich, dass $\frac{5V}{1024} = 0,0049V$ die Schrittgröße dieser Skala ist. Ein Teil der Skala bedeutet also 4,9mV (Scott Fitzgerald 2012; S.43).

2.4.1 Breadboard

Als *Breadboard* oder *Steckplatine* bezeichnet man eine Platine, die bereits vorgefertigte Buchsen hat, in die man ohne Löten Drähte stecken kann. Das Board ist in der Mitte durch eine Rille geteilt. Die unmarkierten Buchsen auf jeder Seite davon sind je horizontal untereinander vernetzt (über die Rille in der Mitte hinaus jedoch nicht) (vgl. Abb. 11). Die zwei Buchsenspalten ganz links und ganz rechts dagegen sind jeweils senkrecht verbunden

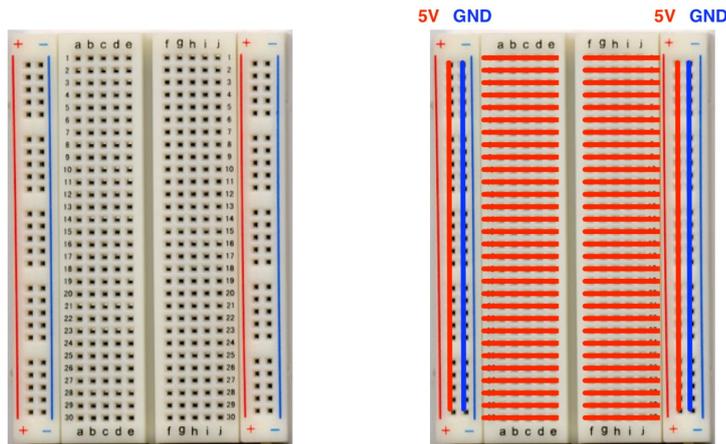


Abbildung 11: Links: Foto eines Breadboards. Rechts: Schematik der Vernetzung der Buchsen (Quelle: Brunswick (na)).



Abbildung 12: Symbolbild (links) und Schaltbild (rechts) einer LED (erstellt mit Fritzing).

und mit ”+” und ”-” beschriftet. Meist verbindet man hier ”+” mit der Versorgungsspannung (Arduino - 5V) und ”-” mit GND (*Ground* oder *Erde*) (Scott Fitzgerald 2012; S.6).

Breadboards machen das Erproben von Schaltungen deutlich einfacher, da man nicht sämtliche Kontakte löten muss, und daher auch keine Lötstellen unbemerkt brechen können. Es empfiehlt sich daher, Schaltungen zuerst auf dem Breadboard zu testen. Doch da Breadboards etwas teurer sind als einfache Prototyp Boards, auf denen man Komponenten verlötet, sollten die Schaltungen in finaler Stufe verlötet werden. Besonders bei Geräten, die später transportabel sein sollen oder viel bewegt werden, ist Breadboard nicht empfehlenswert, weil leicht Kabeln aus den Buchsen rutschen können.

2.4.2 Leuchtdioden

Leuchtdioden (LEDs) sind Dioden, die Licht ausstrahlen (vgl. Abb. 12), sobald sie von Strom durchflossen werden. Üblicherweise erkennt man die Anode (+ Pol) daran, dass dieses Bein der Diode länger ist als das der Kathode (- Pol). Die Leuchtdiode zählt zu den Dioden und lässt daher Strom nur in einer Richtung durch. Schaltet man eine Diode ”falsch herum”, so nennt man das die *Sperrrichtung*, und es fließt kein Strom. Ist die Spannung zu hoch, sodass selbst in Sperrrichtung Strom fließt, so riskiert man, dass die Diode zerstört wird.

Bei Dioden sollte man daher besonders auf die absoluten Maximalwerte aufpassen. Bei grünen LEDs ist die typische Spannung bei 2,2V, die maximale dagegen bei 2,6V (Steier 2012; S.3). Blaue LEDs dagegen sind mit 3,5V versorgt, maximal jedoch mit 4,0V (Steier



Abbildung 13: Links: Foto, rechts: Schaltzeichen eines elektrischen Widerstands.

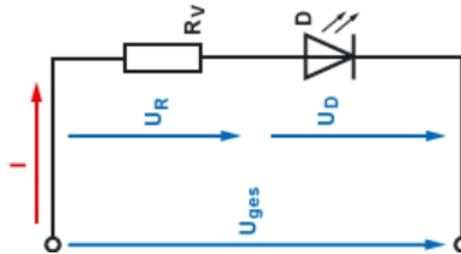


Abbildung 14: Schaltplan eines Spannungsteilers (In Anlehnung an die Elektronik-Fibel).

2012; S.9). Man sieht also, dass es je nach Farbe unterschiedliche Werte sind. Je nach erforderlicher Betriebsspannung muss man einen geeigneten Vorwiderstand verwenden.

2.4.3 Widerstände und Spannungsteiler

Elektrische Widerstände sind Bauelemente, die den Stromfluss behindern (vgl. Abb. 13). Das Symbol für den Widerstand ist ein R und die Einheit heißt Ohm (Ω). Diese Bauteile sind von wenigen Ohm bis in den Megaohm Bereich hinein erhältlich.

Sind in einer Schleife mehrere Widerstände in Serie geschaltet, so fällt im Verhältnis zur Größe des individuellen Widerstands Spannung ab (Wagner et al. 2012; 287-290). Diese Eigenschaft kann man nutzen, um in einem Stromkreis, in dem eine fixierte Spannung vorliegt, an dem gewünschten Bauelement eine bestimmte Spannung zu erreichen, indem man einen geeichten Widerstand in Serie schaltet. Dieser Widerstand wird dann als *Vorwiderstand* bezeichnet¹⁶, und dieses Verfahren nennt man einen *Spannungsteiler*. Der Spannungsteiler besteht aus zwei seriellen Widerständen (bzw. einem Widerstand und einem gewünschten Bauteil) (vgl. Abb. 14).

Beispiel zur Berechnung

Geht man von einer festen Versorgungsspannung von $U_{ges} = 5V$ aus und möchte eine grüne LED mit einer typischen Betriebsspannung von $U_D = 2,2V$ und einem maximalen Strom von $A_{max} = 30mA$ betreiben, so kann man berechnen, wieviel Spannung an dem vorgeschalteten Widerstand abfallen soll ($5 - 2,2 = 2,8$).

¹⁶Egal, ob dieser Widerstand vor oder nach dem Bauteil geschaltet wird, nennt man ihn *Vorwiderstand*.

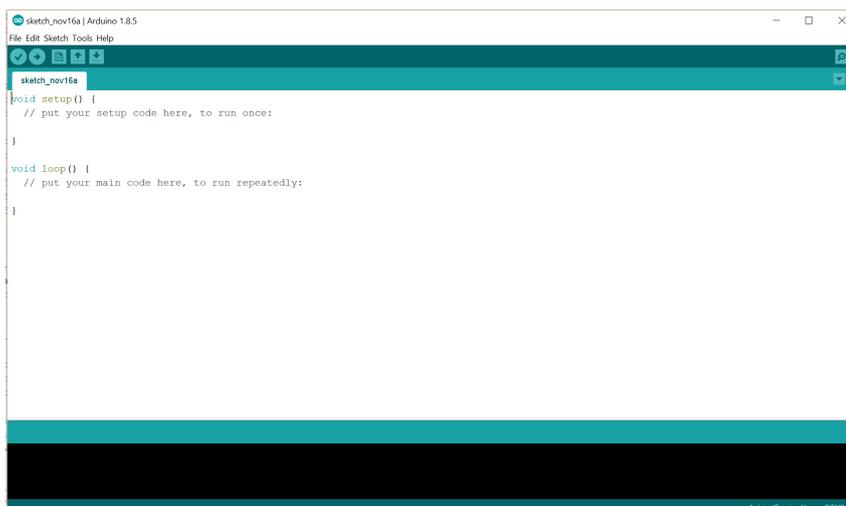


Abbildung 15: Screenshot der offiziellen IDE (Entwicklerumgebung) für das Programmieren mit Arduino.

Zur Berechnung des Widerstands kann man das Ohmsche Gesetz verwenden und gelangt demnach zu dem Ergebnis:

$$R_V = \frac{U_R}{I_R} = \frac{2,8}{0,03} \approx 100$$

Also muss man mindestens etwa 100Ω als Vorwiderstand wählen. Möchte man auf Nummer sicher gehen, kann man mit etwas weniger Betriebsstrom rechnen und einen größeren Vorwiderstand wählen. Jedenfalls sollte man immer das Datenblatt der Dioden beachten!

2.4.4 Programmieren mit dem Arduino

Die Programmiersprache für den Arduino ist streng genommen C und C++. Dennoch gibt es vorgefertigte Befehle in der Arduino Entwicklerumgebung (IDE - *Integrierte Entwicklerumgebung*), die das Programmieren sehr nutzerfreundlich gestaltet. Mit dieser Arduino IDE (Abb. 15) wird in dieser Arbeit hantiert, sie ist auf der offiziellen Arduino-Homepage als Download oder Web Editor (für letzteren ist es nicht notwendig, das Programm herunterzuladen) erhältlich.

Programme, die in der Arduino IDE geschrieben werden, nennt man *Sketches* und haben als Dateivormat ".ino". Diese geschriebenen Textzeilen müssen von einem in der IDE integrierten Compiler in Computersprache umgewandelt werden, die dann auf den Mikroprozessor gespielt wird. Diesen Vorgang nennt man *kompilieren*. Die wichtigsten Funktionen umfassen *Verify*, *Upload*, *New*, *Open*, *Save*, *Serial Monitor* und sind in Tabelle 4 erklärt.

-  *Verify*: Überprüft den geschriebenen Code auf Fehler.
-  *Upload*: Kompiliert den Code und lädt ihn auf das angesteckte Entwicklerboard (Arduino).
-  *New*: Erzeugt ein neues Arbeitsblatt für das Schreiben von Code.
-  *Open*: Erlaubt eine bereits vorhandene .ino-Datei zu öffnen.
-  *Save*: Speichert den aktuellen Sketch.
-  *Serial Monitor*: Öffnet den seriellen Monitor (Falls der Arduino angeschlossen ist und das Programm darauf ausgelegt ist, öffnet sich ein Fenster, in dem man mit dem Arduino kommunizieren kann).

Tabelle 4: Befehle, die in der Arduino IDE per Icon aufgerufen werden können (aus Arduino IDE).

Grundstruktur

Die IDE gibt beim Erstellen eines neuen Arbeitsblatts sofort die erforderliche Grundstruktur mit `setup()` und `loop()`.

```
void setup() {
}

void loop() {
}
```

In den Mengen-Klammern "`{`" und "`}`" der `setup()`-Funktion fügt man Programmzeilen ein, die zu Beginn ablaufen sollen und nur *einmal* ablaufen. Die Programmzeilen, von denen man möchte, dass sie immer wieder von vorne abgearbeitet werden, schreibt man in die Mengen-Klammern der `loop()`-Funktion. Diese wird von dem Mikroprozessor nach dem Abarbeiten immer wieder aufgerufen und "läuft im Kreis". Daher auch der Name "loop".

Nach einem "`//`" wird alles danach in einer Zeile Geschriebene als Kommentar gewertet und nicht kompiliert. Es ist in Programmen so üblich, dass Notizen direkt in den betreffenden Zeilen gemacht werden.

```
void setup(){
    VerarbeiteterBefehl(Argumente); //Dieser Text ist ein Kommentar und wird
    nicht verarbeitet!
}
```

Pins Definieren

Bevor ein Pin verwendet wird, muss man dem Arduino klarmachen, ob es sich um einen Ausgang oder einen Eingang handelt. Im Falle der digitalen Pins werden Ausgänge vom Nutzer als *HIGH* (5V) oder *LOW* (0V) **definiert**, Eingänge jedoch ermöglichen es, dem Nutzer anzeigen zu lassen, ob die anliegende Spannung *HIGH* oder *LOW* **ist**.

Die Syntax dazu ist:

```
pinMode(Nummer, [OUTPUT/INPUT]);
```

Anstelle von "Nummer" schreibt man die Pinbezeichnung und statt "[OUTPUT/INPUT]" wählt man den entsprechend gewünschten Wert.

Die Schreibweise muss exakt so aussehen. Schreibfehler wie `pinmode` statt `pinMode`, oder das Weglassen des Beistrichs in `pinMode(Nummer, OUTPUT)` führen unweigerlich zu Fehlerausgaben beim Kompilieren des Programms. Aus diesem Grund ist es nicht empfohlen, ohne Hintergrundwissen den bestehenden Code umzuschreiben.

Alle Basics des Programmierens in C zu listen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen und ist weiters nicht Hauptbestandteil des Kerngebiets, weshalb darauf verzichtet wird.

Variablen

Es gibt verschiedene Typen von Variablen. Unter anderem *float* und *int*. Als Integer (`int`) versteht man einen Datentyp, der ganze Zahlen speichert. Die Zuweisung sieht folgendermaßen aus:

```
int Name [= -5];
```

Der Abstand zwischen *int* und dem Namen der Variable ist notwendig. Die Zuweisung eines Wertes kann sofort erfolgen (der Teil in den eckigen Klammern), muss allerdings nicht. In letzterem Fall wird im Speicher lediglich der erforderliche Platz reserviert. Das ";" am Ende der Zeile ist verpflichtend.

Als *float* bezeichnet man hingegen *Gleitkomma-Variablen*. In diesen Datentypen werden Kommazahlen gespeichert.

```
float Kommazahl [=0.243]; //Beachte: Komma wird als Punkt notiert!
```

Hier werden Variablen für Ergebnisse von Rechnungen oder Werte, die man genau speichern möchte, vergeben. Auf die Frage, wofür man dann noch den *int* Datentyp verwendet, lautet die Antwort: Speicherplatz. Eine *float* Variable belegt 32 Bit Speicher, während Integer üblicherweise nur 16 Bit belegen. Float Variable geben Zahlen im Bereich $1,17 \cdot 10^{-38}$ bis $3,4 \cdot 10^{38}$ an, während Integer einen Bereich von -32768 bis 32767 als ganze Zahlen abdecken. Es sei jedoch erwähnt, dass es auch andere Datentypen gibt, die größere ganze Zahlen oder Gleitkommazahlen abdecken.

Analog und digital Pins lesen oder schreiben

Die englischen Worte für lesen und schreiben sind *read* und *write*. Die Funktionen, durch die man Werte analog oder digital lesen und schreiben kann, sind sehr ähnlich dazu:

```
analogRead(PinNummer); //auf analogem Pin den Spannungswert abrufen
analogWrite(PinNummer, Wert); //auf analogem Pin einen Wert setzen
digitalRead(PinNummer); //auf digitalem Pin HIGH oder LOW abrufen
digitalWrite(PinNummer, [HIGH/LOW]); //auf digitalem Pin HIGH oder LOW
    setzen.
```

Man kann die Funktion *read* allerdings nur fehlerfrei ausführen, wenn der entsprechende Pin bereits als Eingang definiert ist. Genauso kann man die Funktion *write* nur nutzen, wenn der Pin als Ausgang definiert ist.

Bei analogen Ausgängen kann man einen Wert zwischen 0 und 255 verwenden, wobei dies einem Ein- und Ausschalten des Pins bei einer Herzrate von etwa 490 Hz entspricht. Die *analogRead* Funktion gibt einen Wert zwischen 0 und 1023 wieder, was der Auflösung des ADCs (Analog-Digital-Converter) entspricht.

Bei digitalen Ausgängen kann man lediglich entweder HIGH oder LOW verwenden, da digitale Pins nur zwischen "Strom" oder "nicht Strom" unterscheiden können. Auch hier ist es wichtig, dass bei *read* der Pin als Eingang und bei *write* der Pin als Ausgang definiert ist.

Pause

Manchmal will man, dass das Programm wartet, bis es den nächsten Schritt ausführt. In diesem Fall kann man die *delay* Funktion verwenden.

```
delay(Millisekunden); //Programm fuer Millisekunden pausiert
```

Die Funktion *delay* übernimmt einen ganzzahligen Wert in Millisekunden. Der Befehl `delay(1000);` pausiert ein Programm demnach für eine Sekunde.

Erfahrene Programmierer verzichten oft auf den Gebrauch der *delay* Funktion, da sie fast sämtliche Prozesse anhält und Berechnungen oder Hintergrundprozesse ebenfalls nicht weiterlaufen können¹⁷. Für die Zwecke dieses Programms ist die *delay* Funktion allerdings völlig ausreichend.

Kontrollstrukturen

if

If ist das englische Wort für *falls*.

¹⁷Für Fortgeschrittene: Ein Ausweichen auf die *millis()* Funktion ist eine Alternative.

```

if (Bedingung)
{
  //Auftrag
}

```

Falls die Bedingung (oder Bedingungen) in den runden Klammern erfüllt ist (sind), arbeitet das Programm die Anweisungen in den geschweiften Klammern ab. Falls diese Bedingung nicht erfüllt ist, ignoriert das Programm die geschweiften Klammern und arbeitet nach dem Block weiter.

else

Mit der Struktur *else* (deutsch: *sonst*) erweitert man eine *if*-Struktur um weitere Möglichkeiten:

```

if (Bedingung) {
  //Mach das, falls Bedingung eingehalten ist.
}
else if (andereBedingung) {
  //mach das, falls "Bedingung" nicht gegeben ist, aber "andereBedingung"
  zutrifft.
}
else {
  //Falls "Bedingung" und "andereBedingung" nicht gegeben sind, mach das.
}

```

Durch die *else if* Struktur kann man einen zusätzlichen Fall hinzufügen. Es können beliebig viele *else if* Strukturen genannt werden. Man muss aber beachten, dass nur die erste Struktur, deren Bedingung(en) erfüllt ist (sind), abgearbeitet wird. Ist die *if* Bedingung erfüllt, beachtet das Programm alle *else if* und *else* Funktionen gar nicht mehr, sondern springt zum Ende des Blocks.

Die *else* Struktur wird nur abgearbeitet, falls keine andere Bedingung zutrifft.

Kurzes Beispiel zur Verdeutlichung:

```

if (Regen) {Nimm Regenschirm mit}
else if (Wind) {Nimm eine Jacke mit}
else {Nimm eine Sonnenbrille mit}

```

Falls es regnet, nimmt das Programm einen Regenschirm mit. Falls es nicht regnet, aber der Wind geht, so nimmt das Programm eine Jacke mit. Falls es aber regnet und der Wind geht, so hat das Programm trotzdem nur einen Regenschirm mit, da die erste Bedingung "Regen" erfüllt ist und es somit den gesamten restlichen Block gar nicht mehr liest.

Analog nimmt das Programm nur eine Sonnenbrille mit, wenn es nicht regnet und kein Wind geht.

for

Die *for* Struktur ist eine Schleife und fordert drei Argumente:

```
for (Initialisierung; Bedingung; Zuwachs){  
    //Befehle;  
}
```

In der Initialisierung fordert man eine natürliche Zahl, also einen *int* Datentyp. Weiters fordert man eine Bedingung. Solange diese Bedingung erfüllt ist, beginnt das Programm die Struktur von neuem. Sobald sie nicht mehr erfüllt ist, beendet das Programm diesen Strukturblock. Die Bedingung ist meist an die Initialisierung geknüpft. Damit die Struktur kein Endlosläufer wird, gibt man zusätzlich einen Zuwachs bekannt, der bei einer gewissen Iteration die Bedingung nicht mehr zutreffen lässt.

Veranschaulichung an einem kurzen Beispiel:

```
for (int i=0; i<10; i++){ //i++ addiert 1 zu i hinzu  
    //Schreibe i auf ein Blatt Papier;  
}
```

Diese Struktur beginnt bei 0 zu zählen ($i=0$). So lange i nun kleiner als 10 ist, führt das Programm den Auftrag aus, i auf ein Blatt Papier zu schreiben. Damit das Papier nicht endlos mit Nullen gefüllt wird, wählt man einen Zuwachs. In diesem Fall wird i jedes Mal, wenn die Struktur abgearbeitet wurde, um eins erhöht. Wenn die Runde, in der die Neun auf das Blatt geschrieben wird, beendet wird und der Zähler (i) von Neun auf Zehn geht, da am Ende jeder Runde i um eins erhöht wird, ist die Bedingung nicht mehr erfüllt und das Programm springt an das Ende des Strukturblocks und fährt mit dem Rest des Programms fort.

Als Resultat stehen auf dem Blatt Papier nun die Zahlen von 0 bis 9.

while

Die *while* Struktur ist eine Schleife (ähnlich der *for*-Struktur), fordert allerdings nur ein Argument:

```
while (Bedingung(en)){  
    //Befehle;  
}
```

In dieser Struktur wird keine Initialisierung gefordert. Die Variable, die in der Bedingung verankert wird, muss bereits existieren. Außerdem muss nun selbständig in der Schleife dafür gesorgt werden, dass die Schleife irgendwann beendet wird. Der Vorteil hier liegt darin, dass man bereits existierende Variable verwenden kann, um Bedingungen zu setzen.

An einem kurzen Beispiel:

```

//Bereich ausserhalb der Schleife//
bool Regen;
checkWeather(Regen); //Funktion, die schaut, ob es regnet, und entsprechend
    Regen auf true oder false setzt.

//Schleife//
while (Regen == true){
    nichtausserHausgehen();
    delay(1000);
    checkWeather(Regen);
}

```

In diesem Beispiel wird der Datentyp *bool* verwendet. Dieser speichert in der Variable anstelle einer Zahl entweder *true* oder *false*.

Die Funktion `checkWeather(Variable)` sieht nach, ob es regnet, und speichert entweder *true* oder *false* in *Variable*.

In der *while* Schleife wird zunächst kontrolliert, ob es regnet, weswegen das Programm in die Variable *Regen* nachschaut. Falls diese auf *true* liegt, arbeitet das Programm die *while* Struktur ab, die befiehlt, dass man nicht außer Haus geht. Dann wartet das Programm eine Sekunde und sieht dann noch einmal nach, ob es regnet. Obwohl die Variable *Regen* global definiert wurde (außerhalb der Struktur), kann sie in der *while* Schleife bearbeitet werden. Dann beginnt die Struktur von neuem und schaut ob es regnet.

Wenn diese Bedingung nicht mehr zu Beginn der Struktur erfüllt ist, überspringt das Programm den Strukturblock und fährt mit dem Rest des Programms fort.

Vergleichsoperatoren

Für Bedingungen können *Vergleichsoperatoren* verwendet werden. Dies sind logische Verknüpfungen von Bedingungen, wie *ist gleich*, *ist größer als*, oder *ist größer oder gleich als*, etc.

Vergleich zwischen x und y	Bedeutung
$x == y$	x ist gleich y
$x != y$	x ist ungleich y
$x < y$	x ist kleiner y
$x > y$	x ist größer y
$x <= y$	x ist kleiner oder gleich y
$x >= y$	x ist größer oder gleich y
!	Verneinung (vertauscht den Wahrheitswert)
&&	Logische "und" Verknüpfung
	Logische "oder" Verknüpfung

Alle oben genannten Operatoren kann man bei Bedingungen verwenden, wobei der obere Teil die tatsächlichen Bedingungen enthält und die unteren beiden Operatoren dazu verwendet werden, um mehrere Bedingungen zu verknüpfen. Das *logische oder* ist nicht das im deutschen Sprachgebrauch verwendete "exklusive oder", sondern das "entweder (...)

oder (...)”. Sobald bei einem *logischen oder* eine der beiden Bedingungen erfüllt ist, wird die gesamte Aussage als wahr evaluiert!

Die Aussage: ”Ich gehe heute entweder ins Kino oder in die Diskothek” entspricht dabei eher dem exklusiven oder (man kann nur eines von beidem machen), während die Aussage: ”Machst du deine Hausübung, oder wäschst du das Geschirr ab, bekommst du Süßes” erwarten lässt, dass man Süßes bereits nach der Erledigung einer dieser Tätigkeiten erhält, aber auch bekommt, wenn man beide Aufgaben erfüllt.

Funktionen

Da nicht alle vorgefertigten Funktionen umfangreich genug sind, um zu erledigen, was man möchte, oder wenn man seinen Code ”aufräumen” möchte, kann man eigene Funktionen erstellen, die das erledigen.

```
datatyp funktionsName(Argumente){
    Befehle;
    return Resultat;
}
```

Zunächst muss geklärt sein, welchen Datentyp die Funktion liefern soll. Wenn eine Funktion das Ziel hat, eine ganze Zahl auszugeben, wählt man den Datentyp `int`, bei Kommazahlen `float` etc. Führt eine Funktion nur Befehle aus, die kein Resultat zurückgeben sollen, so wählt man keinen Datentyp und schreibt als Platzhalter `void` (deutsch: leer).

In die Argumente schreibt man Dinge, die in der Funktion bearbeitet werden sollen, samt ihrem Datentyp. Bei der Definition verwendet man hier allerdings keine globalen Variablen, da hier nur Platzhalter stehen sollen, als Referenz für die Operationen, die später mit den übergebenen Variablen in dem Bereich *Befehle* durchgeführt werden sollen.

Ist der Datentyp `void` gewählt, lässt man den Befehl *return* weg, anderenfalls ist er verpflichtend.

Eine Funktion muss keine Argumente enthalten.

Zur Veranschaulichung zwei kurze Beispiele:

```

//Definition der Funktion//
int meineMultiplikation(int Zahl1, int Zahl2) {
    int Ergebnis; //Erstellung einer leeren, lokalen Variable, die nach
                  dem return wieder entfernt wird.
    Ergebnis = Zahl1 * Zahl2;
    return Ergebnis;
}

//Eigentliches Programm//
int x = 2;
int y = 3;
int e; //Hier soll letztendlich das Produkt von i und j gespeichert
       werden

e = meineMultiplikation(x, y);

```

In diesem Beispiel erstellen wir eine Funktion, die das Produkt zweier ganzer Zahlen bildet und zurückgibt (`return`).

In der Funktionsdefinition selber fordert man zwei *int* Datentyp-Zahlen, die in der Funktion dann als *Zahl1* und *Zahl2* referenziert werden. Hier stehen also Platzhalter für die späteren Variablen, damit man die Funktion für alle beliebigen Variablen verwenden kann.

```

//Definition der Funktion//
void meineFunktion(){
    pcHerunterfahren();
    netzschalterUmlegen();
    verteilerAusschalten();
}

//Programm//
if (Zeit >= 21 Uhr) {meineFunktion;}

```

Diese Funktion hat keinen Datentyp und soll auch keinen Wert zurückgeben (daher kein `return`). Sie bekommt auch keine Argumente, da sie keine Zahlen oder Daten verarbeiten, sondern lediglich andere Funktionen aufrufen soll. Diese Funktion sorgt dafür, dass beim Ausschalten des PCs die richtige Reihenfolge eingehalten wird. Zuerst wird der PC heruntergefahren, dann der Netzschalter umgelegt und zum Schluss erst der Steckdosenverteiler ausgeschaltet, damit keine Überspannung entstehen kann.

Serieller Monitor

Ist der Mikroprozessor über das Anschlusskabel mit dem PC verbunden, so kann man über den seriellen Monitor Ausgaben machen lassen.

```
Serial.begin(9600);           //Erstellt einen seriellen Port mit 9600 bps

Serial.print(Wert [, Format]); //Sendet den Wert an den seriellen Port
Serial.println(Wert [, Format]); //Beendet nach dem Drucken des Werts die
                               Zeile
```

Zunächst muss man mit dem Befehl `Serial.begin(Wert)` einen Port öffnen. Standardmäßig ist als Wert 9600 zu wählen, das kann allerdings von Anwendung und Gerät aus variieren.

Die zwei wichtigsten Befehle sind `Serial.print()` und `Serial.println()`, denen ein Wert übergeben wird. Der Wert darf hierbei jeden Datentyp annehmen und kann durch das optionale Argument *Format* umgewandelt werden. Der einfachste Weg, einen gewünschten Text ausgeben zu lassen, ist, ihn direkt in den *print* Befehl mit Anführungszeichen zu schreiben.

Möchte man seine Ausgabe ordentlich arrangieren, so können die *string* Datentypen Eingaben `\t` (Tabulator) und `\n` (Zeilenumbruch) weiterhelfen.

Kurzes Beispiel:

```
int i = 0;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Hello World");
  Serial.print("DEC");
  Serial.print("\t");
  Serial.println("HEX");
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  Serial.print(i);
  Serial.print("\t");
  Serial.println(i, HEX);
  i++;
  delay(1000);
}
```

Die ersten Ergebnisse dieses Codes sind in Abb. 16 ersichtlich. Im Wesentlichen begrüßt der serielle Monitor den Benutzer mit "Hello World" und schreibt in die nächste Zeile *DEC* für Dezimalzahl und einen Tabulator entfernt *HEX* für die gleiche Zahl in Hexadezimaldarstellung.

Im *loop* Teil des Programms wird zunächst die Zahl normal übergeben, dann ein Tabulator eingefügt, damit die nächste Zahl unter *HEX* steht, und dann die gleiche Variable übergeben, allerdings mit dem Argument *HEX*, um es in Hexadezimaldarstellung umzuwandeln.

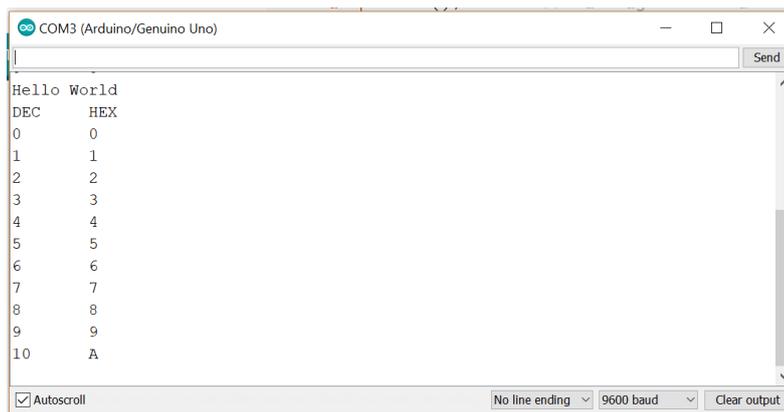


Abbildung 16: Ausgabe des Seriellen Monitors für das Testprogramm.

Durch das kontinuierliche Erhöhen der Variablen zählt das Programm von 0 bis zum Beenden jede Sekunde höher und stellt die Zahl in beiden Darstellungsformen dar.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass es weitere Befehle für den seriellen Port gibt wie `Serial.read()` oder `Serial.parse()`, diese aber nicht diese Arbeit relevant sind.

2.5 Didaktik

In diesem Abschnitt werden die Werkzeuge des Unterrichts vorgestellt. Insbesondere die zentrale Rolle des Experiments im Unterricht und dessen verschiedene Funktionen werden dargestellt. Danach wird ein Einblick in den momentanen Forschungsstand der Physikdidaktik zum Thema Strahlung - mit Schwerpunkt Mikrowellenstrahlung - gegeben. Es folgen Beschreibungen der *Key Ideas* und *Schülervorstellungen* mit Schwerpunkt zur elektromagnetischen Strahlung.

2.5.1 Ziele und Experimente des Physikunterrichts

Der Physikunterricht ist sehr vielseitig und will eine Vielzahl von Kompetenzen in einer Schülerin oder einem Schüler entwickeln. Nach Wiesner et al. (2011) kann man die Ziele des Physikunterrichts in sechs grobe Kategorien einteilen. In jeder davon ist die Rolle des Unterrichtsexperiments wichtig und wird im Folgenden dargestellt:

- **Vermittlung von Fachwissen:** Hauptsächlich geht es um das überzeugende Darstellen eines Phänomens. Das Konzept soll anschaulich dargestellt und physikalische Gesetze erprobt werden.
- **Begriffswechsel:** Hier appelliert man an vorhandene Schülervorstellungen und möchte einen kognitiven Konflikt erzeugen. Im Zuge des Begriffswechsels soll zusätzlich ein plausibles Argument für die neue Vorstellung erbracht werden.
- **Naturwissenschaftliches Arbeiten:** Verinnerlichung von Arbeitsweisen wie etwa dem kritischen Umgang mit Versuchsergebnissen und dem Erwerb experimenteller Fähigkeiten (Planung/Durchführung/Auswerten von Versuchen).

- **Kommunizieren über Physik:** Das Vergleichen von unterschiedlichen Experimenten führt zu neuen Erkenntnissen oder Schlussfolgerungen. Dieser Punkt beinhaltet allerdings auch das bewusst ordnungsgemäße und nachvollziehbare Dokumentieren von Versuchen.
- **Interesse anregen:** Alltagsbezüge sollen aufgezeigt sowie aktuelle Forschungen miteinbezogen werden. Schülerinnen und Schüler sollen zum Staunen gebracht werden und eigenständiges Interesse für die Naturwissenschaft entwickeln.
- **Lernen über die Natur der Naturwissenschaften:** Hier beziehen Experimente ihre Wirkung auf die Wissensentstehung in den Naturwissenschaften.

Im Unterricht selbst ist es wichtig, zuerst zu überlegen, welche Experimente sinnvoll und passend sind. Einerseits soll das Experiment dem verfolgten Ziel entsprechen (s.o.), andererseits muss das Geignetste gewählt werden, das die Lernenden am meisten unterstützt (Wiesner et al. 2011; S.106-108).

Oft ist auch ausschlaggebend, in welcher Unterrichtsphase man das Experiment verwenden möchte. Demonstrationsexperimente dienen häufig als *Einstieg* in ein Thema. Man kann damit das Interesse der Schülerinnen und Schüler wecken. Die wesentlichste Phase für Schülerexperimente ist allerdings die *Erarbeitungsphase*. In dieser sollen Schülerinnen und Schüler selbständig neue Sachverhalte kennenlernen. Aber auch beim Vergleichen der Ergebnisse kann ein Demonstrationsversuch hilfreich sein, um die Lernenden auf den richtigen Pfad zur Erkenntnis zu leiten. Bei *Anwendung, Wiederholung und Übung* können durch Experimente fachliche Zusammenhänge oder bereits demonstrierte Konzepte erprobt oder vertieft werden (Wiesner et al. 2011; S.110-111).

Rincke (2016) geht auf sechs verschiedene Funktionen von Experimenten ein, die in enger Verbindung zu obigen Zielen des Physikunterrichts stehen:

1. Hypothesen testen,
2. Hypothesen generieren,
3. den Umgang mit Material schulen,
4. Phänomene oder Begriffe kontrastieren,
5. Zusammenhänge zu Anwendungen herstellen,
6. durch Analogien Vorstellungen veranschaulichen.

Er betont dabei allerdings, dass er hiermit jene Funktionen bevorzugt, die einen kognitiven Effekt verursachen sollen. Funktionen, die das Interesse oder die Motivation fördern, bleiben dabei unberücksichtigt. Experimente sind für ihn eine notwendige Bedingung guten Physikunterrichts (Rincke 2016; S.1-2).

Gleichzeitig wird von Hopf (2007) festgehalten, dass die Forderung nach mehr Experimenten, die von Schülern durchgeführt werden, keinen nachweislichen Mehrwert bringt. Die verschiedensten Versuche, Offenheit, Authentizität und Ähnliches in Schülerexperimente einzubeziehen, führten in den umfangreichen Studien zu keinem verbesserten Lernen oder positiveren Einstellungen der Schülerinnen und Schüler zur Physik (Hopf 2007; S.234).

Im Besonderen sind für diese Arbeit die Punkte 1, 2 und 5 (s.o.) interessant, da mit Hilfe des entwickelten Geräts Hypothesen generiert und getestet werden können. Zusammenhänge zu Anwendungen herzustellen ist in dem Sinne möglich, dass man über den Strahlengang von alltäglichen Geräten, wie Routern oder Handys, nachdenken kann bzw. im besten Fall diesen sogar nachstellen kann.

Experimente, die *Hypothesen testen*, sind am erfolgreichsten, wenn das Ergebnis nicht den Erwartungen entspricht, also wenn das Ergebnis unsere Modellvorstellung widerlegt. Im Unterricht wird diese Art des Experimentierens jedoch meist so verwendet, dass die zuvor gelernte Theorie bestätigt wird. Allerdings muss man bedenken, dass die Theorie in dem Fall *nicht* bestätigt, sondern nur *nicht widerlegt* wird. Das gilt als deutlich schwächer, als etwas zu widerlegen. Natürlich kann man durch viele Experimente versuchen, eine Theorie als bewährt gelten zu lassen, allerdings ist das nie eine Bestätigung im Sinne eines Beweises (Rincke 2016; S.3).

Im Hypothesentest werden vielfältige Anforderungen an die Schülerin und den Schüler gestellt. Es verlangt u.a. besonders eine Kombination aus Leseverständnis, Aufrufen von Vorwissen oder Kompetenzen im Bereich der Planung und Durchführung von Experimenten. In Abhängigkeit des Themas braucht es Geschicklichkeit und Genauigkeit im Bedienen von Geräten und Beobachten der Ergebnisse. Genau aus diesen Gründen gilt der Hypothesentest als König aller Experimentfunktionen. Zunächst steht diese Funktion der Experimente in zentraler Rolle der Naturwissenschaft, gibt allerdings stets nur dann Gewissheit, wenn ein erwartungswidriges Ergebnis vorliegt. Vermeintliche Bestätigungen durch Hypothesentests werden oft in ihrer Aussagekraft überbewertet (Rincke 2016; S.2-3).

Hypothesen generierende Experimente stehen zu Beginn. Sie stellen ein Szenario dar, in dem keine Kausalitäten begründet werden, sondern lediglich in ihrer Beziehung beschrieben werden. Meist sollen Ergebnisse eines Hypothesen generierenden Experiments als *jesto-* Sätze formuliert werden. Üblicherweise fordert man von solchen Hypothesen außerdem, dass sie empirisch testbar, falsifizierbar und gleichzeitig allgemein gültig sind. In Schule und Hochschule werden Hypothesen generierende Experimente allerdings nicht in solchem wissenschaftlichen Sinn verwendet, sondern mehr als Anregung oder Einführung in ein Thema. Oft wird den Lernenden ein kurzes Ausprobieren gewährt, ohne ihnen genug Zeit zu lassen, vollständige *”wenn- , dann- ”* Sätze zu bilden (Rincke 2016; S.4).

Experimente, die einen Zusammenhang zu Anwendungen darstellen, sollen das ideale Modell, das im Unterricht erarbeitet wurde, in verhüllter Form in der Natur darstellen. Dabei soll es nicht darum gehen, die Physik in Natur und Alltag zu erlernen, denn die Physik wird anhand der Idealfälle erlernt. Die einzige für den Menschen beobachtbare Größe ist der Ort eines Objekts. Selbst Masse kann man nicht sehen, geschweige denn die meisten anderen physikalischen Einheiten, mit denen gearbeitet wird. In diesem Sinne ist es aus Sicht von Rincke (2016) nicht zielführend, die Physik in der Natur zu erlernen, sondern viel besser, die erlernten Konzepte zu entdecken suchen.

Wie man sieht, ergibt sich eine Vielzahl an Möglichkeiten, in welchem Sinn Versuche im Unterricht durchgeführt werden können. Es ist klar, dass Experimente eine zentrale Rolle im Unterricht spielen, und man sollte sich bewusst machen, welches Ziel man mit dem Experiment erreichen will. Ob nun Schülerinnen und Schüler selbständig experimentieren, mit Anleitung oder ohne, oder ob es gar ein Demonstrationsexperiment ist, scheint dabei

lediglich durch die Absicht der Lehrenden entschieden zu werden. Gleichzeitig sollte einem bewusst bleiben, dass Schülerexperimenten bisher kein nachweisbarer Mehrwert obliegt und manche Studie sogar das Gegenteil andeutet.

2.5.2 Elementarisierung - Key Ideas

Das Vermitteln komplexer Sachverhalte erfordert eine Vereinfachung. Die Inhalte sollen so angepasst und auf das Wesentliche konzentriert werden, dass sie für Schüler und Schülerinnen verarbeitbar sind. Im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion verwendet man *didaktische Reduktion* (Vereinfachung), *inhaltliche Elementarisierung* (Bestimmen einer Kernaussage), *begriffliche Elementarisierung* (Sinneinheiten und Verständniseinheiten aufzeigen) und *methodische Elementarisierung* (Zerlegung in Methoden-Elemente) (Wiesner et al. 2011; S.72-73).

Im Zuge der Elementarisierung spricht man von *Key Ideas*. Auf diesen grundlegenden Ideen soll der Unterricht aufgebaut werden. Bei der Unterrichtsplanung greift man dann ein bis zwei Key Ideas heraus, die in einer Einheit oder Sequenz vermittelt werden sollen. Nach Zloklikovits (2018) bieten sich drei Key Ideas für das Einführen des Themas *Strahlung* an:

- Strahlung ist ganz anders als Materie. Man kann sie nicht anfassen, sie hat keine Masse, sie breitet sich sehr schnell aus - nichts ist schneller als Strahlung!
- Strahlung breitet sich aus, bis sie auf Materie trifft. Ein Teil der Strahlung wird durchgestrahlt, ein Teil zurückgestrahlt, ein Teil absorbiert. Wie viel durchgelassen, zurückgestrahlt oder absorbiert wird, hängt von der Strahlungssorte und der Materie ab.
- Quellen elektromagnetischer Strahlung senden Energie aus, die von der Strahlung transportiert wird. Wird Strahlung von Materie absorbiert, so wird Energie an die Materie übertragen.

2.5.3 Schülervorstellungen

Beim Erstellen einer Unterrichtseinheit für eine Physikstunde steht üblicherweise die Schülervorstellungen im Mittelpunkt.

Unter Schülervorstellungen versteht man die Vorstellungen bzw. Denkweisen einer zu unterrichtenden Person über physikalische Begriffe oder Phänomene. Diese Konzepte sind für diese Person aus Alltagserfahrungen gebildet und mehrfach bestätigt und besitzen eine innere Logik, obwohl sie zeitgleich bewiesenen physikalischen Konzepten widersprechen können. Solche Schülervorstellungen sind für die Lernende oder den Lernenden sehr stabil und müssen in der Unterrichtsplanung besonders berücksichtigt werden (Wiesner et al. 2011; S.34).

Für besseres Verständnis sei hier die Schülervorstellung "Wärmende Stoffe" angeführt:

Wolle, Daunenfedern u.Ä. werden nicht nur als höher temperiert angesehen als Metallgegenstände, sondern auch als aktiv erwärmend: Ein in Wolle gewickelter Eiswürfel schmilzt nach Schülermeinung schneller als ein in Metallfolie eingewickelter Eiswürfel. Legt man sich demnach in einem kalten Zimmer unter eine Daunendecke, wird man von dieser aktiv gewärmt (Wiesner et al. 2011; S.45).

Verhindert eine Schülervorstellung das Lernen, so spricht man von *Lernschwierigkeiten*. Lernschwierigkeiten werden nach Wiesner et al. (2011) grob in drei Kategorien eingeteilt: Sach-, Lehr- und innerbedingte Lernschwierigkeiten. *Sachschwierigkeiten* beziehen sich auf komplexe oder abstrakte Thematiken. Der Feldbegriff oder Kraftbegriff sind in sich komplexe Konzepte und treffen daher von Natur aus auf Lernschwierigkeiten. Als *Lehrschwierigkeit* bezeichnet man hingegen didaktisch mangelhafte Überlegungen der Lehrperson beim Vermitteln von Inhalten. Eine Batterie als "Stromquelle" zu bezeichnen, vermittelt das Bild, dass Batterien Strom speichern, und fördert gleichzeitig die Vorstellung des Stromverbrauchs. *Innerbedingte Lernschwierigkeiten* beziehen sich auf in Schülerinnen und Schülern vorhandene Denkkonzepte, ähnlich der oben angeführten Schülervorstellung. Anhand dieser vorhandenen Vorstellungen und Konzepte werden neue Inhalte von Schülerinnen und Schülern beurteilt und verarbeitet. Dabei können von der oder dem Lernenden Inhalte verworfen oder anders eingeordnet werden, als dies von der Lehrperson beabsichtigt ist (Wiesner et al. 2011; S.36-38).

Schülervorstellungen zu elektromagnetischer Strahlung:

Zum Thema der elektromagnetischen Strahlung (in weiterer Folge nur noch als Strahlung bezeichnet) findet sich in wissenschaftlicher Forschung wenig, obwohl die moderne Technik immer mehr darauf aufbaut. Allgemeine Schülervorstellung zum Thema Strahlung umfassen nach Neumann und Hopf (2012; S.829):

- **Strahlung ist nicht natürlich:** Strahlung wird als künstlich wahrgenommen. Es existiert die Vorstellung, dass Strahlung mit der Entfernung zu Städten geringer wird, bzw. es früher keine/weniger Strahlung gab.
- **Licht ist etwas anderes als Strahlung:** Das Licht der Sonne wird nicht als Strahlung gesehen. Zusätzlich herrscht die Vorstellung, dass Licht durch Linsen sichtbar gemacht werden muss.
- **Elektrische Geräte emittieren schädliche Strahlung:** Hauptsächlich vertreten wird die Vorstellung, man soll Handys nicht in der Hosentasche zu tragen. Manchmal wird diese Vorstellung auf alle elektrischen Geräte erweitert.
- **Strahlung ist verantwortlich für Umweltschäden:** Schülerinnen und Schüler argumentieren mit Klimaerwärmung oder Ozonlöchern, die durch Strahlung hervorgerufen werden sollen.
- **Strahlung und strahlende Partikel sind ident:** Es wird erklärt, dass man sich bei einem atomaren Unfall zusammenkauern soll, um der Strahlung möglichst wenig "Klebefläche" zu bieten.

- **Lebewesen emittieren Strahlung, die uns hilft, Gefühle zu erkennen:**

Schülerinnen und Schüler erklären, dass es eine von Lebewesen abgestrahlte "Aura" gibt, welche durch Strahlung vom Menschen wahrgenommen werden kann.

Weiters gibt es eine Sammlung an Schülervorstellungen zu den Bereichen der radioaktiven und UV-Strahlung. Die fachdidaktischen Forschungen zu den Themen Röntgenstrahlung und Infrarotstrahlung beinhalten nur sehr begrenzte Forschungsergebnisse, meist nur im Zusammenhang mit anderen Strahlungsarten. In der Studie von Neumann und Hopf (2012) tendierten deutlich mehr Schülerinnen und Schüler dazu, Mobilfunkstrahlung (> 60%) als gefährlich einzustufen als Röntgenstrahlung (\approx 40%). Radioaktive Strahlung wurde von fast allen als gefährlich eingestuft, allerdings stuften auch etwa 40% der Schülerinnen und Schülern der Studie Mikrowellen als gefährlich ein. Leider ermöglicht die Art der Fragestellung in der Studie nicht, eine Rangliste der Gefährlichkeit zu machen. Interessant ist allerdings, dass etwa 75% der Befragten Mobilfunk entweder als *gefährlich* oder *ab einer gewissen Dosis gefährlich* einstufen. Schülerinnen und Schüler sind zur Handystrahlung demnach relativ kritisch eingestellt, während 35% der Befragten Röntgenstrahlung als harmlos und weniger als 40% als gefährlich einstufen¹⁸.

Von Zloklikovits (2018) besonders hervorgehobene (und vertiefte) Schülervorstellungen sind:

- Fehlende Differenzierung zwischen Strahlungsarten sowie ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung. Licht ist keine Strahlung.
- Strahlung ist unnatürlich und gefährlich. Elektrogeräte emittieren schädliche Strahlung.
- UV-Strahlung ist blaues Licht.
- Infrarotstrahlung ist nur als Begriff bekannt.

Schülervorstellungen zu Mikrowellen

Zum Thema Mikrowellen fand sich bis 2016 keine einzige Studie. Das erste Mal befasste sich Plotz (2016) mit den Schülervorstellungen zu Mikrowellen und Mobilfunkstrahlung. Trotz umfassender Interviews wurden keine spezifischen Vorstellungen zu Mobilfunk aufgedeckt. Jedoch konnte Plotz (2017a; S.70-75) zur elektromagnetischen Strahlung nur zwei neue Schülervorstellungen entdecken:

- **Künstlich oder natürlich:** Schülerinnen und Schüler vertreten sowohl die Ansicht, dass Strahlung natürlichen oder künstlichen Ursprungs sein kann.

Oft behaupten sie zu Beginn eines Interviews, dass Strahlung einer der beiden Kategorien zuzuordnen ist (bspw. natürlich - Sonnenstrahlen), können aber im Verlauf des Gesprächs auch zu der anderen Ansicht geführt werden (künstlich - Handystrahlung). Eine klare Definition von natürlich und künstlich ist hier wichtig, um die Lernschwierigkeit zu beheben.

¹⁸Eine detailliertere Zusammenfassung der Studie findet sich in Plotz (2017a).

- **Die Gefährlichkeit von Strahlung:** Schüler und Schülerinnen gehen von einer "Die Dosis macht das Gift"-Theorie aus.

Dieses sogenannte *Threshold* Modell besagt, dass man bis zu einer gewissen Dosis keiner Gefahr ausgesetzt ist und, sobald man den "Threshold" überschreitet, einen gewissen Schaden erleidet.

Gleichzeitig gibt es allerdings auch Probleme, die Wissenschaft als urteilende Instanz heranzuziehen, da speziell im Bereich der Mikrowellenstrahlung kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Strahlung und Tumoren feststellbar ist. Zusätzlich stellt sich die Frage, was Schülerinnen und Schüler als wissenschaftlichen Beweis anerkennen.

Fazit

In der Thematik des Strahlungsunterrichts herrschen noch einige falsche Schülervorstellungen. Besonders was die Mikrowellenstrahlung betrifft, ist es bedauerlich, dass die Schülerinnen und Schüler wenig über diese Frequenz der elektromagnetischen Strahlung wissen, da sie tagtäglich von ihr umgeben sind und sie nutzen. Gleichzeitig sollen die Jugendlichen selbständig beurteilen können, welche Strahlungen als gefährlich gelten und warum dies so ist.

Optimalerweise können Schülerinnen und Schüler experimentell das Verhalten der Strahlung beobachten. Die Physikdidaktik spricht fortwährend von der Wichtigkeit und den verschiedenen Rollen, die Experimente einnehmen können, um falsche Schülervorstellungen zu widerlegen und Key Ideas zu festigen.

Dazu ist allerdings entsprechendes Experimentiermaterial nötig, welches gerade im Nachweis von elektromagnetischen Strahlungen oft sehr kostspielig wird. Diese Arbeit beschäftigt sich demnach mit möglichen Alternativen zu Geräten industriellen Standards. Dabei könnte eine App, oder ein vereinfachter Eigenbau eines solchen Nachweisgeräts erfolgversprechend sein.

3 Network Cell Info App



Abbildung 17: Logo - Wylisis Network Cell Info App

Die erste Herangehensweise an die Problemstellung ist eine sehr elementare, weil beinahe jeder heutzutage ein Smartphone besitzt, welches ohnehin bereits in der Lage sein muss, auf Mobilfunk-Ebene zu senden und zu empfangen. Die Überlegung liegt daher nahe, dass es bereits Apps gibt, die sich mit ähnlichen Themen beschäftigen. Und es gibt tatsächlich einige solche, diese Arbeit wird sich aber lediglich mit der App "Network Cell Info App" beschäftigen.

Die App ist zum Zeitpunkt, zu dem die Arbeit geschrieben wird, nur auf Android erhältlich; es wird jedoch vermutet, dass es Äquivalentes auch für iOS gibt. Es sei außerdem angemerkt, dass in dieser Arbeit nur mit der *lite* Version gearbeitet wird, welche kostenlos erhältlich ist, aber deswegen Werbung enthält (in den Screenshots weggeschnitten) Wilysis (2015).

3.1 Aufbau

Die Bedienung der App ist intuitiv und sehr ähnlich vieler anderer Apps. Die verschiedenen Bereiche der App sind über "Registerkarten" oder "Reiter" am oberen Bildschirmteil erreichbar. Es folgt eine kurze Beschreibung der Registerkarten und ihrer Funktionen sowie einiger Verwendungsmöglichkeiten.

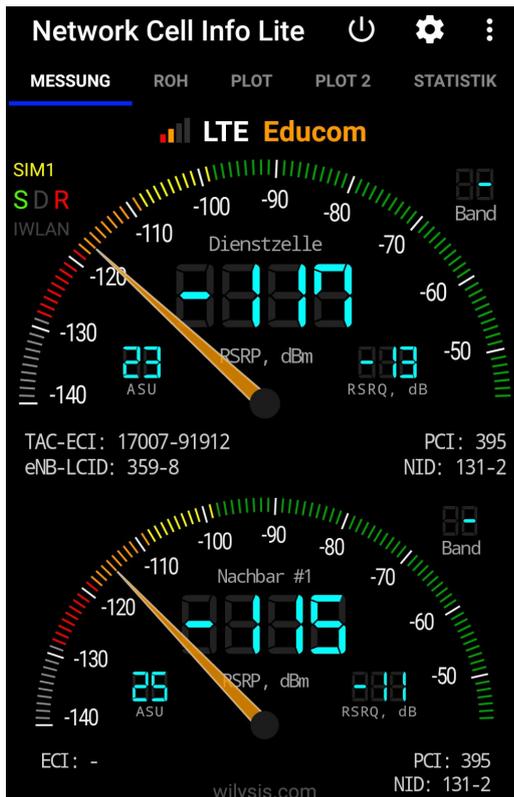
3.1.1 Registerkarte "Messung"

Man startet bereits in der *GAUGE* ("Anzeige/Messung"¹⁹) - Registerkarte, welche mehrere Anzeigen enthält, die an Tachometer in Autos erinnern (vgl. Abb. 18a). Die Abbildungen geben einen kurzen Überblick über den Empfang zum aktuellen Hauptsendemasten (ganz oben), sowie - je nach Version und Verfügbarkeit - der Verbindungsstärke zu benachbarten Sendemasten und verbundenem WLAN-Router-Netzwerk. Es sind auch einige andere Dinge ablesbar, wie Informationen über die verbundene Zelle bis hin zu RSRQ- und RSSNR Werten (WiLysis 2017; S.2-3).

RSRP (*Reference Signal Received Power*) gibt hierbei die Stärke des Signals in dB an. Sie liegt üblicherweise zwischen -140dBm und -44dBm und steht in direkter Relation zu der Signalstärke einer Mobilfunkzelle (Afroz et al. 2015; S.115). Auf der Skala sind die Bereiche mit Farben markiert und zeigen folgende Bedeutungen an: rot=schlecht, orange=grenzwertig, gelb=ok, grün=gut.

RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) beschreibt die Qualität des Signals und reicht von -19,5dB bis -4dB. Wie RSRP-Werte werden RSRQ-Werte ebenfalls benutzt, um eine

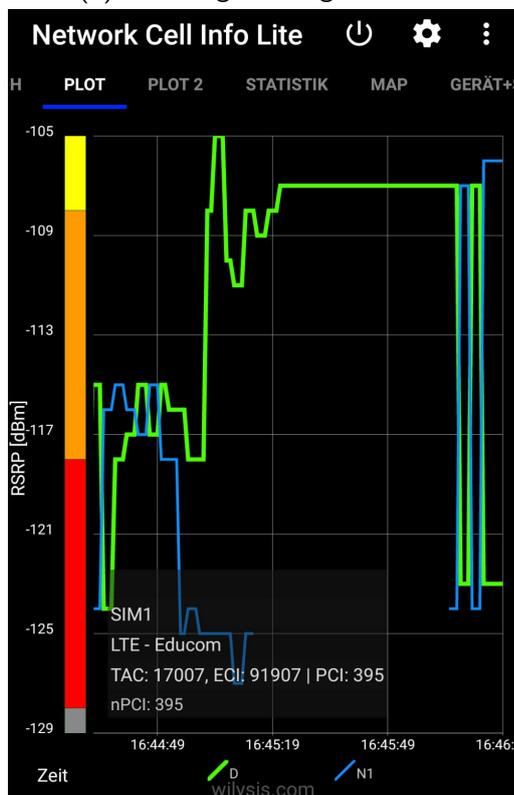
¹⁹Anmerkung: Sämtliche Übersetzungen stammen vom Autor dieser Arbeit, da die App völlig in Englisch gehalten ist.



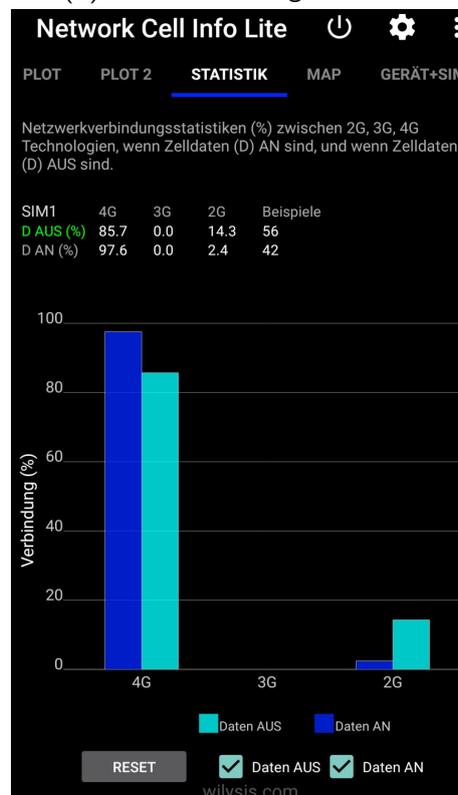
(a) Messungen - Registerkarte



(b) Rohdaten - Registerkarte



(c) Plot - Registerkarte



(d) Stats - Registerkarte

Abbildung 18: Screenshots aus Network Cell Info Lite - App. (eigene Abbildung)

Rangliste benachbarter Zellen zu erstellen und zu beurteilen, mit welcher Zelle das Handy hauptsächlich kommunizieren soll. RSRQ ist definiert über die Anzahl an *Resource Blocks* des **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*) des LTE Trägers (Afroz et al. 2015; S.115):

$$RSRQ = (N \cdot RSRP) / (LTE_{carrier} RSSI)$$

Für diese Arbeit genügt es zu wissen, dass RSRP und RSRQ Messwerte sind, die anzeigen, wie gut die Empfangsstärke des Handys ist.

Unter Wlan sieht man RSSI-Werte (*Received Signal Strength Indication*), welche die Stärke des empfangenen Signals angeben, sowie den verwendeten Channel (inklusive Frequenzband) (WiLysis 2017; S.2).

3.1.2 Registerkarte "Roh"

Im nächsten Register (*RAW* - "Rohdaten") wird der Nutzer mit einer Fülle von Daten versorgt (vgl. Abb. 18b). Es enthält detailliertere Informationen über Land, Zelle, Verbindungsart und dergleichen, falls das Android-Gerät diese Daten zur Verfügung stellt²⁰. Man erhält also nicht nur die Daten über den Funkmasten, mit dem das Handy hauptsächlich kommuniziert, sondern auch über die rundherum liegenden Sendemasten, die in Bereitschaft sind, für den Fall, dass sich das Handy in ihren Hauptsendebereich bewegt (WiLysis 2017; S.4).

Die relevanten Daten sind in diesem Fall wieder RSRP und RSRQ (s.o.). Hinzu kommt der Punkt *Power*. An dieser Stelle berechnet das System aus dem eingehenden Signal die Feldstärke, welche an der Antenne auftritt.

Achtung: der *Power*-Wert gibt nicht die gesamte Feldstärke an, da der Wert aus der Qualität des eingehenden Signals berechnet wird. Er spiegelt nur einen Referenzwert für das von *diesem Sendemasten* abgegebene Signal wider und keine Gesamtstrahlenbelastung.

3.1.3 Registerkarte "Plot"

Die nächsten beiden Registerkarten *PLOT* und *PLOT2* ("Graph/Diagramm") veranschaulichen die Verbindungsstärke und -qualität über den gemessenen Zeitraum (vgl. Abb. 18b). Jeder Graph steht für einen Funkmasten, D bezeichnet den Hauptsendemasten (WiLysis 2017; S.5).

²⁰Geräteabhängig

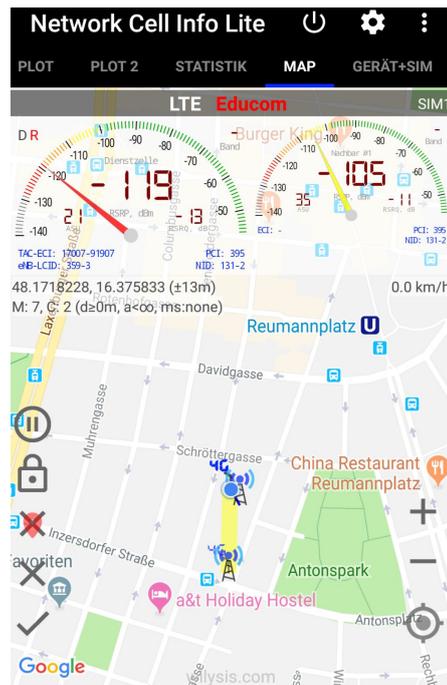


Abbildung 19: Screenshot aus Network Cell Info Lite - App. Map-Tab. (Screenshot aus Wilysis (2015))

3.1.4 Registerkarte "Stats"

In der fünften Registerkarte *STATS* ("Statistik") wird in einem Balkendiagramm die Informationsübertragung in 2G, 3G, 4G Netzwerke eingeteilt (vgl. Abb. 18d). Nur weil ein Gerät über eine 4G Verbindungsmöglichkeit verfügt, bedeutet dies nicht, dass auch der gesamte Funkverkehr über dieses Band erfolgt. Im Diagramm wird die Verbindung über die verschiedenen Netzwerke prozentuell dargestellt, aufgeteilt in Mobile-Daten "an" und "aus" je in einer Balkenfarbe (Wilysis 2015; S.5-6).

3.1.5 Registerkarte "Map"

Anmerkung: Für diese Funktion muss man der App Zugriff auf den Standort gewähren! Die letzte zu erwähnende Registerkarte *MAP* ("Karte") zeichnet die Position des Geräts - sofern von Nutzer oder Nutzerin erlaubt - auf und stellt sie auf einer Karte zusammen mit dem Standort der verbundenen Zelle und der Verbindungsqualität dar (vgl. Abb. 19). Es sind wieder Verbindungsanzeigen über den verbundenen Hauptdienst (links) und die benachbarte Zelle (rechts) zu sehen. Auf der Karte sieht man einen blauen Punkt, der das Handy darstellt, und einen gezeichneten Funkmasten. Standardmäßig wird alle fünf Sekunden eine Messung durchgeführt und der Standort auf der Karte mit der Farbe entsprechend der jeweiligen Empfangsqualität (von rot bis grün) markiert (WiLysis 2017; S.8-9).

Achtung: Der Funkmast muss nicht tatsächlich am eingezeichneten Ort stehen! Die App bedient sich nämlich einer Datenbank von Dritten, die nicht aktuell sein muss. Außerdem kann es sich um Micro-Zellen handeln, die nicht ersichtlich sind (Wilysis 2015).

3.1.6 Weitere Registerkarten

Die App enthält weitere Reiter, die entweder selbsterklärend sind, oder für diese Arbeit keine Rolle spielen, wie "Plot2" oder "gerät+Sim". Informationen über diese oder weitere Einstellungsmöglichkeiten befinden sich in der Gebrauchsanweisung (WiLysis 2017; S.6-7,9-12).

3.2 Verwendungszweck

Man mag der App unterstellen, dass sie nicht auf das Ziel dieser Arbeit abzielt, sie bleibt jedoch erwähnenswert, da es die kostengünstigste Lösung ist, da die Grundversion der Software kostenfrei und die Vollversion ab etwa 2,30€ erhältlich ist (Play 2018). Eine Gegenüberstellung, welche Vorteile die Vollversion gegenüber der Grundversion aufweisen kann, sowie Demo-Videos finden sich auf der Homepage von Wilysis (2015).

Mittels der App kann man zwar nicht die Gesamtfeldstärke ablesen, die an einem Ort herrscht, allerdings kann man bezüglich eines Sendemastes sehr wohl die relativen Veränderungen der - von diesem Masten ausgesendeten - Feldstärke beobachten. Das allein reicht bereits, um einige Effekte zu zeigen: angefangen von der Richtwirkung von Telefonen bis hin zur Reflexion der Strahlung an Alufolie.

Außerdem bieten die vielfältigen Aspekte der Applikation Ansätze für besondere Interessensgebiete. Etwa kann man die Kommunikation zwischen Handy und Sendemast genauer beobachten oder die Übergabe des "handshake" von einer Zelle an die andere miterleben (die Kenndaten einer Zelle werden in der App angezeigt).

3.3 Versuchsvorschläge

Bei diesen Versuchen muss man stets den Bildschirm des Handys im Blick behalten können, daher experimentiert man entweder, indem die Strahlungsquelle verändert wird (was gut mit einem Wlan-Router funktioniert, aber nicht mit Sendemasten) oder macht den Bildschirm des Handys auf andere Weise sichtbar. Dies wäre mit einer Kamera denkbar, die an einen Beamer angeschlossen ist, oder mit einer App, die den Bildschirm des Smartphones auf einen Computer spiegelt.

In Fall dieser Arbeit wurde meist mit der App *ScreenStream*²¹ experimentiert, die eine Internetadresse erstellt, auf die der Bildschirm übertragen wird (vgl. Abb. 20). Die Ansicht kann optimiert werden, indem man den Browser auf Fullscreen stellt und alle Leisten ausblendet.

Es sei allerdings erwähnt, dass die Bildübertragung auf diese Weise nicht flüssig ist. Man muss mit 0,5 - 1 Sekunde Latenzzeit rechnen und die Wiedergabe von Videos wird nicht empfohlen.

Versuch 1: Absorption

²¹Google App Store: "Screen Stream over HTTP" (<https://play.google.com/store/apps/details?id=info.dvkr.screenstream&hl=de>)

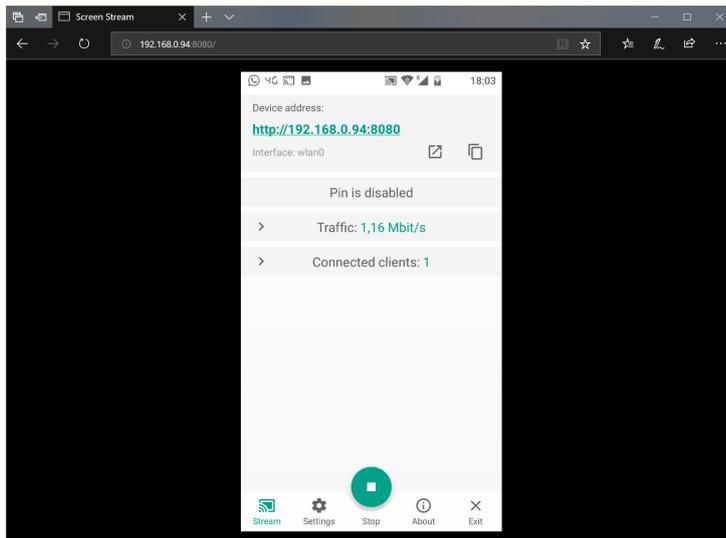


Abbildung 20: Screenshot eines Browserfensters in dem die IP-Adresse der Screen-Stream - App eingegeben wurde (hier: <http://192.168.0.94:8080>). *Anmerkung:* Die IP Adresse kann sich bei jedem Start ändern. (Eigenaufnahme)

Ziel des Versuchs: Stoffe aufgrund ihrer Absorption von Handystrahlung charakterisieren.

Zusatzmaterialien: Kartonschachtel, Glasschüssel (mit Deckel), Metalltopf (mit Deckel). Optional: Wasserdichte Verpackung für Smartphone, Mikrowelle, Alufolie, etc. Es geht darum, das Smartphone in möglichst vielen Umfeldern zu testen und zu sehen, ob sich die Empfangsqualität signifikant verschlechtert.

Versuchsdurchführung: Zunächst wählt man eine Frequenz, die man untersuchen möchte. In diesem Fall 2,4GHz WLAN. Um alle anderen Daten auszuschließen, kann man das Handy in den Flugmodus versetzen und dann WLAN aktivieren, worauf die Network Cell Info App nur den WLAN Empfang anzeigt (vgl. Abb. 21). Dann kann man das Handy in den verschiedenen Materialien einschließen und beobachten, was dabei passiert. Bei undurchsichtigen Materialien sollte man eine Möglichkeit suchen, den Bildschirm trotzdem sichtbar zu machen. Die ScreenStream App bewährt sich bei allen nicht vollständig absorbierenden Materialien.

Versucht man sich an der Mikrowelle (nicht einschalten!), so verliert der Stream seine Verbindung. Doch verfügen Mikrowellen über eine Tür, durch die man etwas sieht, sodass man das Handy einfach an die hintere Wand anlehnen und die Bildschirmhelligkeit auf Maximum drehen kann.

Anmerkung: Gibt es auch ein 5GHz WLAN, sollte man darauf achten, dass sich das Handy unter Umständen bei Verbindungsverlust zum 2,4GHz WLAN mit dem 5GHz WLAN verbindet. Besonders bei der Mikrowelle, deren Tür speziell auf 2,4GHz geeicht ist, kann 5GHz Strahlung passieren²².

²²Diesen Effekt kann man auch produktiv nutzen, wenn man auf unterschiedliche Wellenlängen eingehen möchte.

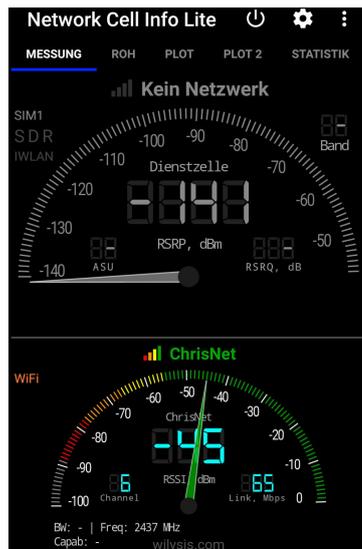


Abbildung 21: Network Cell Info App im Flugmodus, mit aktiviertem WLAN. (Eigenaufnahme)

Ergebnisse: Bei Glasschüssel und Kartonschachtel sollten keine großen Veränderungen auftreten (Schwankungen bis zu 5dBm). Im Kochtopf sollte ein starker Abfall der Empfangsleistung auftreten, je nachdem wie gut der Deckel mit dem Topf "abdichtet". Sollte man einen älteren Topf haben oder einen deformierten Deckel, kann es helfen sich oben auf den Deckel zu stützen.

Versuch 2: Reichweite

Ziel des Versuchs: Die Empfangsleistung (und damit die ausgesetzte Strahlungsleistung) nimmt mit der Entfernung ab.

Zusatzmaterialien: Keine. Smartphone und Strahlungsquelle.

Versuchsdurchführung: Die erste Messung führt man so dicht wie möglich an der Strahlungsquelle durch. Deswegen empfiehlt es sich auch, eher mit WLAN Routern zu proben, da man sehr nahe an die Strahlungsquelle gelangen kann, was bei Sendemasten eher unrealistisch ist und die Entfernungen zu groß werden.

Anmerkung: Beim eigenen Experimentieren konnten bei drei Durchgängen keine besonderen Verhältnisse erkannt werden. Es liegt die Vermutung nahe, dass in Gebäuden die Reflexion an der Umgebung eine gravierende Unschärfe in die Empfangsstärke bringt. Qualitativ konnte man feststellen, dass mit zunehmender Entfernung die Empfangsstärke abnimmt, jedoch ist es nicht möglich, einen exponentiellen Abfall zu erkennen. Hinzu kommt, dass Schülerinnen und Schüler Probleme bei der Verhältnisbestimmung aufgrund der logarithmischen Skala haben könnten. Ein Test in freiem, reflexionsarmen Gelände erweist sich ebenfalls als schwierig, da ein WLAN Router eine Stromversorgung benötigt.

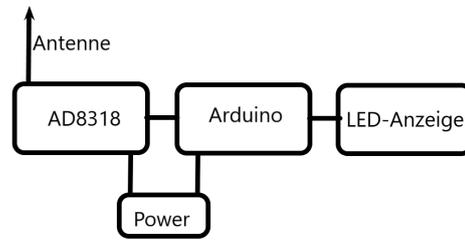


Abbildung 22: Blockdiagramm für den Grundaufbau

4 Qualitatives Nachweisgerät

Das qualitative Nachweisgerät soll insbesondere auf Frequenzen zwischen etwa 900MHz bis 2,5 GHz Feldstärken nachweisen können. Das Herzstück des Geräts ist der Baustein AD8313, bzw. AD8318. Beides sind logarithmische Detektoren von **Analog Devices** und enthalten bereits alle wesentlichen Bauteile für das Umwandeln eingehender Signale in eine messbare Gleichspannung. An den Eingängen legt man ein hochfrequentes Signal an und erhält am Ausgang einen analogen Spannungswert, der auf einer logarithmischen Skala in dB umgewandelt werden kann. Der grundlegende Unterschied zwischen den beiden integrierten Schaltkreisen (*Integrated Circuit*, IC) ist, dass AD8313 für Frequenzen von 100MHz bis 2,5GHz (Devices 1998; S.1) und AD8318 für 1MHz bis 8GHz (Devices 2004; S.1) gebaut sind.

Prinzipiell könnte man nun denken, dass eine größere Bandbreite besser ist und außerdem mehr Anwendungsmöglichkeiten beinhaltet. Betrachtet man die Datenblätter genauer, sieht man allerdings, dass bei größerer Bandbreite auch die Empfindlichkeit von 65dB auf 55dB sinkt (Devices 1998; 2004; S.1). Das liegt daran, dass bei größeren Bandbreiten Verstärker gewählt werden müssen, die rauschanfälliger sind.

Es gibt dennoch zwei gute Gründe, warum man den AD8318 bevorzugen sollte:

1. Nach Belieben kann man beim AD8318 das Gerät mit wenig zusätzlichem Aufwand für das 5GHz WLAN-Band nachkonfigurieren.
2. Der AD8318 ist preislich kaum vom AD8313 zu unterscheiden und von vielen Herstellern als fertiges *evaluation board*²³ erhältlich. Der Vorteil hierbei ist, dass diese Platine dank ihrer Vielseitigkeit leichter erhältlich ist (z.B. Amazon) (Amazon 2018).²⁴.

4.1 Grundlegender Aufbau

Das Ziel ist, ein gewisses Frequenzspektrum auswerten zu können. Um jedoch elektromagnetische Wellen zu detektieren, braucht man zunächst eine Antenne. Der erste Schritt ist also, eine Antenne zu bauen, die die entsprechenden Wellen absorbieren kann.

²³Evaluation Boards sind vom Hersteller empfohlene Schaltpläne, durch die man üblicherweise eine Impedanz von 50Ω an Eingang und Ausgang erzielt. Das Ganze ist dann meist auf einem fertigen Board verlötet, siehe Abb. 30 Seite 64.

²⁴Wer sich mit etwas Risiko und längerer Versandzeit zufrieden gibt, kann es auch einfach über ebay bestellen, oftmals sogar günstiger (eBay 2018)

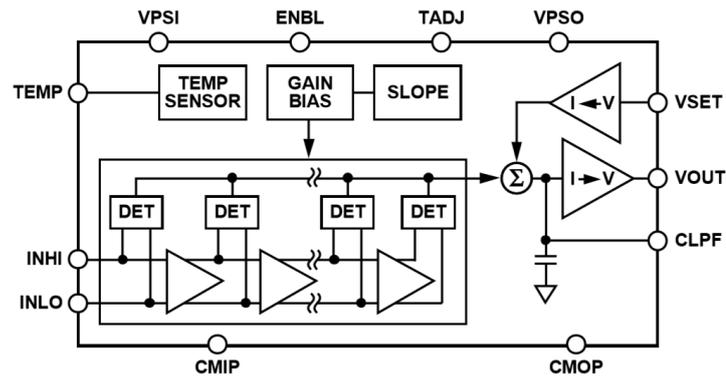
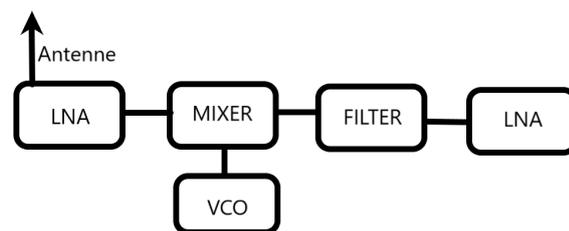


Abbildung 23: Funktionsdiagramm des AD8318. Devices (2006)

Abbildung 24: Blockdiagramm für den Eigenbau einer Schaltung statt des AD8318.
(Selbst erstellt)

Die Spannungswerte der Antenne müssen dann so schnell wie möglich verarbeitet werden, da zu lange Schaltkreise die Gefahr der Eigenabstrahlung beinhalten²⁵. Da hier die Rede von Millimetern ist, ist ein Eigenbau eines entsprechenden Detektors sehr aufwändig und, nachdem es entsprechend günstige Alternativen mit dem AD8318 gibt, ist es empfehlenswert, eine fertige Platine zu verwenden. Der AD8318 beinhaltet bereits logarithmische Detektoren, die stufenweise verstärkt dann über einen Summierer einen Spannungswert ausgeben, der angibt, wie stark die Antennenleistung ist (vgl. Abb. 23).

Möchte man stattdessen einen Eigenbau kreieren, so wäre der Aufbau wie folgt: Zunächst muss das kleine Eingangssignal der Antenne verstärkt werden. Dafür verwendet man einen LNA, da ein normaler Verstärker zu viel Rauschen erzeugt. Das verstärkte Signal wird dann zusammen mit einer beliebigen, aber festen Frequenz in einem Mixer gemischt. Die beliebige lokale Frequenz (LO) wird üblicherweise durch einen VCO (*voltage controlled oscillator*) generiert. Der Mischer erzeugt sowohl die Summe, als auch die Differenz der beiden Frequenzen. Die Summe will man meist rausfiltern und/oder nur die Differenzfrequenz mit einem weiteren LNA verstärken, da man mit hohen Frequenzen sehr schwer arbeiten kann²⁶. Hat man schließlich die Differenz erhalten, kann man mit dieser - nun niederfrequenten - Spannung weiterarbeiten und sie mit einem Detektor auslesen (vgl. Abb. 24).

²⁵Elektrisch lange Leiter beginnen, einen Teil der Energie selbst wieder abzustrahlen, was einen Verlust der Empfangsleistung zur Folge hat (vgl. Abschnitt 2.1.8 S. Seite 12).

²⁶Die Hochfrequenztechnik ist viel zu kompliziert, um sie in dieser Arbeit genauer zu behandeln.

Hat man nun einen Spannungswert, der die Eingangsleistung an der Antenne widerspiegelt, kann man diesen auslesen und an einer gewünschten Skala auswerten. Diese Aufgabe übernimmt der Arduino mit einem LED-Balken, der anzeigt, ob die Strahlung stärker oder schwächer wird.

Der Aufbau, wie er hier geplant wird, ist schematisch in Abbildung 22 zu sehen und vergleichsweise einfach gehalten, da der AD8318 verwendet wird. Die Platine bildet das Hauptelement des Geräts und wird mit einer (fixen) Spannung zwischen 7V und 12V versorgt. Geplant ist es eine 9V Batterie zu verwenden, da man sie leicht im Handel erhalten kann und gleichzeitig mit 9V die Betriebsspannung des Arduinos erreicht wird.

Die Antenne wird an einen sogenannten *männlichen SMA-Stecker* (vgl. Abb. 25) angelötet, da die AD8318 Platine bereits mit einem weiblichen SMA versehen ist. SMA steht für *Sub Miniature version A* und ist der kleinste schraubbare, für Rundfunk verwendete Anschlusstyp (vgl. Abb. 26). Die Impedanz ist bei diesen auf 50Ω genormt und unterstützt Frequenzbereiche von Gleichstrom bis 17GHz bei bis zu 500V Spitzen (RG58-Koaxialkabel). Man bezeichnet dabei jene Anschlüsse, die einen Stift und eine Schraubmutter haben, als *männlichen SMA* oder *SMA-Stecker*. Die Gegenstücke mit einem Loch und dem äußeren Gewinde nennt man *weiblichen SMA* oder *SMA Buchse* (Amphenol na).

An den Ausgang des AD8318 müssen mehrere Drähte angelötet werden. Ein Draht für die Spannungsausgabe, der später direkt an den analogen Eingang des Arduinos angeschlossen wird, zwei Drähte für die Erde und ein letzter für die Betriebsspannung. Zu Testzwecken kann man zunächst ein Multimeter verwenden, welches empfindlich genug für die kleinen Spannungswerte ist, letztendlich wird die Weiterverarbeitung des Ausgangswerts digital über den Arduino erfolgen. Hierfür siehe Abschnitt 4.3 (S. 57).

4.2 Antennen

Prinzipiell sollen Signale auf den Frequenzen auf 900MHz, 1900MHz und 2400MHz nachgewiesen werden können. Hierfür werden nach den Angaben in Abschnitt 2.2 (S.13) jeweils die entsprechenden Werte ermittelt, die für das vorhandene Material verwendet werden können.

Verwendete Materialien umfassen Draht (0,8 - 1mm), SMA-Stecker, RG-58 Koaxialkabel, Schrumpfschlauch und LötKolben mit Zinn. Eine Abbildung dieser Materialien findet sich in Abb. 25.

Der Aufbau der Antenne ist wie folgt: An den SMA-Stecker wird ein Koaxialkabel angelötet (falls eine Quetschzange [fachlich *Crimpzange*]²⁷ verfügbar ist, kann der Stecker natürlich mit der Hülse verquetscht werden, andernfalls genügt Löten auch ohne Verwendung der Hülse).

Hierzu isoliert man das Koaxialkabel vorsichtig ab, um die Litzen nicht zu beschädigen, und lötet zunächst den Innenleiter des Koaxialkabels in die SMA-Spitze (vgl. Abb. 26a). Diese wird dann in den SMA-Stecker von hinten eingeführt, sodass die innere Isolierung

²⁷Achtung: eine Crimpzange ist ein spezielles Werkzeug; man kann hierfür nicht einfach eine handelsübliche Kombi-Zange verwenden!

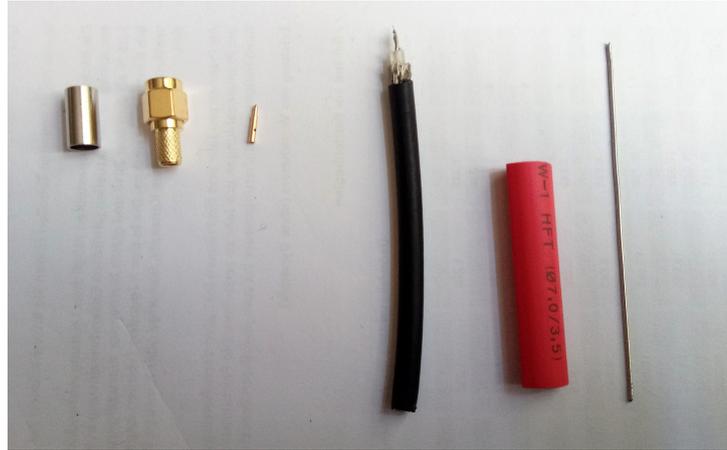


Abbildung 25: Bauteile für eine Antenne. Von links nach rechts: SMA-Hülse, SMA-Stecker (männlich), SMA-Spitze, Koaxialkabel RG-58, Schrumpfschlauch, Draht



(a) Abisoliertes Koaxialkabel und Spitze des SMA-Anschlusses.



(b) SMA-Anschluss mit angelöteter Abschirmung.



(c) Lötstelle durch Schrumpfschlauch fixiert und isoliert.

Abbildung 26: Bildbeschreibung zur Montage des SMA-Steckers

in den Stecker geht und die Abschirmlitzen außen am Metallhals liegen. Die Abschirmlitzen werden außen entweder angelötet (vgl. Abb. 26b) oder, falls möglich, mit der Hülse verquetscht. Sollte nicht verquetscht werden, so sollte man die Lötstelle isolieren. Ein Schrumpfschlauch bietet zusätzliche Stabilität (vgl. Abb. 26c).

Da ein Koaxialkabel verwendet wird, ist auch die Länge des Kabels unproblematisch; bei verdrehten Drahtleitungen oder Leiterdrahtleitungen müsste die Länge penibel auf die Wellenlänge abgestimmt werden. Trotzdem wurde in diesen Fällen die Länge des Koaxialkabels an einer halben Wellenlänge orientiert.

An dem anderen Ende des Kabels werden Abschirmung und Zentralleiter abisoliert und separat verdreht. An diesen Litzen werden zuletzt die vorbereiteten Drähte verlötet, deren Länge möglichst exakt auf die Wellenlänge zugeschnitten werden.

Da die Platine des AD9318 auf 50 Ohm Eingangsimpedanz angepasst ist, wählt man eine Antennenform, die möglichst nahe an diesen Werten liegt. Laut Rothammels Antennenbuch sind dies die $5\lambda/8$ Vertikalantenne mit einem Buchwert von 49 Ohm und der Halbwellendipol mit einem Buchwert von 73,2 Ohm (Rothammel 1988; S.64).

Dimensionierung der Antennen

Es werden die Antennen für drei verschiedene Wellenlängen dimensioniert: 900MHz, 1800-MHz und 2440MHz.

Die ersten beiden Frequenzen sind für Mobilfunk ausgelegt, während die dritte die derzeit hauptverwendete Wlan Frequenz ist (5GHz Wlan ist meist noch nicht vertreten). Durch folgende Formel erhält man die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (19)$$

Hierbei ist λ die Wellenlänge, c die Lichtgeschwindigkeit und f die Frequenz. Außerdem wird ein Verkürzungsfaktor von 0,9 verwendet, da die elektrische Länge einer Antenne im Realen länger ist als die mechanische (vgl. Abschnitt 2.1.8 Seite 12). Die Antenne wird mit einem Kupferdraht der Dicke 1mm gefertigt, und der Verkürzungsfaktor (V) von 0,9 kann dann aus entsprechenden Grafiken abgelesen werden (vgl. Rothammel (1988; S.50)). Daraus folgt:

Frequenz (MHz)	Wellenlänge (cm)	$\lambda/2 \cdot V$	$5\lambda/8 \cdot V$
900	33,31	14,99	19,19
1800	16,66	7,49	9,59
2440	12,29	5,53	7,08

Beide Antennenformen sind brauchbar, aber man sollte bedenken, dass bei Monopolantennen eigentlich eine gut leitfähige Erdoberfläche vorhanden sein sollte. Im hier behandelten Fall wurde der Außenleiter allerdings einfach bis zum Ansatz des Monopols gekürzt (vgl. Abb. 28a). Dies hat zwei Gründe: Einerseits ist an dem Außenleiter eine ausreichend große Erde (es kann auch eine Metallplatte oder Ähnliches sein) anzubringen, andererseits ist die Antenne dann entsprechend schwieriger zu lagern, damit die Erde nicht beschädigt wird. Es wurde ein Versuch unternommen, eine $\lambda/4$ Antenne mit Ground-Radialen (die "Erde") zu bauen (vgl. Abb. 28b), jedoch war schnell klar, dass die Radiale sehr empfindlich sind, sich leicht verbiegen und man die Antenne wegen der Gefahr des Verbiegens nicht einfach in eine Box zur Aufbewahrung legen kann.

Die $5/8\lambda$ Antenne wird dennoch ohne Erde verwendet, weil im Praxistest gegenüber dem Halbwellendipol keine nennenswerten Messunterschiede feststellbar waren. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Abschirmung selbst ausreichende Leitfähigkeit aufweist, sodass die Verluste entsprechend gering ausfallen.

Die Monopolantenne ohne Erde oder Radiale bietet dagegen einen eindeutigen Formvorteil, da sie aus einem einzelnen geraden Draht besteht (vgl. Abb. 28a) und daher einfach zu lagern und nicht sehr anfällig für Deformierungen ist. Beim Dipol hingegen muss man aufpassen, dass die Dipol-Arme stets "in 180°" sind und senkrecht zur Koaxialspeisung stehen.



(a) Dipol der ersten Eigenbau-Generation.



(b) Dipol der dritten Eigenbau-Generation.

Abbildung 27: Fortschritt beim Bau von Dipolen erster und dritter Generation. (Eigene Aufnahmen)

Schwierigkeitsgrad

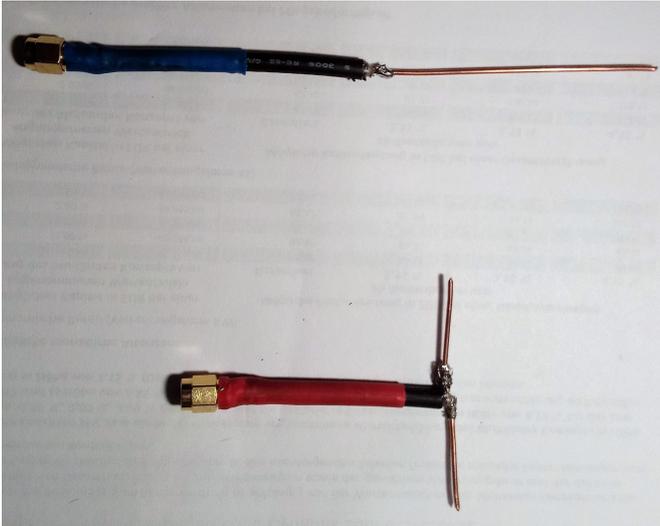
Wer Antennen selbst bauen will, sollte vor allen Dingen viel Geduld mitbringen sowie die Bereitschaft, Dinge öfter als nur einmal zu bauen. Das scheint vielleicht trivial, jedoch stellt sich in der Praxis heraus, dass die Motivation sehr schnell sinken kann, wenn gewisse Arbeitsschritte nicht beim ersten oder zweiten Mal funktionieren.

Sonst ist es von Vorteil, wenn man bereits ein paar Mal zuvor Kabel abisoliert hat. Das Zerlegen eines Koaxialkabels ist zwar etwas aufwändiger, aber vom Konzept her nicht sehr unterschiedlich. Lötkenntnisse sind nur erforderlich, falls keine Quetschzange vorhanden ist, um die SMA-Buchse zu befestigen.

Allenfalls gilt: *„Übung macht den Meister“*. Der Autor dieser Arbeit hat vor diesem Projekt noch nie mit Koaxialkabel oder SMA-Buchsen gearbeitet und es dennoch geschafft, mehrere funktionierende Antennen zu bauen. Besonders in dieser Hinsicht möchte auf den persönlichen Fortschritt beim Bau von Dipolen hingewiesen werden, wie in Abb. 27 zu sehen ist.

4.3 Programm

Nach Abschnitt 4.1 muss das Signal, welches von der AD8318 Platine zum Arduino geleitet wird, verarbeitet werden. Hierfür soll ein Programm geschrieben werden, welches dem Arduino die Anweisungen zur Verarbeitung des Spannungswerts gibt und dann entscheidet, wieviele LEDs leuchten sollen. In diesem Bereich werden die einzelnen Teile dieses Programms erklärt. Der vollständige Code wird außerdem im Anhang platziert (siehe S.A).



(a) 5/8 Monopolantenne (oben) und Halbwelligendipol (unten) für 2,4GHz.



(b) $\lambda/4$ Monopol mit Radialen als Erde.

Abbildung 28: Antennen im Eigenbau

4.3.1 Festzulegende Variablen

Alle hier erwähnten Variablen sind als *int* festgelegt. Das bedeutet, dass man nur Ganze Zahlen eintragen darf, also keine Komma-Zahlen eingeben. Negative Zahlen sind kein Problem.

```
int num_of_LEDs = 10;
int upper_dB = -5; //upper limit for dB measurement -> all LEDs on
int lower_dB = -65; //lower limit for dB measurement -> no/1 LED on
int usedPin = 5; //used Analog Pin for measurement of detection
```

num_of_LEDs legt die Anzahl der für die Ausgabe verwendeten LEDs fest. Die erste LED belegt stets Port 2 des Arduinos, die zweite Port 3 usw. Standardmäßig sind zehn LEDs verwendet.

upper.dB und *lower.dB* legen das aufzulösende Spektrum fest. Im Normalfall bewegen sich die Messwerte zwischen -65 und -5dB. Man kann das Intervall verändern, um die Auflösung zu verfeinern. Lässt man das Intervall standardisiert, so werden je nach Empfangsstärke etwa 2-3 LEDs leuchten. Für nähere Informationen siehe Abschnitt 4.3.4.

usedPin definiert den verwendeten analog Pin des Arduinos, über den die Spannung eingelesen wird. Auf dem Arduino wird dieser Pin über A0-A5 gekennzeichnet, im Programm reicht die entsprechende nachgestellte Ziffer.

4.3.2 Feste Variablen

```
float adc; //Analog Input on the Arduino
float vOUT; //calculated Volts from the ADC
float pIN = 0; //variable for measured power

float intercept = 20; //in dBm
float slope = -0.025; //in -25 mV/dB or -0.025 V/dB
```

Diese Variablen sind lediglich für weitere Berechnungen verwendet, sie sind **nicht dazu gedacht, verändert zu werden**, und haben an dieser Stelle meist keinen Wert zugeordnet, was daran liegt, dass sie temporäre Variablen darstellen, denen immer wieder neue Werte zugewiesen werden.

In *adc* wird die vom Analog-Digital-Converter ausgelesene Spannung von *usedPin* gespeichert. Das entspricht einem Wert von 0 bis 1027.

vOUT ist die Umrechnung von *adc* zu einem Spannungswert in Volt. ($vOUT = adc \cdot 5/1028$, später im Programm ersichtlich)

pIN steht für Power-In, der Spannungswert aus *vOUT* wird später gemäß dem Datenblatt des AD8318 in einen dBm - Wert umgerechnet.

intercept und *slope* sind Werte, die man aus dem Datenblatt auslesen kann, die eventuell für andere logarithmische Detektoren anders aussehen. Die Umrechnung von Spannung zu dBm wird linear approximiert, wobei *slope* die Steigung und *intercept* der x-Achsen Versatz ist.

4.3.3 Mittelwertfunktion

```
int ReadAveragePinADC(int usedPin, int num_of_measurements){
    int temp = 0;
    float sum = 0;
    float average = 0;
    for (int i = 0; i < num_of_measurements; i++){ //read measurements and
        calculate sum
        temp = analogRead(usedPin);
        sum += temp;
        delay((int)300/num_of_measurements);
    }
    average = sum / num_of_measurements;
    return average;
}
```

Der Funktion wird der Pin übergeben, aus dem ausgelesen werden soll (*usedPin*), sowie über wie viele Messungen man den Mittelwert berechnen will (*num_of_measurements*).

Variablen, die in der Funktion definiert werden, werden nach Beendigung der Funktion wieder gelöscht. Die Variablen *temp*, *sum*, *average* sind lokal definiert, können aber außerhalb der Funktion theoretisch neu definiert werden, ohne sie in der Funktion zu überschreiben.

Die *for-Schleife* weist der Variable *temp* den analogen Wert auf Pin *usedPin* (A5) zu und addiert sie dann zur Variable *sum*. Das wird je nach Wert von *num_of_measurements* wiederholt. Die *delay* Funktion sorgt hierbei dafür, dass die Messungen regelmäßig über insgesamt 300 Millisekunden verteilt werden.

Dann wird der Wert *sum* durch die Anzahl der Messungen geteilt, wodurch der Mittelwert erstellt wird.

Zum Schluss gibt die Funktion den Mittelwert (*average*) zurück.

4.3.4 LED - Funktionen

Diese Funktionen beziehen sich auf die LED - Ausgabe.

Setup

```
int range = 0;
float intervall = 0;
int LEDs_on = 0;

void SetupLED(int num_of_LEDs){ //max LEDs: 13 on Arduino Uno
    int i=0;
    while(i < num_of_LEDs){
        pinMode(i+2, OUTPUT);
        i++;
    }
    for (int i = 0; i < num_of_LEDs; i++){ //activate all LEDs, to check
        function
        digitalWrite(i+2, HIGH);
        delay(200);
    }
    delay(1000);
    for (int i = 0; i < num_of_LEDs; i++){ //deactivate all LEDs
        digitalWrite(i+2, LOW);
    }
    range = upper_dB - lower_dB;
    intervall = range / (num_of_LEDs - 1);
    LEDs_on = 0;
}
```

Diese Funktion übernimmt die Anzahl an LEDs, die man zu Beginn in der Variable *num_of_LEDs* angegeben hat. In der *while - Schleife* werden nach der Reihe die Ports 2, 3, usw. als digitaler Ausgang festgelegt, damit sie nachher die LEDs ein- und ausschalten können.

Die erste *for - Schleife* schaltet die LEDs nach der Reihe ein und die zweite wieder aus. So sieht man, ob alle LEDs funktionsfähig sind.

Zuletzt wird *range* als Differenz zwischen *upper_dBm* und *lower_dBm* festgelegt sowie *intervall* definiert, um zu ermitteln, nach wie vielen dBm eine weitere LED eingeschaltet werden muss (siehe nächste Funktion).

Display

```
void Display_LEDs(int value){
    int iteration = 0;
    while (value < upper_dB){
        value += intervall;
        iteration++;
    }
    LEDs_on = num_of_LEDs - iteration;
    for (int i = 0; i<LEDs_on; i++){
        digitalWrite(i+2, HIGH);
    }
    for (int i = LEDs_on; i < num_of_LEDs; i++){
        digitalWrite(i+2, LOW);
    }
}
```

Diese Funktion Display übernimmt den zuvor berechneten dBm - Wert.

Im Wesentlichen geht es in dieser Funktion darum, einen Algorithmus zu schreiben, der bestimmt, wie viele LEDs eingeschaltet sein sollen.

Die *while* - *Schleife* kontrolliert, wie oft man *intervall* zu dem Messwert addieren kann, bis man den Wert von *upper_dBm* übersteigt, und speichert die Anzahl in *iteration*.

Je öfter man *intervall* zum Wert addieren muss, desto weiter ist man bei *lower_dBm*. Daher subtrahiert man *iteration* von *num_of_LEDs*, was die Anzahl an einzuschaltenden LEDs ergibt (*LEDs_on*).

Die beiden folgenden *for* - *Schleifen* schalten die nötigen LEDs ein und alle anderen aus (besonders zweite Schleife ist besonders wichtig, da es keine einfache vordefinierte Funktion gibt, die alle LEDs ausschaltet, bzw. das unnötige Code-Zeilen wären).

4.3.5 Hauptprogramm

Bis hierher war alles nur Vorarbeit, damit der Hauptteil des Programms "aufgeräumt" aussieht und nachvollziehbar ist. Der Arduino beginnt ab hier zu arbeiten und "springt" bei Referenz einer Funktion zu obigen Codes, um diese abzuarbeiten.

SETUP

Der Setup - Programmteil wird als erstes und nur einmal ausgeführt, sobald der Arduino mit Spannung versorgt wird.

```
void setup()
{
  // put your setup code here, to run once:
  SetupLED(num_of_LEDs);
}
```

In diesem Fall wurde der Setup Code bereits in die obige Funktion *SetupLED* ausgelagert, der wir nur noch die Variable *num_of_LEDs* übergeben, in die zu Beginn die Anzahl der verwendeten LEDs gespeichert wurde.

LOOP

Der folgende Code wird immer wieder von vorne abgearbeitet, bis der Arduino ausgesteckt wird.

```
void loop()
{
  // put your main code here, to run repeatedly:
  adc = ReadAveragePinADC(usedPin, 100);
  // adc = analogRead(usedPin);
  vOUT = float(adc)*5/1023; //v_out, convert adc to Volt
  pIN = vOUT/slope + intercept; //Power in, to dBm
}
```

Mit der Funktion *ReadAveragePinADC* wird über *usedPin* (standardmäßig Pin A5) der Mittelwert über 100 Werte gebildet. Mit der Anzahl an Werten kann man experimentieren.

Aus dem erhaltenen Wert wird nun die Spannung berechnet (*vOUT*) und dann aus der erhaltenen Spannung die Leistung nach Datenblatt berechnet.

PC-Ausgabe

Es ist möglich, die gemessenen Werte auf einem PC anzuzeigen; dafür muss der Arduino jedoch an diesen angeschlossen und die IDE (*integrated developer environment*) installiert sein. Dann kann man über den seriellen Monitor Daten vom Arduino an den PC schicken, der sie anzeigt. Hierzu sind zusätzliche Zeilen lediglich in *SETUP* und *LOOP* notwendig:

```

void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:

    Serial.begin(9600);
    Serial.print("reading");
    Serial.print("\t");
    Serial.print("Volt");
    Serial.print("\t");
    Serial.println("Power");
    delay(500);
    SetupLED(num_of_LEDs);
}

void loop()
{
    // put your main code here, to run repeatedly:
    adc = ReadAveragePinADC(usedPin, 100);
    // adc = analogRead(usedPin);
    vOUT = float(adc)*5/1023; //v_out, convert adc to Volt
    pIN = vOUT/slope + intercept; //Power in, in dBm

    Serial.print(adc);
    Serial.print("\t");
    Serial.print(vOUT);
    Serial.print("\t");
    Serial.println((int)pIN); //print, no decimals
    Display_LEDs((int)pIN);
    // delay(100);
}

```

Im *setup()* Teil wird der serielle Link geöffnet (*Serial.begin(9600)*) und dann jeweils mit einem Tabulator Abstand *reading*, *Volt*, *Power* gedruckt.

Im *LOOP* Teil wird dann, ebenfalls jeweils mit einem Tabulator getrennt, der ausgelesene Wert, der berechnete Volt-Wert und der umgerechnete Power-Wert ausgegeben.

Zur besseren Veranschaulichung betrachte man Abbildung 29

Verwendet man den Arduino nicht mit einem PC, so sollte man die Zeilen streichen, die mit "Serial" beginnen, da sie unnötigen Speicherplatz verbrauchen.

4.4 Entwicklung eines Prototypen

Breadboard Aufbau

Dieses Kapitel bezieht sich auf den praktischen Erstaufbau des Geräts.

WICHTIG: Bitte bauen Sie dieses Gerät nicht nach. Die überarbeitete Version findet sich in Kapitel 4.5!



Abbildung 29: Screenshot des seriellen Monitors, bei beispielhaftem Programmablauf.

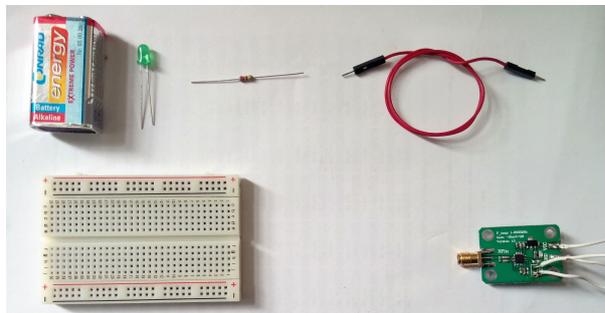


Abbildung 30: Bauteile für den ersten Aufbau. Von links nach rechts: 9V Block, LED, 220 Ohm Widerstand, Jumper Kabel, Breadboard, AD8318 Platine

Die verwendeten Materialien umfassen Breadboard, 10 Stk. LED, 10 Stk. 220 Ω Widerstände, einen 9 V Batterieblock, Jumper Kabel, AD8318 Platine und einen Arduino. Diese Bauteile sind in Abb. 30 ersichtlich.

In Abbildung 31 ist die Schaltung veranschaulicht.

Auf Ports 2-11 werden je eine LED und ein 220 Ω Widerstand in Serie auf Ground geschaltet. Außerdem müssen beide Ground-Drähte der AD8318 Platine ebenfalls mit Ground des Arduinos verbunden werden. Groundleitungen werden schwarz dargestellt.

Die grüne Leitung führt von V_{out} der Platine zu Port A5 auf dem Arduino, auf dem vom Programm später der Spannungswert ermittelt wird.

Die rote Leitung ist die Spannungsversorgung der Platine und führt auf den V_{in} Port des Arduinos. Auf diesem wird auch der "+" Pol der 9V Batterie angeschlossen, deren "-" Pol ebenfalls auf Ground (nicht in der Skizze enthalten) geschaltet.

Verbindet man nun die Batterie, sollte der Arduino beginnen, das Programm ablaufen zu lassen. Zur besseren Überprüfung, ob dies ordnungsgemäß funktioniert, kann man gleichzeitig den Arduino mittels USB Kabel mit einem Computer verbinden und die Messwerte (sofern noch im Programm enthalten) per serieller Verbindung ausgeben (vgl. Abb. 29). Die Batterie benötigt man jedoch trotzdem, da die Platine des logarithmischen Detektors mindestens 7V benötigt.

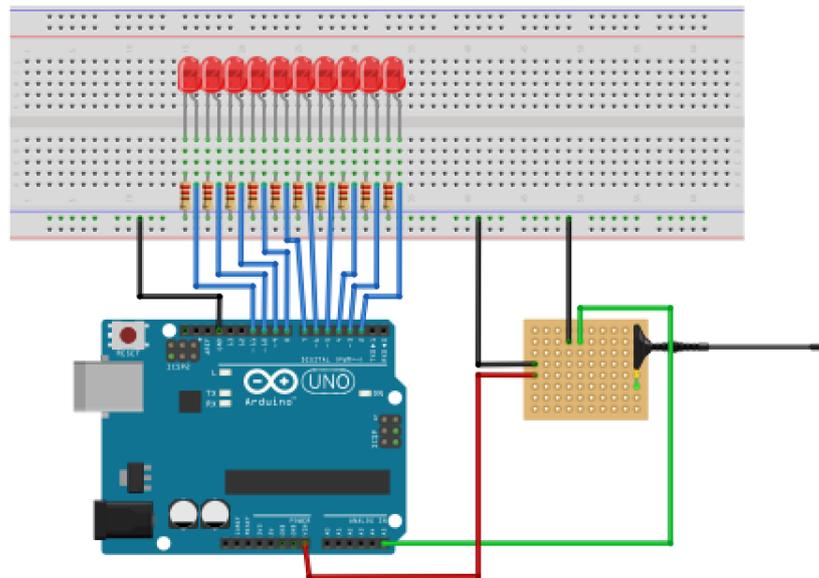
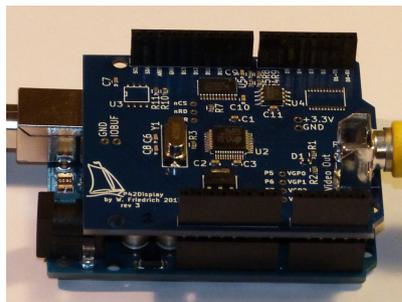
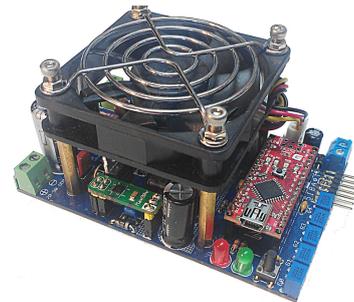


Abbildung 31: Schaltgrafik für den Aufbau auf dem Breadboard. Rechte untere Fläche soll die AD8318 Platine darstellen. (Erstellt mit Fritzing)



(a) Display Shield von Pier 42 (42na).



(b) Servo-Motor Shield von krazatchu (krazatchu 2014).

Abbildung 32: Beispiele für Arduino-Shields

Adaption als Arduino-Shield

Was ist ein Arduino-Shield?

Shields sind Platinen, die auf den Arduino aufgesteckt werden können und dabei das Potential des Arduinos erweitern oder verändern (CreativeCommons nab). Beispielsweise gibt es ein Shield, das als Servomotor Treiber für Robotertechnik fungiert oder einen Display-Treiber, welcher es ermöglicht, über die vorhandenen Pins ein 320x200 Display mit 256 Farben zu betreiben. Es gibt unzählige offizielle und inoffizielle Shields für Arduino, welche die Funktionsweise erweitern (CreativeCommons naa). [vgl. Abb. 32]

Da sich das Projekt als "handheld"²⁸ deutlich besser verwenden lassen wird, ist die Idee, eine Platine zu konstruieren, welche obige Bauteile vereint und auf den Arduino aufsteckbar ist, ganz ähnlich einem Shield. So ist der Arduino stets entfernbar und mit anderen Shields bestückbar.

²⁸Synonym für *handlich, mobil*.

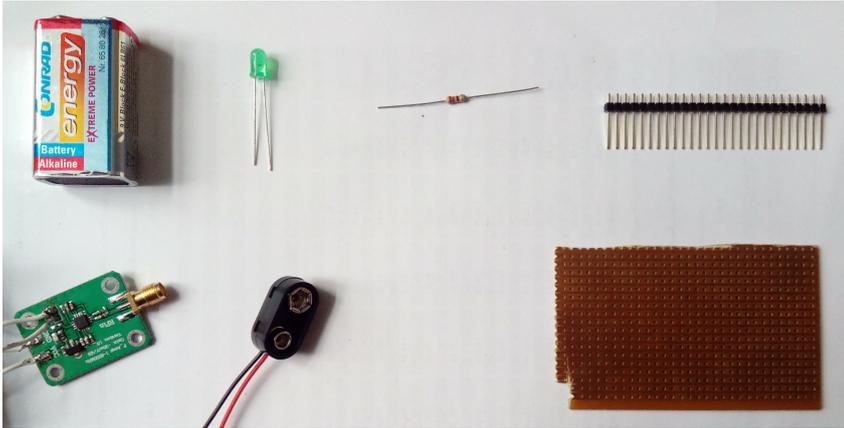


Abbildung 33: Bauteile für den zweiten Aufbau. Von links nach rechts: 9V Blockbatterie, LED, 220 Ohm Widerstand, Header Pins, AD8318 Platine, Batterie Anschluss, Lochrasterplatine

WICHTIG: Bitte bauen Sie dieses Gerät nicht nach. Die überarbeitete Version findet sich in Kapitel 4.5!

Die verwendeten Bauteile umfassen eine Lochrasterplatine, 10 Stk. LED (grün), 10 Stk. 220Ω Widerstände, einen 9V Batterieblock, 13 Stk. Pin Header, Verbindungsstück für die 9V Batterie, die AD8318 Platine, einen Arduino, Lötkolben und Zinn. Die Materialien finden sich auch in Abb. 33.

In Abbildung 34 ist verzeichnet, wie die Schaltung aussehen wird. Hierbei sollte man beim Löten eine gewisse Reihenfolge einhalten:

Zunächst werden die Header Pins so angebracht, dass sie die Ports D2-D11 des Arduinos treffen, und auf der anderen Seite des Arduinos die Ports A5, Vin und GND. Wenn die Position der Pins dann etwa passt, lassen sie sich noch etwas zurecht biegen, sodass sie genau passen (vgl. Abb. 35).

Wenn die Pins gelötet sind, kann man in beliebiger Reihenfolge weiterarbeiten, solange man sich an den Schaltplan hält.

In diesem Fall wurde eine Lochrasterplatine mit Leiterbahnen verwendet (vgl. Abb. 36a). Ähnlich wie bei einem Breadboard sind hier längs der Bahnen alle Löcher verbunden. Um ungewünschte Kontakte zu vermeiden, kann man mit Schleifpapier oder Feilen vorsichtig die Kontakte trennen (vgl. Abb. 36b).

Erster Prototyp und Verbesserungsansätze

In Abbildung 37 kann man die erste zusammengestellte Version des Projekts sehen.

Der AD8318 erfüllt alle Erwartungen. Der Antennenanschluss funktioniert ohne Probleme, selbst gebastelte Antennen können durch den SMA-Anschluss problemlos angeschlossen werden. Die Spannungswerte sind qualitativ auswertbar. Absolute Werte zu ermitteln

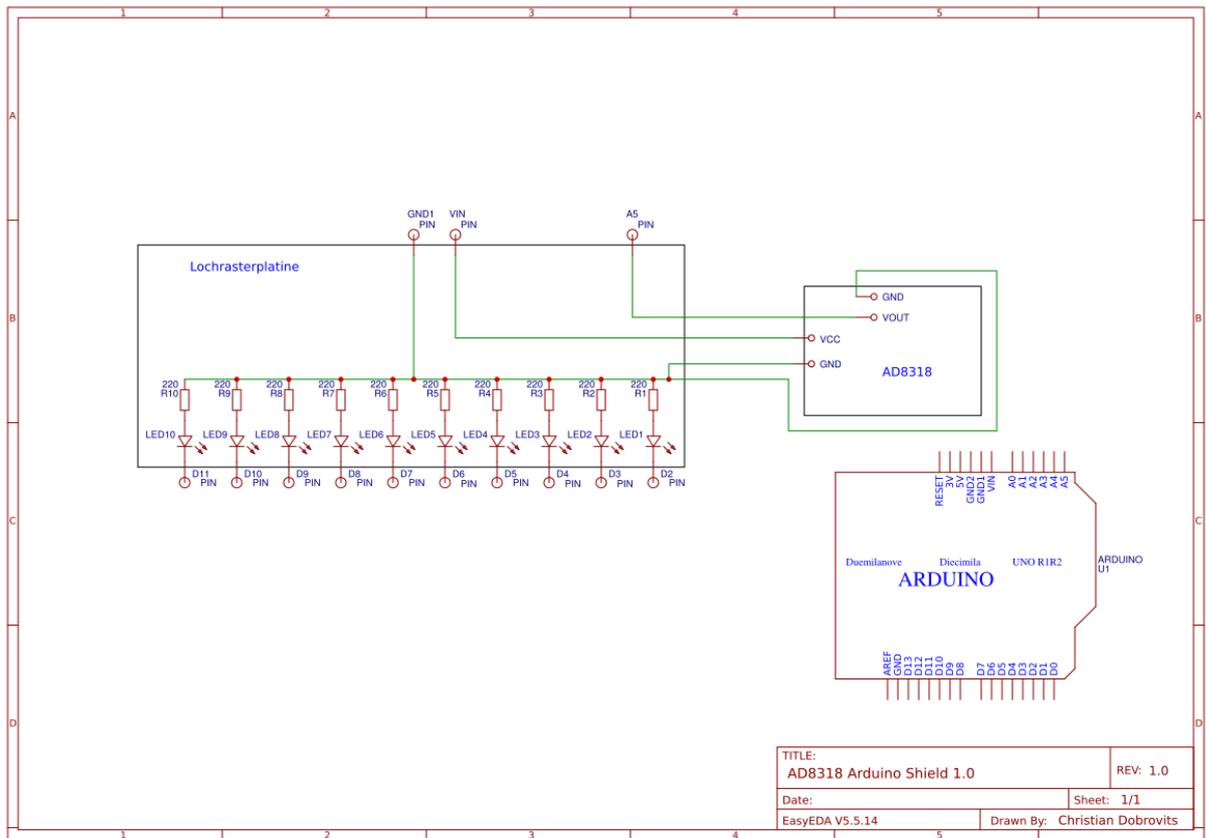
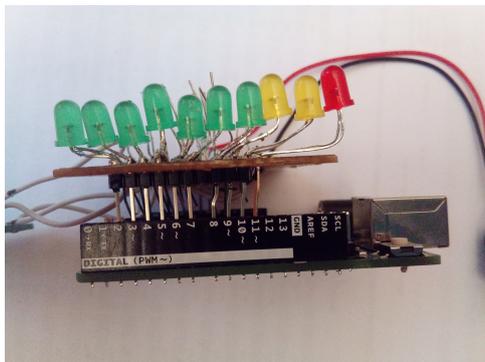
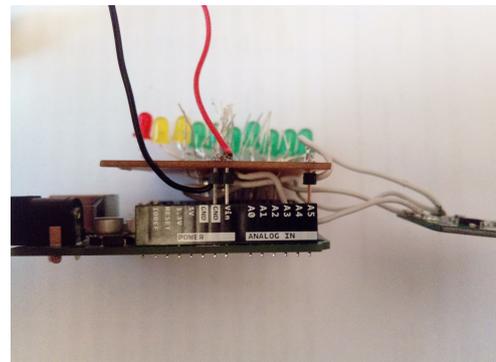


Abbildung 34: Schaltplan für den Shield mit LEDs und AD8318. (Erstellt mit easyeda.com)

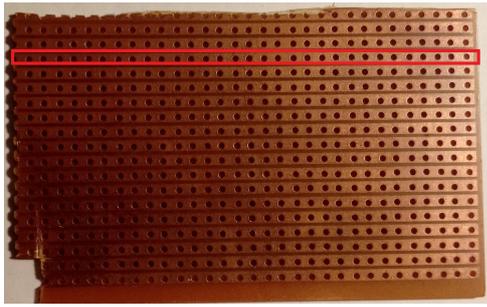


(a) Pins D2-D11, LED Pins

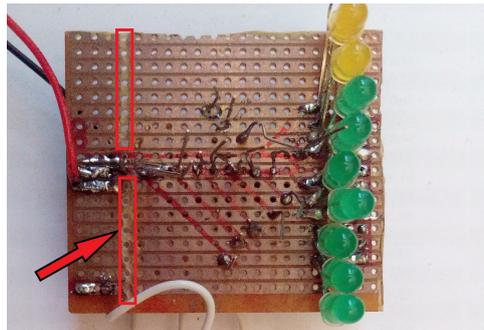


(b) Pins A5, Vin und GND

Abbildung 35: Pins sollten von der Position etwa passen, genaues Zurechtbiegen ist nachträglich möglich. (Eigene Abbildung)



(a) Hier sind die Leiterbahnen der verwendeten Lochrasterplatine markiert. Alle markierten Löcher sind leitend verbunden.



(b) Hier sieht man, dass die Kontakte getrennt wurden, mit Ausnahme der Bahn, die mit Ground verbunden ist, zu dem die Widerstände führen.

Abbildung 36: Lochrasterplatine (mit Leiterbahnen).

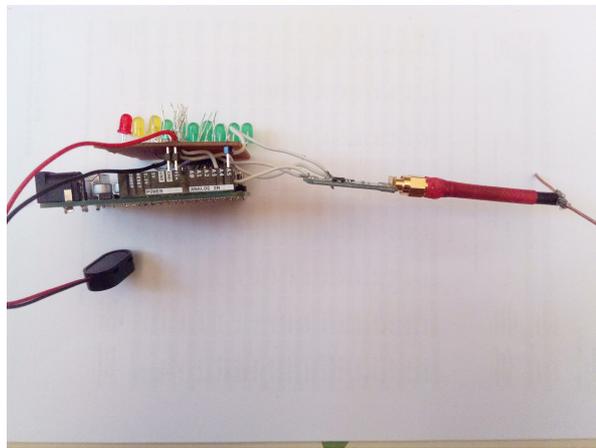
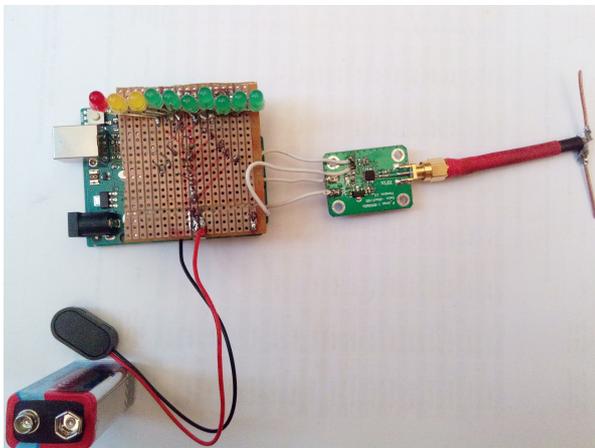


Abbildung 37: Abbildungen des fertigen Prototypen.

steht nicht zur Diskussion, da das Gerät nicht kalibriert werden kann und interne Verluste nicht ausschließbar sind. Das Programm des Arduinos funktioniert ebenfalls einwandfrei. Die Spannungswerte werden korrekt aufgenommen und umgerechnet, und die LED-Ausgabe ordnet die Werte korrekt zu. Das geplante Funktionsprinzip von Abschnitt 4.1 Seite 52 kann exakt so weiter verwendet werden.

Es gibt allerdings Verbesserungspotential.

In der Planung wurde nicht beachtet, dass die LEDs deutlich breiter sind als die Löcher der Lochrasterplatine. Man kann sie allerdings nicht einfach weiter voneinander entfernen, damit man die Pins so löten kann, dass das Board als Shield auf den Arduino aufsteckbar bleibt. Gleichzeitig entsteht eine hohe Belastung an den Lötstellen, wenn die LEDs verbogen werden, um trotzdem eine Reihe zu erzeugen (gut sichtbar in Abbildung 35a). Eine Möglichkeit ist, deutlich kleinere LEDs zu verwenden oder einen LED-Bargraph. Bei der Gelegenheit könnte man auch die einzelnen Widerstände durch ein Widerstandsnetzwerk tauschen (vgl. Abb. 38).



Abbildung 38: Bargraph mit 10 LEDs. Links Ansicht von oben, mittig Seitenansicht. Rechts ein Widerstandsnetzwerk. Bus-Pin ist mit einem Punkt markiert.

4.5 Überarbeitung des Geräts

In der Überarbeitung wurden die LEDs durch einen LED-Bargraph mit zehn LEDs sowie die zehn Widerstände durch zwei Widerstandsnetzwerke (vgl. Abb. 38) ersetzt.

Optimalerweise würde man ein einzelnes Widerstandsnetzwerk mit elf Pins verwenden, das aber war beim lokalen Händler nicht erhältlich, deshalb wurde dieses durch zwei sechs-Pin Netzwerke ersetzt.

Widerstandsnetzwerke haben den Vorteil, dass sie auf jedem Pin einen Widerstand haben, welche zu einem einzigen Pin führen. Letzteren Pin nennt man den Bus-Pin und dieser ist in diesem Fall mit einem schwarzen Punkt markiert (vgl. Abb. 38).

Wie oben diskutiert wird der LED Bargraph hauptsächlich deswegen verwendet, damit die Montage auf der Lochrasterplatine problemlos funktioniert. Die Widerstandsnetzwerke sind optional, hier jedoch sowohl aus optischen Gründen als auch zur Reduktion der nötigen Lötstellen verwendet.

In Abbildung 39 sieht man den Aufbau auf dem Breadboard. Der grundlegende Aufbau hierbei bleibt zu dem bisherigen (vgl. Abschnitt 4.4) gleich, lediglich ersetzt durch die jeweiligen Bauteile.

Die neue Liste an Bauteilen umfasst eine Lochrasterplatine, einen LED Bargraphen, zwei Stk. 6-Pin Widerstandsnetzwerke 220 Ω (Ersetzbar durch 1 Stk. 11-Pin Widerstandsnetzwerk), 9V Batterieblock, Verbindungsstück für 9V Batterie, 13 Stk. Pin Header, AD8318 Platine, Arduino, Lötkolben und Zinn.

Die erneuerte Schaltskizze zeigt Abbildung 40 (S.71).

In Abbildung 41 ist der überarbeitete Prototyp zu sehen. Die LED-Bar ist deutlich einfacher zu verlöten und passt ausgezeichnet in die Lochrasterplatine. Da es sich um einen Block handelt, sind die einzelnen Lötstellen weniger Zug ausgesetzt und entwickeln daher keine Wackelkontakte. Das Lötmuster ist in Abbildung 41c zu sehen, ebenso die abgeschliffenen Stellen, an denen die Leiterbahnen nicht weiterführen sollen.

Wichtig ist, die AD8318 Platine auf irgendeine Weise zu befestigen, damit sie nicht nur an den vier weißen Verbindungsdrähten hängt, da sonst sehr leicht Lötstellen brechen und Wackelkontakte entstehen können. In diesem Fall wurde dies so gelöst, dass die überbleibenden SMA-Hülsen des Antennenbaus als Abstandshalter verwendet wurden und die Platine mit Draht auf die Lochrasterplatine gebunden wurde (vgl. Abb. 41a und

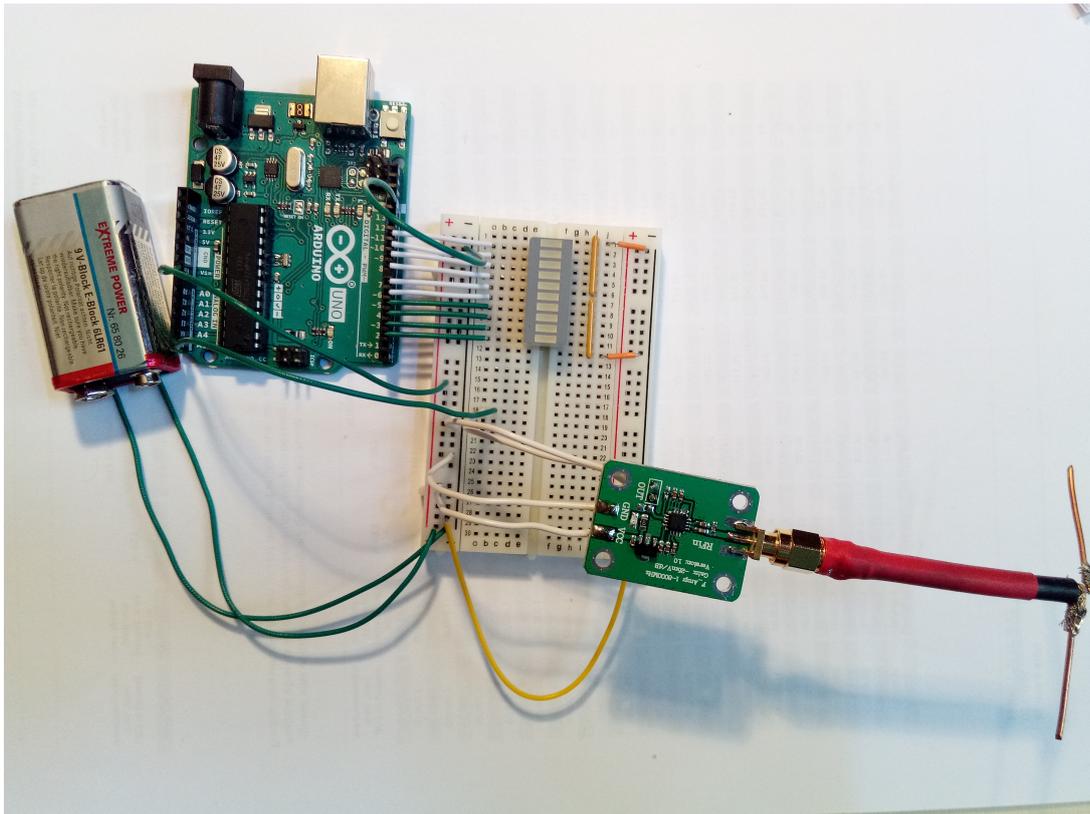


Abbildung 39: Testaufbau des Geräts auf dem Breadboard mit einem Bargraph und Widerstandsnetzwerken.

41b). Den Draht kann man zusätzlich noch mit Lötzinn fixieren. Selbstverständlich kann man auch alles in ein geeignetes Gehäuse verschrauben.

Das fertig zusammengestellte Set mit Monopolantenne ist in Abbildung 42 ersichtlich.

Gehäuse

In dieser Arbeit wird für das Gerät kein Gehäuse gebaut; dennoch ist es sinnvoll, das Gerät in ein solches zu verbauen, damit äußere Einflüsse keine Lötstellen lockern oder Drähte verbiegen können etc. Hinsichtlich des Gehäuses muss man allerdings ein paar Dinge beachten. Entweder müssen die Pins zugänglich sein, damit man den Arduino daran anschließen kann, oder das Gehäuse muss genug Raum bieten, um einen Arduino einzubauen. In letzterem Fall wäre es wichtig, dass man den Arduino auch einfach wieder entfernen kann, da man dann mehrere Shields für einen Arduino haben kann, aber nur einen Arduino kaufen muss.

Außerdem muss die SMA Buchse frei bleiben, damit man Antennen anschließen kann. Die Antennen einzubauen ist insofern unzweckmäßig, da dadurch der Empfang eingeschränkt wird. Stoffe nahe bei der Antenne können Strahlung absorbieren oder reflektieren, was die Messwerte verfälschen würde.

Letztlich muss als dritter Punkt noch die LED-Anzeige sichtbar und die Batterie tauschbar bleiben. Entsprechende Aussparungen im Gehäuse sollten eingeplant werden.

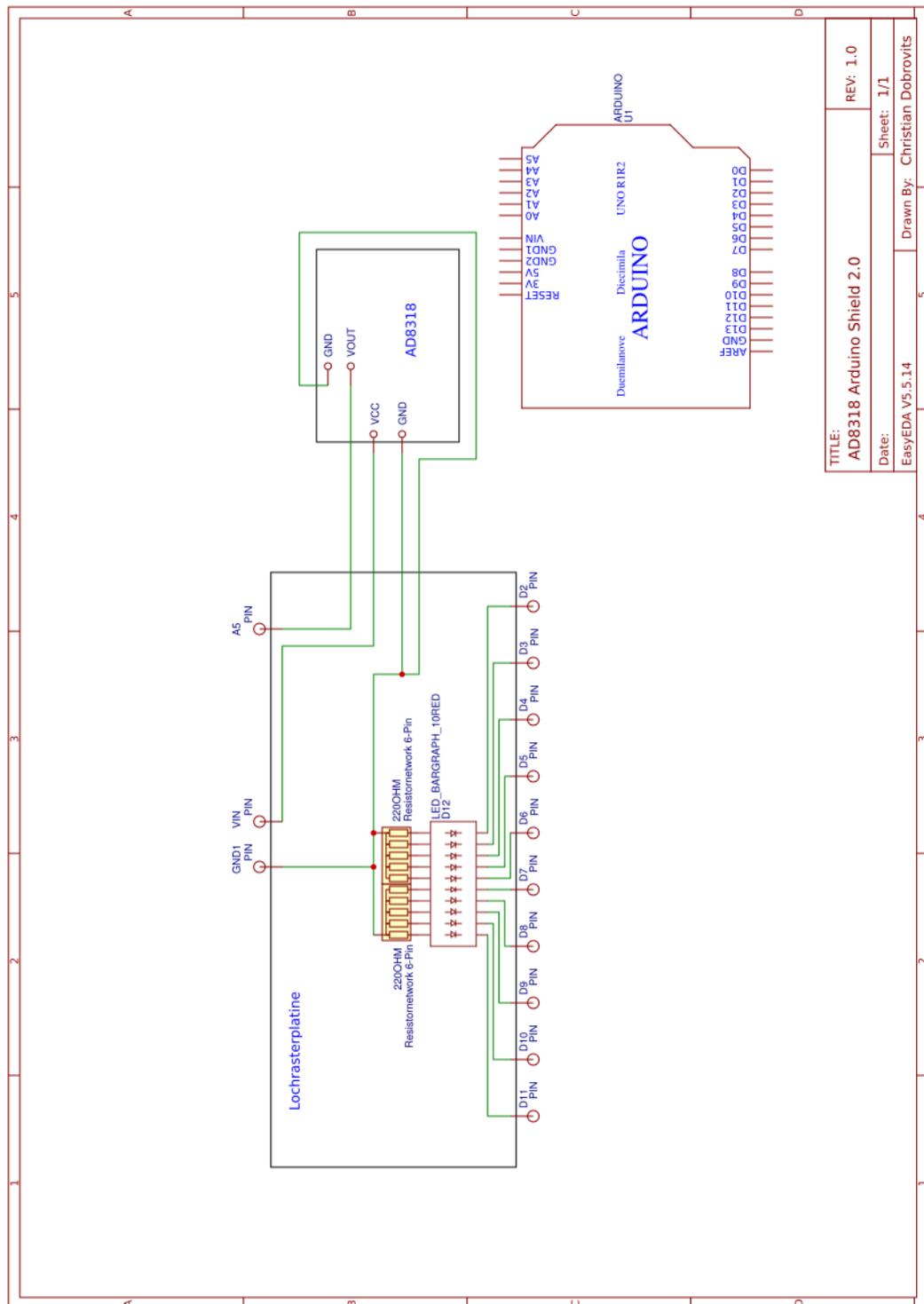
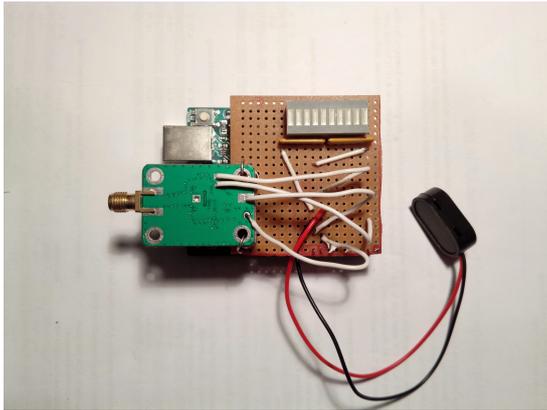
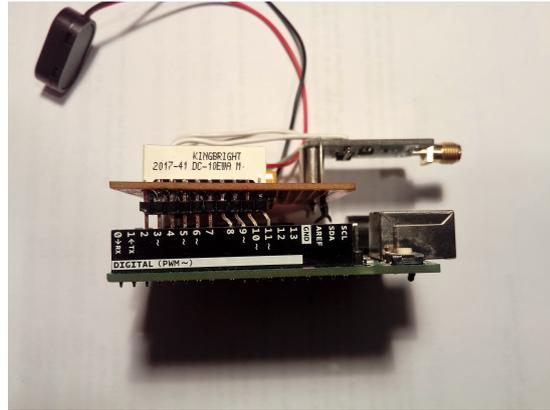


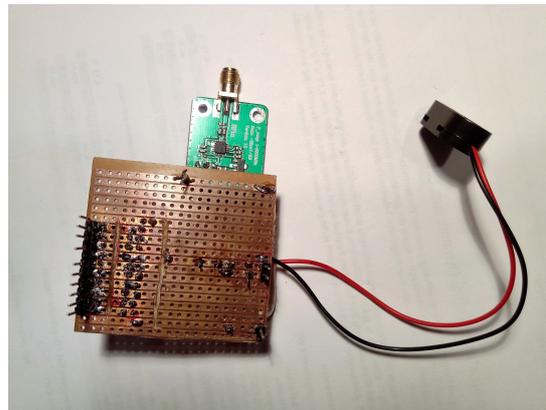
Abbildung 40: Schematik für die überarbeitete Gerätversion, mit Bargraph und Widerstandsnetzwerk. (Erstellt mit easyeda.com)



(a) Ansicht von oben.



(b) Seitenansicht



(c) Ansicht von unten

Abbildung 41: Abbildung des überarbeiteten Geräts, mit LED-Bar und verbesserter Halterung der Platine.

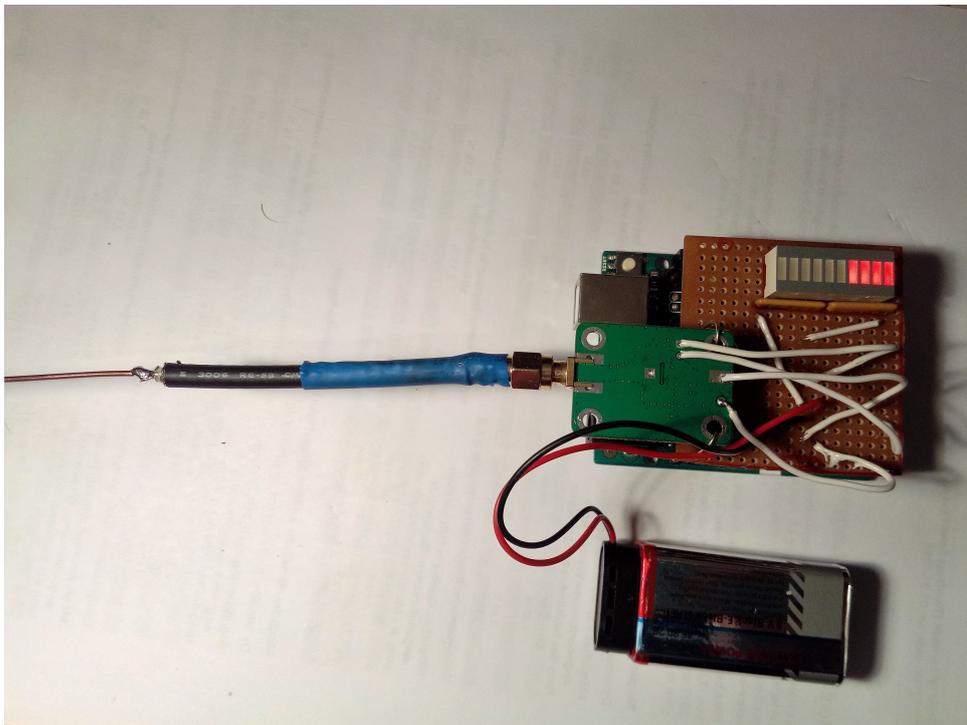


Abbildung 42: Finaler Prototyp mit Monopolantenne und Arduino.

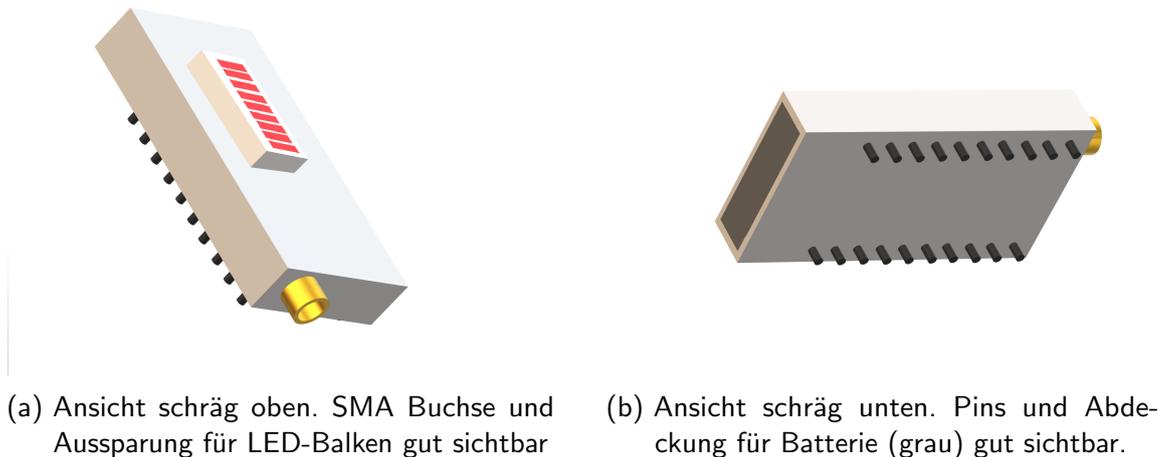


Abbildung 43: Mögliches Design eines Gehäuses für den Shield. Das gesamte Gehäuse wird auf den Arduino aufgesteckt. (Eigens erstellt und designte Abbildung)

Eine Skizze eines solchen Gehäuses ist in Abb. 43 ersichtlich. Anmerkung: Es sind auf der einen Seite natürlich nicht alle Pins erforderlich, da lediglich der Analog-, Ground- und Versorgungspin benötigt werden. Da es sich lediglich um ein Konzept handelt, wurde auch auf die unregelmäßige Verteilung der Pins verzichtet (der Arduino hat zwischen den Pins 7 und 8 sowie zwischen V_{in} und A0 einen größeren Abstand als zwischen allen anderen Pins).

4.5.1 Schwierigkeitsgrad

Anders als beim Bau der Antennen sind hier Lötkenntnisse notwendig. Besonders bei dem Umgang mit Lochrasterplatinen ist es sonst schwierig, geeignete Lötstellen zu fabrizieren. Bei fehlenden Lötkenntnissen empfiehlt es sich, zuerst an einfacheren Dingen zu üben bzw. einfachere Schaltungen zuerst zu erproben. Besondere Vorsicht muss man beim Verlöten der AD8318-Platine walten lassen, an die man in Summe vier Drähte anlöten muss, um Versorgungsspannung, Ground und das Signal verdrahten zu können. Bereits sehr kurze Kontakte mit der Spitze des LötKolbens an den angebrachten Bauteilen können diese von der Platine lösen. Da die Platine in SMD-Bauart vorliegt, sind diese Bauteile an Stellen verlötet, die oft kleiner als $1mm^2$ sind. Und meist bleiben die Versuche, die versehentlich abgelöteten Bauteile wieder zu befestigen, erfolglos. *Durch das versehentliche Ablöten von Bauteilen wird die Platine unbrauchbar!*

Abgesehen von Lötkenntnissen ist es außerdem von Vorteil, wenn man bereits mit elektronischen Schaltungen gearbeitet hat. Es wird zwar alles Notwendige in dieser Arbeit erläutert, jedoch sollte einem klar sein, welche Rolle ein Vorwiderstand bei einer LED spielt oder wie man kontrolliert, ob der Schaltkreis ordnungsgemäß geschlossen ist.

Der Schwierigkeitsgrad wird vom Autor hier auf "Fortgeschritten" geschätzt, mit dem Hinweis, dass einige Stunden an Arbeit in das Konstruieren der Lochrasterplatine mit den LED-Balken und der Platine fließen können.

4.5.2 Rentabilität

Was die Kosten des Geräts betrifft, bekommt man schon für weniger als 50€ beim lokalen Elektronikladen alle notwendigen Bauteile, mit Ausnahme des AD8138, diesen muss man vermutlich in jedem Fall bestellen. Verwendet man statt des originalen Arduino einen gleichwertigen Mikrocontroller billigerer Hersteller bzw. bestellt man die übrigen Teile beim billigsten Anbieter, kann der Preis deutlich gesenkt werden. Hauptfaktor ist hierbei der Arduino, der im Original auf etwas mehr als 20€ kommt, während Drittanbieter-Modelle bereits ab etwas mehr als 5€ erhältlich sind (allerdings meist im Multi-Pack)²⁹.

Es bleibt allerdings zu erwähnen, dass das Gerät in der jetzigen Bauform keinen großen Belastungen ausgesetzt werden darf. Bei falscher Orientierung des Stromflusses beispielsweise erhitzt sich der Chip sehr stark und ist danach unbrauchbar. Selbst bei vorsichtiger Handhabung dürfte die Platine sehr anfällig für Störungen sein, da auch der zweite Eigenbau nach kurzer Zeit nicht mehr funktionierte. Nach mehrfacher Überprüfung, ob das Programm ordnungsgemäß funktioniert³⁰, und dem Kontrollieren der Lötstellen auf Brüche³¹, muss folglich der AD8318 selbst als defekt betrachtet werden, wobei das Gerät keinen groben oder fahrlässigen Belastungen bei Verwendung oder Lagerung ausgesetzt wurde. Wenn bereits bei sorgfältigem Umgang mit dem Gerät die Lebensdauer derartig eingeschränkt ist, so ist die Handhabung durch Schülerinnen und Schüler ausgeschlossen und der Nachbau des Geräts in Schulklassenstärke für den Unterricht hinfällig.

Aus diesen Gründen muss bis auf Weiteres an dieser Stelle davon abgeraten werden, das Nachweisgerät für Mikrowellen in der jetzigen Form nachzubauen. Es bleibt abzuwarten, ob eine spätere Generation des Nachweisgeräts stabilitätsmäßig überzeugen kann oder ob in Kooperation mit industriellen Herstellern brauchbare Fabrikate hergestellt werden können.

²⁹Hier ist Eigenrecherche angebracht, Quellen sind in diesem Fall hoffnungslos, da sich die Situation in der online-Welt täglich ändern kann.

³⁰Durch Anlegen von diskreten Spannungen an den auslesenden Pin kann das Programm auf Richtigkeit geprüft werden.

³¹Für diese Kontrolle kann man mit einem Multimeter die vom Chip ausgehenden Spannungswerte prüfen.

5 Verwendung des Geräts im Unterricht

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Stundenplanung zu einer Unterrichtseinheit, die Schülerinnen und Schülern einen Einblick in das Verhalten elektromagnetischer Strahlung geben soll, mit dem Hauptaugenmerk auf Handystrahlung.

Zunächst findet sich eine Unterrichtsplanung unter Verwendung des konstruierten Nachweisgeräts, jedoch konnte diese Unterrichtseinheit nicht getestet werden, da selbst der zweite Prototyp des Nachweisgeräts seine Funktion aufgegeben hat.

Danach folgt eine adaptierte Version der Stundenplanung, die ähnliche Phänomene anhand der *Network Cell Info App*³² darzustellen versucht. Diese Planung soll dann auch anhand einer kleinen Testgruppe erprobt und darüber resümiert werden.

³²Abschnitt 3, S.45

5.1 Stundenplanung unter Verwendung des Nachweisgeräts

<p>Key Idea, die angesprochen wird: Strahlung breitet sich aus, bis sie auf Materie trifft. Ein Teil der Strahlung wird durchgestrahlt (transmittiert), ein Teil zurückgestrahlt (reflektiert) und ein Teil absorbiert. Wieviel durch-, zurückgestrahlt oder absorbiert wird, hängt von der Strahlungssorte und der Materie ab.</p>	
<p>Lernendenvorstellungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Künstliche und natürliche Strahlung • Gefährlichkeit von Strahlung • Elektrische Geräte emittieren schädliche Strahlung • Licht ist anders als Strahlung • Strahlung ist verantwortlich für Umweltschäden • Strahlung und strahlende Partikel sind ident • Lebewesen emittieren (Gefühls-)Strahlung 	<p>Strandmaps: http://strandmaps.dls.ucar.edu/?id=SMS-MAP-1364</p> <p>Vorstellungen-Strahlung Uni Wien (Plotz und Zloklikovits): https://homepage.univie.ac.at/sarah.zloklikovits/Vorstellungen_Strahlung.pdf</p>
<p>Einordnung in den Lehrplan: Physik als Grundlagenwissenschaft (Welterkenntnis) und als angewandte Wissenschaft (Weltgestaltung) verstehen;(…) rationale Kritikfähigkeit bei gesellschaftlichen Problemen (z.B. Elektrosmog, ionisierende Strahlung) entwickeln.</p>	
<p>Feinziele (Kompetenzen): Schülerinnen sollen Absorption, Reflexion und Transmission von Strahlung als Eigenschaft eines Materials kennen. Schülerinnen sollen kritisch über Strahlungsabschirmungen urteilen können.</p>	

Zeit	5E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität/Ergebnisse
6min 2min Teamarbeit + 4min Vergleichen an der Tafel	Engage	Auftrag: SchülerInnen sollen alle Strahlungsarten, die ihnen bekannt sind, sammeln (2er-Teams, bzw. jeder Tisch als Team). <i>Optional:</i> Abhängig von dem Wissensstand der SchülerInnen kann man sie auch bitten, die Strahlungsarten nach Größe der transportierten Energie zu ordnen. Anderenfalls macht man das gemeinsam an der Tafel. Das gesammelte Spektrum könnte etwa so aussehen wie abgebildet in Abschnitt 5.4 (S.88)	SchülerInnen beraten sich in Teams über die bekannten Strahlungsarten
20min 5min Schritt1 + 15min Schritt2	Explore	Wir beschäftigen uns heute mit dem Bereich der Mikrowellenstrahlung, genauer den Frequenzen zwischen 900MHz und 2,4GHz. Frage an SchülerInnen nach Vorkommen im Alltag. Dies ist ein Gerät, das die abgestrahlte Energie in diesem Bereich nachweisen kann (<i>Nachweisgerät herzeigen</i>). Je mehr Balken auf der Anzeige leuchten, umso stärker ist das Strahlungsfeld, in dem sich das Gerät befindet. <i>Optional:</i> Erklärung, dass das Gerät nicht empfindlich genug ist, um jede noch so kleine Strahlung zu "sehen". Messbereich beginnt bei -65dBm und falls alle Balken leuchten, bedeutet dies -5dBm oder mehr ³³ .	Mögliche Antworten: Wlan, Mobilfunk, Mikrowellenherd, Radio , teilweise Fernsehen, Radar, Bluetooth, GPS, teilweise MRT
	Schritt 1	Als Vergleichswert legt man ein Handy neben das Gerät und bringt es aus dem Flugmodus. Das Handy nimmt dann Kontakt mit einem Sendemasten auf und regelt anschließend die Sendestärke auf ein Minimum. Alternativ kann man auch das Handy anrufen, besonders, wenn es gerade unzugänglich ist (bspw. in einem Gefäß). Man muss dann allerdings damit rechnen, dass die Empfangsstärke reduziert ist.	Beobachtungen: Das Gerät sollte zumindest kurz ein hohes Strahlungsfeld nachweisen (mind. 6 Balken) und sich danach bei etwa 1-2 Balken einpendeln.

³³ACHTUNG: Wert kann sich je nach Programmierung ändern, die Auflösung des Geräts ist anpassbar

	Schritt 2	<p>Nun geht es darum, verschiedene Materialien auf Durchlässigkeit/Absorption der Strahlung zu testen. Es empfiehlt sich, mit einer Glasschüssel mit Deckel zu starten, da man hier sowohl das Handy als auch den Empfänger vollständig platzieren und gleichzeitig beobachten kann. Bei anderen Materialien kann man selbstverständlich nur die Antenne des Geräts hineinhalten, jedoch muss man dann mit etwas Streustrahlung rechnen³⁴, die durch kleine Unebenheiten oder Schlitze fallen können.</p> <p>Empfohlene Materialien:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Glasschüssel mit Deckel 2. Karton 3. Karton mit Alufolie umhüllt 4. Wasserschale mit Handy in wasserdichter Plastikhülle 	<p>Erwartete Ergebnisse zu obigen Materialien:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sollte keine nennenswerten Unterschiede hervorrufen. 2. Selbes Ergebnis wie bei Glas. 3. Optimalerweise: Kein Ausschlag. Möglicherweise sieht man trotzdem etwas, es sollte allerdings dramatisch reduziert sein. 4. Verminderter Ausschlag, aber nennenswert. Man muss allerdings beachten, dass das Wlan (sofern verwendet) fast vollständig absorbiert wird, da bei 2,4GHz Wassermoleküle angeregt werden (vgl. Mikrowellenherd).³⁵
6min	Explain	<p>Bei Strahlung unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Materialarten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für Strahlung "unsichtbare" Materialien (Transmitter) • Strahlung absorbierende Materialien (Absorber) • Strahlung reflektierende Materialien (Reflektoren) 	<p>Zunächst <i>Think-Pair-Share</i>: Mögliche Einteilungsmöglichkeiten der Materialien. Sollen diese Dinge notieren.</p>

³⁴Sollte man in jedem Fall, da sich Gefäße meist nicht vollständig dichten lassen.

³⁵Eventuell mit Gerät zeigbar? Im Flugzeugmodus nur Wlan aktivieren und einen Speedtest durchführen wäre denkbar.

<p>10min 6min SchülerInnen- Arbeit + 4min Vergleich und Diskussion</p>	<p>Elaborate</p>	<p>Diese Dinge gelten für alle Strahlungsarten. Licht zählt als Elektromagnetische Strahlung. Kennt ihr (SchülerInnen) Absorber, Transmitter und Reflektoren für Licht?</p> <p>Auflösung durch LehrerIn.</p>	<p>Arbeit in 2-Teams (oder Tisch-Teams): <i>Absorber</i>: Schwarze (dunkle) Stoffe, <i>Reflektoren</i>: helle Stoffe, insbesondere Metalle. Anmerkung: Wir meinen an dieser Stelle nicht notwendigerweise Spiegel, sondern auch diffus reflektierende Oberflächen. <i>Transmitter</i>: Gläser, manche Kunststoffe.</p>
<p>8min</p>	<p>Evaluate</p>	<p>Es gibt viele verschiedene "Sticker" (vgl. Abb. 44), die angeblich Strahlung von Handys reduzieren sollen. Diskussion über: Notwendigkeit? Sinnhaftigkeit?</p> <p>Bei der Diskussion sollte zumindest zur Sprache kommen: Wie so ein kleiner Sticker das ganze Handy abschirmen soll, ob Abschirmung überhaupt sinnvoll ist (Wird die Strahlung abgeschirmt, beeinträchtigt dies natürlich die Empfangsqualität, Anrufe gehen nicht mehr durch, Nachrichten werden nicht empfangen/gesendet). Warum nicht gleich Handy ausschalten? Handys regulieren die ausgesendete Strahlung auf ein Minimum (vgl. Schritt1, Handy aus dem Flugmodus holen). Bei Verschlechterung des Empfangs (durch z.B. Sticker) sollte das Telefon die ausgesendete Strahlung erhöhen! Auflösend sollte auch erklärt werden, dass die Sendemasten/WLAN-Router natürlich in keiner Weise dadurch beeinträchtigt/abgeschirmt werden.</p>	<p>SchülerInnen sollten etwas Zeit bekommen darüber nachdenken zu können.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abschirmung würde Handyempfang beeinflussen • Andere Sender werden dadurch nicht beeinflusst • Handystrahlung (Mikrowellen) ist für menschliches Gewebe nicht ionisierend.
<p>-</p>	<p>Anhang</p>	<p>Ein beliebtes Material für Handys ist Aluminium (Rückseite). Warum wohl nie die gesamte Rückseite aus diesem Material sein wird?</p>	<p>(vgl. Abb. 44)</p>

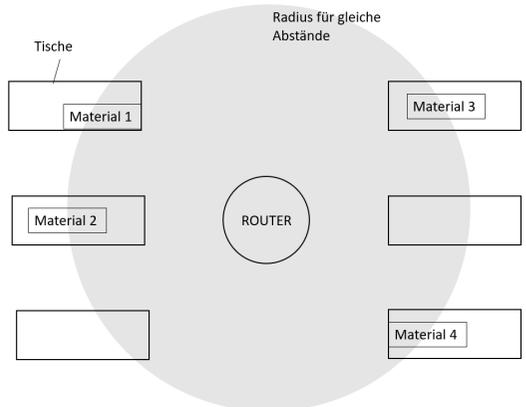
5.2 Stundenplanung unter Verwendung der App

In dieser Planung wurde hauptsächlich der Experimenterteil verändert, um den Funktionalitäten der Smartphone-App (*Network Cell Info App*, vorgestellt in Abschnitt 3, S. 45), zu entsprechen. Key Ideas, Lernendenvorstellungen, Einordnung in den Lehrplan und Feinziele bleiben unverändert und sind unter Abschnitt 5.1 (S.76) ersichtlich.

Zeit	5E's	LehrerInnenaktivität	SchülerInnenaktivität/Ergebnisse
6min 2min Teamarbeit + 4min Vergleichen an der Tafel	Engage	Auftrag: SchülerInnen sollen alle Strahlungsarten, die ihnen bekannt sind, sammeln (2er-Teams, oder jeder Tisch als Team). <i>Optional:</i> Abhängig von dem Wissensstand der SchülerInnen und Zeit kann man sie auch bitten, die Strahlungsarten nach Größe der transportierten Energie zu ordnen. Anderenfalls macht man das gemeinsam an der Tafel. Das gesammelte Spektrum könnte etwa so aussehen wie abgebildet in Abschnitt 5.4 (S.88)	SchülerInnen beraten sich in Teams über die bekannten Strahlungsarten. → Arbeitsblatt, falls Gruppenarbeit
20min 5min Schritt1 + 15min Schritt2	Explore	Wir beschäftigen uns heute mit dem Bereich der Mikrowellenstrahlung, genauer den Frequenzen zwischen 900MHz und 2,4GHz. Frage an SchülerInnen <i>Opt.</i> nach Vorkommen im Alltag. Projizieren des Handybildschirms auf den Beamer ³⁶ , mit geöffneter <i>Network Cell Info App</i> (oder gleichwertigem). Erklären, dass diese Applikation die Empfangsqualität (/stärke) der momentanen Mobilfunk-Verbindung auswertet. Für unsere Testzwecke wollen wir eine einzelne Frequenz evaluieren, deshalb ist das Handy in Flugmodus mit aktiviertem WLAN ³⁷ .	Mögliche Antworten: Wlan, Mobilfunk, Mikrowellenherd, Radio, teilweise Fernsehen, Radar, Bluetooth, GPS, teilweise MRT

³⁶Bspw. durch *ScreenStream App*

³⁷Dadurch ist klassischer Mobilfunk des Handys deaktiviert, ausgenommen der 2,4GHz WLAN-Frequenz, über die mit einem Router kommuniziert wird.

	Schritt 1	<p>Um vergleichen zu können, sollte man nur einen Einflussfaktor verändern und alle anderen nicht variieren, daher fixieren wir den Ort des Handys. Es soll sich zu jeder Messung an diesem befinden. Auch die Orientierung des Handys sollte möglichst gleich bleiben, um Polarisierungseffekten entgegenzuwirken. Diesen Messwert betrachten wir als unseren Normalwert, mit dem dann verglichen wird.</p>	<p>Beobachtungen: Je nachdem, ob ein selbst mitgebrachter Router oder ein bereits im Schulgebäude montiertes Gerät als Bezugsgerät verwendet wird, sollte dieser Normalwert unterschiedlich stark vorliegen, da die Strahlungsbelastung von der Entfernung abhängt und ggf. sogar von dem Gerät-Modell.</p>
	Adaption für Schülerexperimente	<p>Die Planung ist so konzipiert, dass alle Experimente von der Lehrperson unter Beobachtung durch die SchülerInnen durchführbar sind. Andererseits können die Experimente als <i>Stationenbetrieb</i> realisiert werden. Dies erfordert allerdings, dass die SchülerInnen pro Gruppe je ein Gerät haben, das mit der <i>Network Cell Info App</i> und der <i>ScreenStream</i> (oder gleichwertigem) ausgestattet ist. Außerdem muss man in diesem Fall überlegen, aus Risikogründen die Station mit dem Wasser auszulassen (siehe Schritt 2).</p> <p>Um bei den Stationen gleichwertige Umfeldbedingungen zu schaffen, müssen der Router in diesem Fall zentral und die Stationen in möglichst gleichem Abstand zu diesem positioniert werden. Die SchülerInnen werden entsprechend instruiert, nicht in der direkten Luftlinie zwischen Handy und Router zu stehen, während Messungen durchgeführt werden.</p>	<p>Skizze für die Schülerexperimente. Der Abstand zum Router sollte bei allen Materialien etwa gleich sein, daher der grau eingezeichnete Kreis.</p> 

	Schritt 2	<p>Nun geht es darum, verschiedene Materialien auf Durchlässigkeit/Absorption der Strahlung zu testen. Es empfiehlt sich, mit der Glasschüssel mit Deckel zu starten, da man hier das gesamte Handy platzieren, jedoch trotzdem ohne Hilfsmittel den Bildschirm betrachten kann. Bei manchen Materialien (wie z.B. einem Metalltopf oder Karton) muss man über Umwege den Bildschirm sichtbar machen. Dies übernimmt in unserem Fall die <i>ScreenStream</i> App. Dort kann man beobachten, wie sich der Empfang verhält. In dem Fall, dass der Stream beendet wird, heißt das, dass das Handy keine Verbindung mit dem Router mehr hat.</p> <p>Beispiele empfehlenswerter Materialien:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Glasschüssel mit Deckel 2. Karton 3. Mikrowelle (ohne Spannungsversorgung, es geht lediglich um die Abschirmung) 4. ggf. massiver Metallbehälter (gut verschließbarer Topf, o.Ä., Alufolie reicht oft nicht) 5. Wasserschale mit Handy in wasserdichter Plastikhülle 6. Luftballon (Gummi) 	<p>Erwartete Ergebnisse zu obigen Materialien:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sollte keine nennenswerten Unterschiede hervorrufen. 2. Selbes Ergebnis wie bei Glas. 3. Optimalerweise sollte hier das Handy die Verbindung zum Router verlieren³⁸. 4. Je nach Verschließbarkeit und Wandstärke ist der Empfang drastisch schlechter oder bricht ganz ab. 5. Verminderter Ausschlag, nennenswert?. Man beachte, dass das 2,4GHz WLAN großteils absorbiert werden kann, da Wassermoleküle angeregt werden (vgl. Mikrowellenherd).³⁹ 6. Sollte keinen nennenswerten Unterschiede hervorrufen.
--	-----------	---	---

³⁸ACHTUNG: Achten Sie darauf, dass das Handy sich nicht automatisch mit einem 5GHz WLAN verbindet, diese gehen problemlos durch die Mikrowellentür!

³⁹Hier bietet sich Gelegenheit für weiterführende Experimente. Hat man auch ein 5GHz Netzwerk zur Verfügung, kann man zeigen, dass sich der Empfang drastisch verbessert! → Absorption elektromagnetischer Strahlung kann vom Material abhängig sein.

6min	Explain	<p>Bei Strahlung unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Eigenschaften von Materialien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für Strahlung "unsichtbare" Materialien (Transmitter) • Strahlung absorbierende Materialien (Absorber) • Strahlung reflektierende Materialien (Reflektoren) 	<p>Zunächst <i>Think-Pair-Share</i>: Mögliche Einteilungsmöglichkeiten der Materialien. Sollen diese Dinge notieren.</p>
<p>10min 6min SchülerInnen-Arbeit + 4min Vergleich und Diskussion</p>	Elaborate	<p>Diese Dinge gelten für alle Strahlungsarten. Licht zählt als elektromagnetische Strahlung. Kennt ihr (SchülerInnen) Absorber, Transmitter und Reflektoren für Licht?</p> <p>Auflösung durch Lehrperson.</p>	<p>Arbeit in 2-Teams (oder Tisch-Teams): <i>Absorber</i>: Schwarze (dunkle) Stoffe, <i>Reflektoren</i>: helle Stoffe, insbesondere Metalle. Anmerkung: Wir meinen an dieser Stelle nicht notwendigerweise Spiegel, sondern auch diffus reflektierende Oberflächen. <i>Transmitter</i>: Gläser, manche Kunststoffe.</p>

8min	Evaluate	<p>Es gibt viele verschiedene "Sticker" (vgl. Abb. 44), die angeblich Strahlung von Handys reduzieren sollen. Diskussion über: Notwendigkeit? Sinnhaftigkeit?</p> <p>Bei der Diskussion sollte zumindest zur Sprache kommen: Wie so ein kleiner Sticker das ganze Handy abschirmen soll, ob Abschirmung überhaupt sinnvoll ist (Wird die Strahlung abgeschirmt, beeinträchtigt dies natürlich die Empfangsqualität, Anrufe gehen nicht mehr durch, Nachrichten werden nicht empfangen/gesendet). Warum nicht gleich Handy ausschalten? Handys regulieren die ausgesendete Strahlung auf ein Minimum (vgl. Schritt1, Handy aus dem Flugmodus holen). Bei Verschlechterung des Empfangs (durch z.B. Sticker) sollte das Telefon die ausgesendete Strahlung erhöhen! Auflösend sollte auch erklärt werden, dass die Sendemasten/WLAN-Router natürlich in keiner Weise dadurch beeinträchtigt/abgeschirmt werden.</p>	<p>SchülerInnen sollten etwas Zeit bekommen, darüber nachdenken zu können.⁴⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abschirmung würde Handyempfang beeinflussen • Andere Sender werden dadurch nicht beeinflusst • Handystrahlung (Mikrowellen) ist für menschliches Gewebe nicht ionisierend.
-	Anhang	<p>Ein beliebtes Material für Handys ist Aluminium (Rückseite). Warum wohl nie die gesamte Rückseite aus diesem Material sein wird?</p>	(vgl. Abb. 44)

⁴⁰Optional: SchülerInnen mit kleinen Alu-Stickern versorgen, die angeblich gleiche Effekte hervorrufen sollen. Eigentest der Empfangsveränderung.

5.3 Arbeitsblatt für SchülerInnen

Spektrum für elektromagnetische Strahlung

Energie \longrightarrow

30kHz - 300MHz	300MHz - 300GHz	300GHz - 385THz	384THz - 789THz	952THz - 30PHz	30PHz - 30EHz	>30EHz
Radio	Mikro- wellen	Infrarot	sicht- bares Licht	UV	Röntgen- strahlung	Gamma- strahlung
nicht-ionisierende Strahlung				ionisierende Strahlung		

Experiment - Strahlungsdämpfung verschiedener Materialien

Schalte dein Handy in den Flugmodus, aktiviere dann dein WLAN und verbinde dich mit dem Router. Benutze auf deinem Smartphone die *Network Cell Info App*, um die Empfangsstärke zu prüfen (in dBm). Die Einheit dBm ist logarithmisch, daher ist es schwer, die Werte zu vergleichen und sich dabei etwas vorstellen zu können. Wir berechnen daher die relative Leistung mit der Funktion:

$$\text{rel. Leistung} = 10^{\left(\frac{\text{Empfangsstärke}}{10}\right)}$$

Da Router in möglichst viele Richtungen abstrahlen, sind etwa -50dBm im Normalzustand durchaus zu erwarten.

Platziere dein Smartphone in einem Gefäß und verschließe es. Verwende ggf. die Screen-Stream App, um die Empfangsstärke zu messen. Beobachte den Wert etwa 15 Sekunden. Falls der Wert sehr stark schwankt (mehr als $\pm 5\text{dBm}$), vermerke das in deiner Tabelle. Rechne den Wert in relative Leistung um.

In Anbetracht der Tatsache, dass der *Ausgangszustand* der Grundwert ist, bestimme den Prozentsatz im Vergleich zu den relativen Leistungen der anderen Materialien. Notiere den Prozentsatz außerdem an der Tafel.

Anmerkung: Beachte dass eine Dämpfung eine Abnahme ist. Beim Prozentsatz geht es darum, wie viel die Empfangsleistung *sinkt!*

Experiment-Aufzeichnungen

Entfernung zum Router:

Verwendetes Handy:

Erwartung:

Ergänze in der Tabelle *vor dem Experimentieren*, wie stark das Material Strahlung absorbieren wird.

(totale Absorption / starke Dämpfung / teilweise Dämpfung / keine Dämpfung)

Material	Einschätzung
Glas	
Kunststoff / Gummi	
Metalltopf	
Mikrowelle	
Wasser	

Experiment:

Material	Empfangsstärke (<i>dBm</i>)	relative Leistung	Dämpfung durch Stoff (%)
Ausgangszustand			
Glas			
Kunststoff / Gummi			
Metalltopf			
Mikrowelle			
Wasser			

Denk nach:

Warum muss so umständlich die Dämpfung in Prozent berechnet werden? Warum werden nicht von allen Gruppen einfach die Empfangsstärken notiert?

Eigenexperiment - exemplarische Lösungen

Entfernung zum Router: 2,5m

Verwendetes Handy: Elephone 3D

Material	Empfangsstärke (dBm)	relative Leistung	Dämpfung durch Stoff (%)
Ausgangszustand	-48 dBm	0,00001584893	0%
Glas	-49 dBm (zwischen -49 und -48)	0,00001258925	< 20% (Schwankung)
Kunststoff / Gummi	-50 dBm	0,00001	37%
Metalltopf	-70 dBm	0,0000001	99,3%
Mikrowelle	Verbindungs- abbruch	0	100%
Wasser + Plastikbehälter	-80 dBm	0,00000001	99,9%

5.4 Elektromagnetisches Spektrum - Schematik Tafelbild

Energie →

30kHz - 300MHz	300MHz - 300GHz	300GHz - 385THz	384THz - 789THz	952THz - 30PHz	30PHz - 30EHZ	>30EHZ
Radio	Mikrowelle	Infrarot	sichtbares Licht	UV	Röntgenstrahlung	Gammastrahlung
nicht-ionisierende Strahlung				ionisierende Strahlung		

5.5 Anti-Strahlung-Sticker & Antennenstreifen- Grafik Projektion



Abbildung 44: 4 Smartphones links: Anti-Strahlungsticker. 2 rechts: Antennenstreifen

5.6 Reflexion und Verbesserungsvorschläge der gehaltenen Unterrichtseinheit

Die Unterrichtseinheit wurde insgesamt in zwei achten und zwei elften Schulstufen durchgeführt. Da es im Bereich der Möglichkeiten lag und die Stundenplanung etwas zu lang gewirkt hatte, wurde die Einheit im Rahmen des Labor-Unterrichts durchgeführt, der eine Doppelstunde und kleinere Schülergruppen zur Verfügung stellt.

Die erste Klasse, in der die Einheit erprobt wurde, war eine achte Schulstufe mit zehn Schülerinnen. Das Leistungsniveau ist der Schulstufe entsprechend, wobei zwei Schülerinnen überdurchschnittliches Wissen zeigen. Die andere achte Schulstufe besteht aus elf Schülerinnen und sechs Schülern (insg. 17 SchülerInnen). Das Wissen dieser Klasse ist sehr gemäßigt, nach Angaben der Schülerinnen und Schüler liegt das an dem Physiklehrer des letzten Jahres (in der sechsten Schulstufe ist hier kein Physikunterricht vorgesehen, dafür aber in der siebten drei Stunden sowie der achten Schulstufe zwei Stunden Physik).

In der elften Schulstufe fand die Einheit einmal mit 14 SchülerInnen (elf Schüler und drei Schülerinnen) und einmal mit 15 SchülerInnen (sechs Schüler und neun Schülerinnen) durchgeführt. Die Leistungsfähigkeit ist hierbei in beiden Klassen gut, jedoch herrscht in ersterer deutlich tieferes Hintergrundwissen (die zweite Klasse wurde zuvor von dem gleichen Lehrer unterrichtet wie die zweite Unterstufenklasse). Dennoch war in beiden Oberstufenklassen genug Wissen vorhanden, um den Unterricht mit den zusätzlichen Anmerkungen in der Planung durchzuführen.

Im Folgenden wird jeder durchgeführte Unterrichtsschritt mit Erfahrungen bewertet und eventuelle Verbesserungsvorschläge gegeben.

5.6.1 Engage

Der Einstieg der Stunde (Engage) erzielt den erwünschten Effekt. Die Schülerinnen und Schüler nannten in jeder Klasse die drei radioaktiven Strahlungsarten, sowie Röntgenstrahlung und UVStrahlung. Gleichzeitig war ein Arbeitsklima geschaffen, in dem sich die Schülerinnen und Schüler mit der Thematik beschäftigten. In den Oberstufen (11.SSt.) kann man davon ausgehen, dass zumindest eine Gruppe alle Strahlungsarten findet. Ob und wie viele Strahlungsarten gefunden werden hängt jedoch vom Wissensstand der Schülerinnen und Schüler ab.

In der Planung ist das Sammeln der Strahlungsarten, die die Schülerinnen und Schüler gefunden haben, ohne Struktur an der Tafel vorgesehen. Es erscheint unpraktisch zuerst die Strahlungsarten auf der Tafel zu sammeln und dann zu löschen, um das Strahlungsspektrum zu projizieren. In der ersten Unterrichtseinheit beschloss die Lehrperson daher spontan folgende Vorgehensweise: Es werden nacheinander die Gruppen nach einer Strahlungsart gefragt und auf der Tafel notiert. Dabei achtet man bei der Notation darauf, die α - und β - Strahlungen separat an der Seite aufzuschreiben und alle teilchenlosen Strahlungen (bzw. Photonenstrahlungen) so auf der Tafel festzuhalten, dass zum Schluss die richtige Reihenfolge bereits ersichtlich ist.

Bsp.: Gruppe 1 nennt "Gammastrahlung" → Lehrer notiert Gammastrahlung am rechten Ende der Tafel. Gruppe 2 nennt "Mikrowellen" → Lehrer notiert Mikrowellen auf der linken Seite der Tafel, lässt aber am linken Ende noch Platz für Radiowellen, etc.

Optional kann man das ganze auch als Wettstreit gestalten. Bei wenigen Gruppen kann man reihum die Gruppen Strahlungsarten nennen lassen, bis keine Gruppe mehr neue Arten nennen kann. Die Gruppe mit den meisten Beiträgen gewinnt.

Nach dem Notieren aller Strahlungsarten in der korrekten Reihenfolge wurden Trennstri- che (vgl. Abschnitt 5.4) eingezeichnet um die Verhältnisse der Breiten der Einteilungen wiederzuspiegeln. Anschließend wird die Richtung eingezeichnet, in die die Energie zu- nimmt. Auf Notieren der Frequenzgrenzen der einzelnen Strahlungsarten (mit Ausnahme der Grenzen der Mikrowellen, vgl. Abschnitt 5.6.2) an der Tafel wurde verzichtet. An dieser Stelle kann man optional über die Grenze zwischen *ionisierender* und *nicht ionisie- render* Strahlung sprechen.

5.6.2 Explore

Als Hilfestellung bei der Frage nach den Anwendungen der Mikrowellen im Alltag kann es helfen, in das Spektrum an der Tafel die Frequenzgrenzen (300MHz - 300GHz) für Mikrowellen zu vermerken. Dies wurde auch ab der zweiten Durchführung der Unter- richtseinheit so gehandhabt, da zunächst kaum Antworten kamen. Durch das Notieren der Frequenzgrenzen scheinen Schülerinnen und Schüler eher gedankliche Verbindungen zu Wlan (2,4 GHz) oder Handy herzustellen. Meist kommen als Antwort allerdings nur Mi- krowellenherd, Wlan und manchmal GPS und Bluetooth. MRT, Radar und insbesondere Mobilfunk ist wird selten (ein von vier Durchführungen) genannt.

Während der kurzen Überlegungszeit der Schülerinnen und Schüler ist ein guter Zeitpunkt für die Lehrperson, die Arbeitsblätter auszuteilen.

Bei der Erklärung der *Cell Network Info App* traten zwei von vier Mal Komplikationen mit der ScreenStream App auf. Einmal verlor das Handy die Internetverbindung, einmal beendete sich der Stream von selbst, das da das Handy zu lange nicht genutzt wurde. Da aber für die Erklärung ohnehin kein interaktives Gerät benötigt wird, sondern ein Standbild genügen würde, bieten sich zwei Verbesserungsvorschläge an:

1. Anleitungstext schriftlich auf das Arbeitsblatt drucken.
2. Einen Screenshot zum Erklären verwenden.

Bei der Erklärung der App wird nur die erste Registerkarte der App hergezeigt und darauf hingewiesen, dass die dBm eine nichtlineare Skala darstellen und in der ersten Spalte der Tabelle eingetragen werden sollen. Ob man hierfür ein Bild für die Erklärung benötigt, oder es genügt, auf dem Arbeitsblatt einen Vermerk zu hinterlassen, da die Schülerinnen und Schüler ohnehin über die App verfügen sollten, müsste erprobt werden.

5.6.3 Experimentierphase

Diesem Teil der Stunde kommt ein separater Absatz zu Gute, da sich hier einige Entwicklungen getan haben, die Erwähnung bedürfen.

Anmerkung: Statt Wasser wurde Karton als Material verwendet, da die Gefahr für das Smartphone der Schülerinnen und Schüler doch erheblich ist. Das eigene Messergebnis der Lehrperson kann dann am Ende präsentiert werden. Optional kann man die Schülerinnen und Schüler davor einschätzen lassen, wie stark die Dämpfung durch Wasser sein sollte.

In der ersten Durchführung wurde so verfahren wie in der Stundenplanung angegeben: Die Materialstationen sind bereits aufgebaut und die Unterrichteten wechseln zwischen den Stationen und messen zu einem zentral aufgestellten (von der Lehrperson mitgebrachten) Router. Hier ergeben sich leider sehr starke Schwankungen der Empfangsqualität. Alleine das Verändern des Standortes des Smartphones dürfte die Verbindungsqualität stark beeinflussen. Eine Gruppe misst so z.B. eine relative Veränderung der Empfangsstärke von etwa 1400% bei Kunststoff.

Erster Verbesserungsvorschlag: Schülerinnen und Schüler platzieren ihr Handy an einem fixen Ort und in einer gleichbleibenden Orientierung (z.B. Handy zeigt immer zu Router, o.Ä., denn die Empfangsstärke ist auch von der Polarisationsrichtung der Antennen abhängig!). Die Materialien werden dann zum Handy gebracht anstatt umgekehrt.

Zweiter Verbesserungsvorschlag: Anstatt die Schülerinnen und Schüler zu einem zentralen Gerät verbinden zu lassen, kann man in jeder Schülergruppe ein Empfängergerät mit der Messungsapp und ein Sendergerät als Hotspot einrichten verwenden. So ist jede Gruppe voneinander unabhängig und selbst für ihre eigene Experimentierumgebung verantwortlich. Ein weiterer Vorteil ist, dass dann der Sender in den Materialien platziert werden kann, bspw. dem Metalltopf, und das Empfängergerät weiterhin ablesbar bleibt. Abgesehen davon sind dann mehr Schülerinnen und Schüler gezwungen aktiv mitzuarbeiten, denn gerade bei großen Schülerzahlen waren doch einige Schülerinnen oder Schüler weniger gefordert.

Messergebnisse: Die Messergebnisse divergieren relativ stark. Die Messungen von Metall und Mikrowelle sind erwartungskonform. Es folgt eine Dämpfung zwischen 96% und 99,99%. Weniger erfolgreich zeigen sich die Ergebnisse der Materialien, die Strahlung dieser Wellenlänge eigentlich sehr wenig bis gar nicht dämpfen sollten: Karton, Glas, Kunststoff. Bei diesen Materialien scheint alleine das Verändern der Handy-Position oder die Veränderung der Umgebung (z.B. Anwesenheit mehrerer Personen, die eventuell Strahlung aus anderen Richtungen zurück reflektieren) Messunsicherheiten zu verursachen, die im schlimmsten Fall eine größere Empfangsstärke verursachen, als im Ausgangszustand gemessen wurde. Von Messwerte von 200% Empfangsstärke bis zu einer Dämpfung um 60% wurde hier durch die Bank vieles gemessen. Es scheint eher die Seltenheit hier glaubhafte Daten zu messen, da sogar in Eigenexperimenten der Lehrperson zwischen 20% und 37% Dämpfung vermessen wurde.

Um dieses Problem zu lösen, stehen noch weiterführende Beobachtungen aus. In der Zwischenzeit bieten sich zwei Möglichkeiten der Auswertung an:

1. Auswertung streng nach Plan ausführen. Es werden alle Werte streng nach Formel berechnet. Im Anschluss diskutiert man das Ergebnis. Empfangsqualitäten, die über dem Ausgangszustand liegen, müssen Messfehler sein oder durch äußere Einflüsse entstehen. Hinweise auf Empfindlichkeit der Antennenposition oder Reflexionen an dritten Gegenständen können helfen.
2. Festlegung eines *Messunsicherheits-Intervalls*. Man akzeptiert als "Dämpfung" erst Werte, die bspw. um mehr als 10 dBm abweichen. Ein geeignetes Intervall müsste erst überlegt und im Experiment selbst erprobt werden. Den Arbeitsblättern der Schülerinnen und Schülern zu Folge sollte ein Intervall von etwa 6-8 dBm genügen.

Als letzter Punkt zu den Experimenten sind starke Schwankungen, was den Zeitraum der Durchführung betrifft, anzumerken. Die schnellste der vier Klassen brauchte 24 Minuten, die langsamste etwa 36. Auf jeden Fall wurde dieser Teil mit zu wenig Zeit bemessen, wie viel hängt hierbei davon ab, wie "trainiert" Schülerinnen und Schüler im Bezug auf Effizienz im Experimentieren sind. Die beiden Oberstufen Klassen benötigten hierbei unter 30 Minuten, während die Unterstufen einmal 29 Minuten und einmal 36 Minuten benötigten. Letzteres ist als Ausreißer zu betrachten, da die Motivation der Klasse an diesem Tag bereits gelitten hatte.

5.6.4 Explain

Dieser Schritt bedarf kaum Diskussion, er funktionierte meist reibungslos. Als Anmerkung könnte man notieren, dass in den Experimenten keine *Absorber* verwendet werden. Ein Absorber wäre Wasser, das aus Sicherheitsgründen nicht zum Einsatz kam. Das Präsentieren der Lehrer-Lösung für Wasser sorgte aber meistens für Erstaunen. Ein Hinweis darauf, dass genau aus diesem Grund die Frequenz von etwa 2,4GHz im Mikrowellenherd verwendet wird, da Wassermoleküle bei dieser Frequenz besonders gut angeregt werden, wurde gegeben.

5.6.5 Elaborate

Dieser Schritt funktioniert ebenfalls tadellos, einzig eine Erweiterung bietet sich an: Man kann durch Vergleich zwischen Mikrowellen-Absorbern und sichtbaren Licht-Absorbern schließen, dass Absorption, Transmission und Reflexion nicht alleinig statische Materialeigenschaften sind, sondern von der Wellenlänge abhängen. Während schwarzes Papier für Licht einen Absorber darstellt, können Mikrowellen ungehindert von ebendiesem schwarzen Papier transmittiert werden. Ebenso kann man in Analogie zu sichtbarem Licht, das von Gegenständen zum Teil absorbiert und zum Teil reflektiert wird, auch auf Reflexion, bzw. Absorption als Wellenlängen-abhängige Eigenschaften schließen.

5.6.6 Evaluate

Dieser Teil wurde in den Oberstufen und einer der beiden vierten Klassen Unterstufe besprochen. Als Beispiel wurde *Waveex* verwendet, dieses wird momentan auf Amazon zu

einem "Spottpreis" von etwa 25€/Stück angeboten. Als Einleitung zur Diskussion wurde die Amazon-Website mit dem Produkt geöffnet (Aktuelle Bewertung: 3 Sterne).

Besonderer Wert wurde darauf gelegt, dass die Lehrperson nicht darüber diskutieren möchte, *ob* das Produkt effektiv gegen Hochfrequenz-Strahlung wirkt. Die Diskussion findet unter der Annahme statt: "Falls Waveex die elektromagnetische Strahlung des Handys abschirmt/absorbiert, dann ..."

In Kombination dazu kann man auch über *Carbon Shield* aus der Sendung *2 Minuten - 2 Millionen* reden, das laut Angabe gegen Elektrosmog schützen soll. Mit dem Wissen, dass Strahlung sich in alle Richtungen ausbreitet, ist fraglich, wie gut ein Leintuch gegen alle Strahlungsrichtungen helfen wird⁴¹.

5.6.7 Abschließende Bemerkungen

Die Unterrichtseinheit ist, den Rückmeldungen der Schülerinnen und Schüler nach zu urteilen, interessant und stellt einen Alltagsbezug her. Das einzig wesentliche Problem, das weiters bestehen bleibt, ist das Zeit-Management. Die Planung ist zu lang für eine normale Unterrichtsstunde, aber zu kurz für zwei. Will man die Planung in einer Unterrichtsstunde abhalten, so muss man sich nach dem Explain entscheiden, ob man mit dem Elaborate oder dem Evaluate fortfahren will. Beides konnte nur durchgeführt werden, da es sich um Labor-Klassen handelte, die ohnehin zwei Unterrichtsstunden lang verfügbar waren. So konnten alle Teile der Planung durchgeführt werden und danach blieb noch Zeit für weitere "Plaudereien". Inklusive der Diskussion blieben noch zwischen 10 und 20 Minuten der zweiten Stunde. Das ist zu kurz um den Experimentierteil zu strecken und zu kurz um den Stundenbeginn und die Zwischenteile zu straffen.

Als wesentliche Probleme bleiben das Zeitmanagement und die Messergebnisse der *nicht-dämpfenden* Materialien, die weiterer Überarbeitung bedürfen.

⁴¹<https://www.amazon.de/Carbon-Shield-Matratzenauflage-Matratzentopper-Millionen/dp/B07BR96KC6>

6 Schlussbetrachtung und Ausblick

Im Verlauf dieser Arbeit wurde erfolgreich ein Konzept inklusive einer vollständigen Anleitung für den Bau eines Strahlungsmessgeräts und abstimmbaren Antennen vorgestellt. Einige Schwachstellen des Gerätes konnten in der überarbeiteten Version erfolgreich ausgemerzt werden, jedoch bleibt der verwendete AD8318 Chipsatz scheinbar labil. Beide Versionen des Gerätes versagten nach wenigen Wochen den Dienst, die Ursachen wurden beide Male auf den Chipsatz des logarithmischen Detektors zurückgeführt (AD8138).

Trotz des funktionierenden Konzepts bedarf es an dieser Stelle noch einigen Überlegungen, wie dieses Gerät haltbarer gemacht werden kann. Ein Vorschlag besteht darin, ein Gehäuse für das Gerät zu bauen, um es von äußeren Einflüssen abzuschotten. Eine Zusammenarbeit mit einer Produktionsfirma, die die Chipsätze selbst verlötet und in Gehäuse verbaut, die auf einen Mikrocontroller als Shield aufsetzbar sind, wäre in diesem Falle ebenfalls denkbar. So bliebe der Mikrocontroller modular für vielfältige Einsatzmöglichkeiten.

Bei einer weiteren Überarbeitung des Geräts empfiehlt es sich, eventuell Ausschau nach einer neueren, hoffentlich haltbareren, Generation der Detektor-Chipsätzen zu halten, die gleichzeitig kompatibel mit dem Bauplan des entworfenen Nachweisgeräts ist.

Die zum Gerät entwickelte Unterrichtseinheit ist großteils als gelungen zu betrachten. Verbesserungsvorschläge, wie z.B. die Optimierung des Experimentierablaufs, wurden ebenfalls detailliert in der Arbeit behandelt. Die App, die als Substitution für das selbst gebaute Nachweisgerät verwendet wurde, ist für den Nachweis von Strahlungsdämpfung gut geeignet, weist aber zu große Schwankungen für den Nachweis von Transmittern auf. Bei Karton oder Glas werden noch zu große Dämpfungen gemessen und gelegentlich sogar Verstärkungen. Es bleibt zu vermuten, dass der Gebrauch des selbst gebauten Nachweisgeräts in Zusammenarbeit mit dem Mikrocontroller deutlich verbesserte Ergebnisse liefern würde, zumal dieses auch die Gesamtstrahlungsbelastung an einem Ort vermisst und nicht nur die Empfangsqualität zu einem Sender. Die Modularität des Eigenbaus hätte auch zum Vorteil, dass man die Transmissionseigenschaft der Materialien in Abhängigkeit zur Wellenlänge der Strahlung beobachten könnte, da Antennen verschiedener Länge verwendbar sind. Die Länge der Antenne bildet einen guten Bandpass für die ausgewählten Frequenzen zwischen den im Chipsatz angegebenen Frequenzintervallen⁴².

Abschließend lässt sich sagen, dass das Nachweisgerät eine Verbesserung der entwickelten Unterrichtseinheit darstellen würde, wenn die Schwachstellen ausgemerzt werden. Weiteres Forschungspotential bestünde in der Untersuchung, welche Vorteile das eigens entwickelte Messgerät gegenüber der verwendeten App hat und ob eine wesentlich stabilere Messung der Strahlungsdämpfungen möglich ist.

⁴²Im Falle des AD8138 zwischen etwa 500MHz und 8GHz.

Literaturverzeichnis

- [42 na] 42, Pier: *Display Shield*. <https://www.tindie.com/products/Wolfi/ntscpal-video-display-shield-for-arduino/>. Version: n.a.
- [Afroz et al. 2015] AFROZ, Farhana ; SUBRAMANIAN, Ramprasad ; HEIDARY, Roshanak ; SANDRASEGARAN, Kumbesan ; AHMED, Solaiman: SINR, RSRP, RSSI and RSRQ Measurements in Long Term Evolution Networks. In: *International Journal of Wireless & Mobile Networks* 7 (2015), aug, Nr. 4, S. 113–123. <http://dx.doi.org/10.5121/ijwmn.2015.7409>. – DOI 10.5121/ijwmn.2015.7409
- [Amazon 2018] AMAZON ; INC., Amazon (Hrsg.): *AD8318 Logarithmischer Detektor RSSI*. https://www.amazon.de/gp/product/B074RJGJSB/ref=oh_aui_detailpage_o04_s01?ie=UTF8&psc=1. Version: 2018
- [Amphenol na] AMPHENOL: *SMA Connector Series*. <https://www.amphenolrf.com/connectors/sma.html>. Version: n.a.
- [Brunswick na] BRUNSWICK: *Arduino and Breadboard*. <http://brunswickhackerspace.com/rise-of-the-microcontrollers/arduino-and-breadboard/>. Version: n.a.
- [CreativeCommons naa] CREATIVECOMMONS ; CREATIVECOMMONS (Hrsg.): *Arduino-Compatible Hardware*. <http://playground.arduino.cc/Main/SimilarBoards#goShie>. Version: n.a.
- [CreativeCommons nab] CREATIVECOMMONS ; CREATIVECOMMONS (Hrsg.): *Shields*. <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoShields>. Version: n.a.
- [Devices 1998] DEVICES, Analog: *AD8313 Datasheet*, 1998. (www.analog.com)
- [Devices 2004] DEVICES, Analog: *AD8318 Datasheet*, 2004. (www.analog.com)
- [Devices 2006] DEVICES, Analog: *AD8343*, 2006
- [eBay 2018] EBAY ; INC. eBay (Hrsg.): *AD8318 Vergleich*. https://www.ebay.com/sch/i.html?_from=R40&_trksid=p2380057.m570.l1313.TR12.TRC2.A0.H0.XAD8318.TRS0&_nkw=AD8318&_sacat=0. Version: 2018
- [Göbel 1998] GÖBEL, Rudolf: *Wissenspeicher Physik. RSR. (Lernmaterialien)*. Volk und Wissen, 1998 <https://www.amazon.com/Wissenspeicher-Physik-Lernmaterialien-Rudolf-G%C3%B6bel/dp/3060217173?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=3060217173>. – ISBN 3–06–021717–3
- [Henke 2015] HENKE, Heino: *Elektromagnetische Felder: Theorie und Anwendung (Springer-Lehrbuch) (German Edition)*. Springer Vieweg, 2015 <https://www.amazon.com/Elektromagnetische-Felder-Theorie-Anwendung-Springer-Lehrbuch/dp/3662469170?SubscriptionId=0JYN1NVW651KCA56C102&tag=techkie-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=3662469170>. – ISBN 978–3–662–46917–0
- [Hopf 2007] HOPF, M.: *Problemorientierte Schülerexperimente*. Logos Berlin, 2007

- [Integrated 2002] INTEGRATED, Maxim: *MAX2605-MAX2609 VCO*, 2002
- [krazatchu 2014] KRAZATCHU: *DC Servo Shield*. <http://krazatchu.ca/2014/01/20/dc-servo-2v68-nan0-und3rp4nts/>. Version: 2014
- [Lyons 1997] LYONS, R.G.: *Understanding digital signal processing*. 1997
- [Neumann und Hopf 2012] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. In: *Journal of Science Education and Technology* 21 (2012), feb, Nr. 6, S. 826–834. <http://dx.doi.org/10.1007/s10956-012-9369-9>. – DOI 10.1007/s10956–012–9369–9
- [Paolo 2013] PAOLO, Rocchi: *Logic of Analog and Digital Machines*. 2013
- [Play 2018] PLAY, Google ; INC., Google (Hrsg.): *APP: Network Cell Info*. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wilysis.cellinfo>. Version: 2018
- [Plotz 2016] PLOTZ, Thomas: *Basisideen zum Strahlungsunterricht*, 2016
- [Plotz 2017a] PLOTZ, Thomas: *Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung*. Logos, 2017
- [Plotz 2017b] PLOTZ, Thomas: *Students' conceptions of radiation and what to do about them*
- [Richard und Chi-Hsi 1938] RICHARD, Li ; CHI-HSI: *RF CIRCUIT DESIGN*. 1938
- [Rincke 2016] RINCKE, Karsten: Experimente in ihren Funktionen für das Lernen. In: *Diskussionspapier* (2016)
- [Rothammel 1988] ROTHAMMEL, Karl: *Antennenbuch*. 1988
- [Schmitt 2002] SCHMITT, Ron: *Electromagnetics Explained: A Handbook for Wireless/ RF, EMC, and High-Speed Electronics (EDN Series for Design Engineers)*. Newnes, 2002 <https://www.amazon.com/Electromagnetics-Explained-High-Speed-Electronics-Engineers/dp/0750674032?SubscriptionId=0JYN1NVW651KCA56C102&tag=techkie-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=0750674032>. – ISBN 0750674032
- [Schweber 2013a] SCHWEBER, Bill: Understanding the Mixer's Role in an RF-receiver design. In: *Electronic Products* (2013). <https://www.digikey.at/de/articles/techzone/2013/dec/understanding-the-mixers-role-in-an-rf-receiver-design>
- [Schweber 2013b] SCHWEBER, Bill: Verständnis der Grundlagen rauscharmer und Leistungsverstärker in Wireless-Designs. In: *Electronic Products* (2013). <https://www.digikey.at/de/articles/techzone/2013/oct/understanding-the-basics-of-low-noise-and-power-amplifiers-in-wireless-designs>
- [Scott Fitzgerald 2012] SCOTT FITZGERALD, Mirco Piccin Tom Igoe Arturo G. Michael Shiloh S. Michael Shiloh: *Arduino Projektbuch*. 2012
- [Spragg 1943] SPRAGG: The relative difficulty of morse code alphabet characters learned by the whole method. In: *Journal of Experimental Psychology* (1943)
- [Steier 2012] STEIER, Elektronikpraktikum Uni Wien P.: *LED-Datenblätter*, 2012

- [Svartholm 1968] SVARTHOLM, Nils: Elementary particle theory : relativistic groups and analyticity : proceedings of the eighth Nobel symposium. In: *proceedings of the eighth Nobel symposium*, 1968
- [Wagner et al. 2012] WAGNER, Paul ; REISCHL, Georg ; STEINER, Gerhard: *Einführung in die Physik*. facultas.wuv Universitäts, 2012 <https://www.amazon.com/Einf%C3%BChrung-in-die-Physik/dp/3708908244?SubscriptionId=0JYN1NVW651KCA56C102&tag=techkie-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=3708908244>. – ISBN 978-3-7089-0824-3
- [Wiesner et al. 2011] WIESNER, Hartmut ; SCHECKER, Horst ; HOPF, Martin: *Physikdidaktik kompakt*. 2011
- [Wilysis 2015] WILYSIS ; INC., Wilysis (Hrsg.): *App Homepage: "Network Cell Info"*. <http://wilysis.com/networkcellinfo>. Version: 2015-2018
- [WiLysis 2017] WILYSIS: *Network Cell Info Manual*, 2017
- [Zloklikovits 2018] ZLOKLIKOVITS, Sarah ; LEHRERINNENBILDUNG, AECC P. f. (Hrsg.): *Elektromagnetische Strahlung in der Sekundarstufe I unterrichten*. https://homepage.univie.ac.at/sarah.zloklikovits/Poster_SummerSchool.pdf. Version: 2018

Anhang

Programm Kopiervorlage

```
//PLEASE ASIGN VALUES HERE!!!
int num_of_LEDs = 10;
int upper_dB = -5; //upper limit for dB measurement -> all LEDs on
int lower_dB = -65; //lower limit for dB measurement -> no/1 LED on
int usedPin = 5; //used Analog Pin for measurement of logarithmic detection

//Variablen
float adc; //Analog Input on the Arduino
float vOUT; //calculated Volts from the ADC
float pIN = 0; //variable for measured power

//parameter - change upon settings
float intercept = 20; //in dBm
float slope = -0.025; //in -25 mV/dB or -0.025 V/dB

//calculation functions//
int ReadAveragePinADC(int usedPin, int num_of_measurements){
int temp = 0;
float sum = 0;
float average = 0;
for (int i = 0; i < num_of_measurements; i++){ //read measurements and
    calculate sum
temp = analogRead(usedPin);
sum += temp;
delay((int)300/num_of_measurements);
}
average = sum / num_of_measurements;
return average;
}

//LED strip - display functions//

int range = 0;
float intervall = 0;
int LEDs_on = 0;

void SetupLED(int num_of_LEDs){ //max LEDs: 13 on Arduino Uno
int i=0;
while(i < num_of_LEDs){
pinMode(i+2, OUTPUT);
i++;
}
for (int i = 0; i < num_of_LEDs; i++){ //activate all LEDs, to check
    function
digitalWrite(i+2, HIGH);
```

ANHANG

```
delay(200);
}
delay(1000);
for (int i = 0; i < num_of_LEDs; i++){ //deactivate all LEDs
digitalWrite(i+2, LOW);
}
range = upper_dB - lower_dB;
intervall = range / (num_of_LEDs - 1);
LEDs_on = 0;
}
```

```
void Display_LEDs(int value){
int iteration = 0;
while (value < upper_dB){
value += intervall;
iteration++;
}
LEDs_on = num_of_LEDs - iteration;
for (int i = 0; i<LEDs_on; i++){
digitalWrite(i+2, HIGH);
}
for (int i = LEDs_on; i < num_of_LEDs; i++){
digitalWrite(i+2, LOW);
}
}
```

```
//Main Programm//
```

```
void setup()
{
// put your setup code here, to run once:
```

```
Serial.begin(9600);
Serial.println("Link established \n");
Serial.print("reading");
Serial.print("\t");
Serial.print("Volt");
Serial.print("\t");
Serial.println("Power");
delay(500);
SetupLED(num_of_LEDs);
}
```

```
void loop()
{
// put your main code here, to run repeatedly:
digitalWrite(2, HIGH);
adc = ReadAveragePinADC(usedPin, 100);
// adc = analogRead(usedPin);
vOUT = float(adc)*5/1023; //v_out, convert adc to Volt
pIN = vOUT/slope + intercept; //Power in, in dBm
```

```
Serial.print(adc);  
Serial.print("\t");  
Serial.print(vOUT);  
Serial.print("\t");  
Serial.println((int)pIN); //print no komma  
Display_LEDs((int)pIN);  
// delay(100);  
}
```

Arbeitsblatt Kopiervorlage

Spektrum für elektromagnetische Strahlung

Energie \longrightarrow

30kHz - 300MHz	300MHz - 300GHz	300GHz - 385THz	384THz - 789THz	952THz - 30PHz	30PHz - 30EHZ	>30EHZ
Radio	Mikro- wellen	Infrarot	sicht- bares Licht	UV	Röntgen- strahlung	Gamma- strahlung
nicht-ionisierende Strahlung				ionisierende Strahlung		

Experiment - Strahlungsdämpfung verschiedener Materialien

Schalte dein Handy in den Flugmodus, aktiviere dann dein WLAN und verbinde dich mit dem Router. Benutze auf deinem Smartphone die *Network Cell Info App*, um die Empfangsstärke zu prüfen (in dBm). Die Einheit dBm ist logarithmisch, daher ist es schwer, die Werte zu vergleichen und sich dabei etwas vorstellen zu können. Wir berechnen daher die relative Leistung mit der Funktion:

$$\text{rel. Leistung} = 10^{\left(\frac{\text{Empfangsstärke}}{10}\right)}$$

Da Router in möglichst viele Richtungen abstrahlen, sind etwa -50dBm im Normalzustand durchaus zu erwarten.

Platziere dein Smartphone in einem Gefäß und verschließe es. Verwende ggf. die Screen-Stream App, um die Empfangsstärke zu messen. Beobachte den Wert etwa 15 Sekunden. Falls der Wert sehr stark schwankt (mehr als $\pm 5\text{dBm}$), vermerke das in deiner Tabelle. Rechne den Wert in relative Leistung um.

In Anbetracht der Tatsache, dass der *Ausgangszustand* der Grundwert ist, bestimme den Prozentsatz im Vergleich zu den relativen Leistungen der anderen Materialien. Notiere den Prozentsatz außerdem an der Tafel.

Anmerkung: Beachte dass eine Dämpfung eine Abnahme ist. Beim Prozentsatz geht es darum, wie viel die Empfangsleistung *sinkt!*

ANHANG

Experiment-Aufzeichnungen

Entfernung zum Router:

Verwendetes Handy:

Erwartung:

Ergänze in der Tabelle *vor dem Experimentieren*, wie stark das Material Strahlung absorbieren wird.

(totale Absorption / starke Dämpfung / teilweise Dämpfung / keine Dämpfung)

Material	Einschätzung
Glas	
Kunststoff / Gummi	
Metalltopf	
Mikrowelle	
Wasser	

Experiment:

Material	Empfangsstärke (dBm)	relative Leistung	Dämpfung durch Stoff (%)
Ausgangszustand			
Glas			
Kunststoff / Gummi			
Metalltopf			
Mikrowelle			
Wasser			

Denk nach:

Warum muss so umständlich die Dämpfung in Prozent berechnet werden? Warum werden nicht von allen Gruppen einfach die Empfangsstärken notiert?

Eigenexperiment - exemplarische Lösungen

Entfernung zum Router: 2,5m

Verwendetes Handy: Elephone 3D

Material	Empfangsstärke (dBm)	relative Leistung	Dämpfung durch Stoff (%)
Ausgangszustand	-48 dBm	0,00001584893	0%
Glas	-49 dBm (zwischen -49 und -48)	0,00001258925	< 20% (Schwankung)
Kunststoff / Gummi	-50 dBm	0,00001	37%
Metalltopf	-70 dBm	0,0000001	99,3%
Mikrowelle	Verbindungs- abbruch	0	100%
Wasser + Plastikbehälter	-80 dBm	0,00000001	99,9%

Zusammenfassung

Das Thema dieser Arbeit ist das Bauen eines Strahlungsnachweisgeräts für Mikrowellen. Hierbei geht es gezielt um den Frequenzbereich, den Handys verwenden, also zwischen 900MHz und 2400MHz. Es wurde erfolgreich ein entsprechendes Nachweisgerät aus einem Arduino, einem logarithmischen Detektor und weiteren kleineren Bauteilen (LEDs, Widerstände etc.) konstruiert. Es muss allerdings noch an der Haltbarkeit des Geräts gearbeitet werden.

Die Modularität des Geräts erlaubt es durch aufschrauben verschiedener Antennen unterschiedliche Frequenzbereiche zu detektieren. Es wurde daher die Grundlagen der Antennentechnik dargelegt und eine Bauanleitung geschrieben, um das Bemessen und Konstruieren eigener Antennen zu ermöglichen.

Der Programmcode für den Arduino ist variabel gehalten, sodass man je nach Pinbelegung des Prototypen alle Pins verändern kann, ohne das Programm umschreiben zu müssen, gleichzeitig finden sich aber auch alle grundlegenden Informationen über die verwendete Programmiersprache in der Arbeit wieder.

Die Arbeit beschäftigt sich außerdem mit einer selbst geplanten Unterrichtseinheit, die dieses Gerät verwenden soll. Eine entsprechende Stundenplanung wurde ausgearbeitet. In den Unterrichtseinheiten, die in Schulen durchgeführt wurden, wurde das Nachweisgerät durch eine App substituiert, die für alle Android Smartphones frei erhältlich ist. Auch diese Stundenplanung findet sich in der Arbeit und wurde reflektiert. Die Durchführung fand mit zwei achten Schulstufen (Sekundarstufe 4) und zwei elften Schulstufen (Sekundarstufe 7) statt.

Die erstellten Arbeitsblätter sind im Anhang als Kopiervorlage zu finden.

Abstract

The objective of the thesis was to build a detection device for elektromagnetic waves ranging from 900MHz to 2400MHz. The range fits the emitting profile of smartphones. Such a device was successfully built, using an arduino, a logarithmic detector and smaller components (LEDs, resistors etc.). However there is still room for improvement in terms of durability.

The device is versatile and can may be adapted to many different frequencies, by using varying antennas. To support the reader in exploring different antenna lengths, instruciones are given on how to construct antennas for desired frequencies.

The arduino is running an a programm, developed by the author, which is designed to fit every prototype. It does so, by setting variables for every pin, so the pin assignment of replicated prototypes does not have to be exactly the ones given in this thesis and can be altered easily at the very top of the programm code. For further interested readers the author provided sufficent basics of programming to alter or completely rewrite the code.

The thesis contains plans for teaching units as well. One unit was developed specifcly intending to use the built device, another unit employs the idea of using an app, available for android smartphones for free. The later unit was conducted in two eighth forms (sec 4) and two eleventh forms (sec 7) and reflected upon.

Worksheets can be found in the appendix of the thesis.