



FH KIEL

ULTRASCHALL-TEILENTLADUNGS ORTUNG

Name: Tobias Baumgarten | Hendrik Evers | Marvin Schulz

Matrikelnr.: 916930 | 916903 | 917011

Fachbereich: Informations- und Elektrotechnik

Studiengang: Elektrotechnik - Energietechnik

Leitender Projekt Professor: Prof. Dr.-Ing. Rethmeier

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Was sind Teilentladungen?	3
Innere Teilentladungen	3
Äußere Teilentladungen	4
Oberflächenentladungen, Gleitentladungen	4
Produzierbare Teilentladungen	5
Messen von Teilentladungen	6
Ziele	7
Verwendetes Material	8
Sensoren	8
Roboter	9
Durchführung	10
Elektromagnetische Feldkopplung	10
Messungen an unterschiedlichen TE's, mit verschiedenen Sensoren	11
Messaufbau	11
Aufbau des OMICRON Messsystems	12
Messprogrammbeschreibung:	14
Messdurchführung	15
Messprotokoll	16
Messauswertung	23
Fehlgeschlagene Messungen	24
Verstärkerschaltungen	24
Operationsverstärker - Schaltung	24
Ultraschall-NF-Konverter von ELV (Fledermausdetektor)	25
Bausatz „Experimente mit Ultraschall“ von FRANZIS	26
Roboter	28
Algorithmus	28
Roboterhardware	29

Robotersoftware	32
Zusammenführung.....	40
Fazit.....	43
Quellenverzeichnis	45

Zeitraum des Projektes:

27.08-06.01.2013

Versuchslabor:

FH Kiel, Gebäude 12, Raum 1.20

Einleitung

In Hochspannungsanlagen treten häufig Teilentladungen auf. Gründe dafür können defekte Isolationen, Kanten oder vergessenes Werkzeug sein, an denen es zu erhöhten Feldstärken kommt. Mit der heutigen Messtechnik ist es kein Problem festzustellen, ob eine Teilentladung in der Anlage existiert, jedoch ist es ein teures Unterfangen diese Fehlstellen genau zu lokalisieren. Es gibt zum Beispiel die Möglichkeit, UV-Kameras für mehrere tausend Euro einzusetzen, die ein visuelles Bild der Anlage darstellen und Teilentladungen aufgrund ihrer abgesandten UV-Strahlung dort gut sichtbar machen. Des Weiteren gibt es Ultraschallgeräten, mit denen es möglich ist, via Kopfhörer die Fehlstelle zu lokalisieren. Dieses Verfahren ist zwar deutlich kostenfreundlicher, doch muss sich dafür der Techniker in die Anlage bewegen. Dies ist aufgrund der Hochspannung mit einigen Risiken verbunden und vielerorts auch nicht möglich. Um die Sicherheit des Technikers zu gewährleisten, könnte für diesen Zweck ein Roboter eingesetzt werden, der autonom die Anlage nach den Fehlstellen absucht und diese lokalisiert.

Die Ortung von Fehlstellen ohne Lebensgefährdung ist der Hintergrund dieses Projektes. Mit Hilfe eines Teams aus drei Studenten und einem unterstützenden Professor soll mit diversen Ultraschallbausätzen und dem Lego® Mindstorms NXT Roboter nach einer Möglichkeit gesucht werden, ohne Lebensgefahr Teilentladungen zu orten.

Was sind Teilentladungen?

Teilentladungen, oder auch TE genannt, bedeuten, dass die elektrische Feldstärke für das jeweilige Dielektrikum überschritten wird. Es kommt also zu einer lokalen Entladung aufgrund der Feldstärkeüberhöhung. Dabei wird die Isolationsstrecke nur teilweise überbrückt. Eine Teilentladung kann mit und ohne Kontakt zu den Elektroden auftreten.

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Teilentladungen, die hier aufgelistet werden:

Quelle: 1

Innere Teilentladungen

Als innere Teilentladungen werden in der Regel alle äußerlich nicht sichtbaren Entladungen innerhalb eines Isolierstoffes (flüssig und fest) bezeichnet. Innere Teilentladungen finden in Fehlstellen innerhalb fester oder flüssiger Isolationen statt. Dabei kann es sich z. B. um ein geschlossenes Gasbläschen handeln. Aufgrund von Feldverdrängungseffekten und geringeren elektrischen Festigkeiten der Fehlstellen kommt es zu Entladungen, da Gase zum

Beispiel ein geringeres ϵ_r haben als feste/flüssige Isolierstoffe und das elektrische Feld somit in das Gasbläschen verdrängt wird. Die Feldstärke steigt an und es kommt folglich zur Entladung in diesem Gasraum.

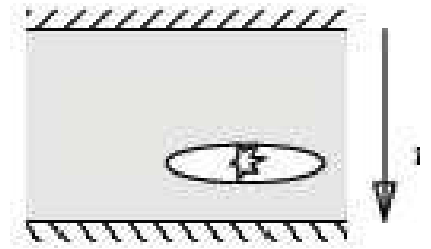


Abbildung 1: Isolierstoff mit Hohlraum

Äußere Teilentladungen

Äußere Teilentladungen treten bei stark inhomogenen Feldern (z. B. an Spitzen oder scharfen Kanten) in gasisolierter Umgebung auf. Durch die inhomogenen Felder kommt es zu lokalen Feldstärkeüberhöhungen, die beim Erreichen einer Zündspannung eine lokale Entladung zur Folge haben. Diese Entladungen werden auch Korona genannt.

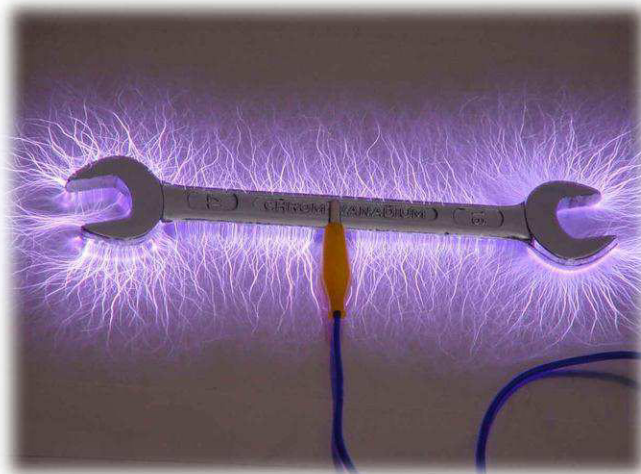


Abbildung 2: Maulschlüssel an hoher Spannung mit Korona

Das Bild zeigt deutlich, dass an den Kanten des Maulschlüssels das elektrische Feld besonders stark ist.

Das Bild zeigt deutlich, dass an den Kanten des Maulschlüssels das elektrische Feld besonders stark ist.

Quelle: 1

Oberflächenentladungen, Gleitentladungen

Oberflächenentladungen bzw. Gleitentladungen gehören auch zu den äußeren TE. Sie treten

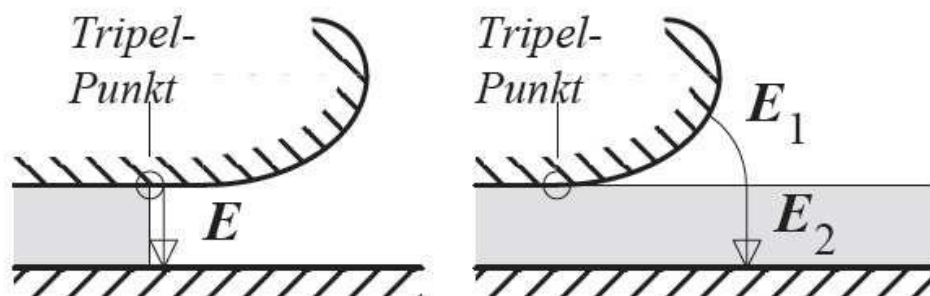


Abbildung 3: Grenzschichten

an Grenzschichten von Isolierstoffen auf. Die Punkte, an denen drei Grenzschichten aufeinander treffen werden auch Tripelpunkte genannt, da dort drei verschiedene Materialien zusammen geführt werden.

Durch Feldverdrängung entsteht dabei in dem Medium mit dem geringeren ϵ_r (wie z. B. Luft) ein erhöhtes elektrisches Feld, welches zu Teilentladungen führen kann. Ist die Spannung wesentlich höher, so kommt es zu Gleitentladungen entlang der Isolatoroberfläche. Im Isolator findet dabei kein Überschlag statt, da seine elektrische Festigkeit nicht überschritten wird.

Quelle: 1, 2

Produzierbare Teilentladungen

In dem zur Verfügung stehenden Hochspannungslabor kann jede Art der Entladung produziert werden.

Eine einfache Spitze-Platte Anordnung kann eine äußere TE leicht erzeugen. Bei sehr hohen Spannungen werden dabei die Korona Entladungen sichtbar.

Eine innere Teilentladung kann hergestellt werden, indem man einen Isolierstoff zwischen zwei Elektroden einbringt. Dabei sollte die gesamte Anordnung in einem Öl eingebracht werden, das eine höhere Festigkeit als der Isolator besitzt, da sonst an der Oberfläche des Isolators Gleitentladungen auftreten könnten. Die Teilentladung ist für dieses Projekt unbrauchbar, da bei dieser wenig bis gar kein Ultraschall zustande kommt, bzw. ausgesendet wird oder von dem umgebenden Öl so stark gedämpft wird, dass die ausgesendeten Schallwellen nicht mehr detektiert werden können.

Oberflächenentladungen können erzeugt werden, indem man einen Isolierstoff zwischen einer Elektrode und einer Platte einbringt. Entlang der Oberfläche können nun Oberflächenentladungen/Gleitentladungen auftreten. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Koaxialkabel unter Hochspannung zu setzen (siehe Abbildung 3). Dort kommt es an den abgesetzten Enden des Kabels zu Gleitentladungen.

Messen von Teilentladungen

Die Schwierigkeit bei Teilentladungen liegt darin, diese zu orten.

Teilentladungen treten schon viel früher auf als man sie mit Hilfe der menschlichen Organe hören oder sehen kann. Verwendet man hochpräzise Messgeräte und misst die Anstiegszeiten der Entladungen aus, so stellt man fest, dass die ersten eintretenden TE außerhalb des menschlichen Seh- und Hörbereiches liegen. Die elektrischen Impulse liegen bei Frequenzen bis zu einigen MHz, die Lichtwellenanteile im ultravioletten Bereich. Erst wenn die Feldstärken weiter erhöht werden und damit auch die Energie steigt, treten niederfrequenterer Anteile auf. Diese können dann auch vom Menschen ohne technische Hilfsmittel wahrgenommen werden.

Bei der inneren TE ist es kaum möglich, von außen etwas über die Teilentladung zu sagen, bzw. diese wahrzunehmen. Man müsste schon den Isolierstoff öffnen um die Ursache und ihre Folgen zu erkennen.

Es ist jedoch möglich mit der Messung nach IEC 60270, bei der man die Ladung misst, die in einem Prüfling bei einer Entladung umgesetzt wird, eine Aussage über die Intensität und Art der Entladung zu machen. Hierzu mehr unter Aufbau des OMICRON Messsystems. Siehe dazu *Seite 12*.

Für andere Teilentladungen, wie z. B. für die äußere TE, kann man eine UV Kamera verwenden, um die TE zu orten, da diese Art der Teilentladungen ultraviolettes Licht ausstrahlt. Diese Kameras sind jedoch sehr teuer. Eine weitere Möglichkeit ist die Ortung der TE via Ultraschall, wie es in diesem Projekt geplant ist. Der physikalisch definierte Ultraschallbereich beginnt ab 16 kHz.

Um die TE schon frühzeitig zu erkennen, sollte im Ultraschallbereich zur Ortung mit Frequenzen um die 40 kHz gearbeitet werden. In diesem Frequenzbereich treten bei eintretenden TE die größten Amplituden auf, so dass diese gut akustisch aufgenommen und verarbeitet werden können.

In der Praxis werden Richtmikrofone für den Ultraschallbereich eingesetzt, um in einer großen Halle die TE an einem defekten Kabel zu orten.

In diesem Projekt wird ein Roboter konzipiert, der die Ortung automatisch durchführt. In der Praxis könnte dieser in einem engen Kabelschacht, der für Menschen zu eng und gefährlich wäre, eingesetzt werden, oder auf einer Hochspannungsleitung entlang fahren und dort die Teilentladung ausfindig machen.

Quelle: 3, 4

Ziele

Ein Ziel ist es, einen geeigneten Ultraschallsensor zu finden, mit dem der Pegel an verschiedenen Teilentladungen mit verschiedenen Sensoren gemessen und aufgenommen werden kann. Dabei kann auch festgestellt werden, in welchem Frequenzbereich die Teilentladungen liegen.

Um mit einem brauchbaren Pegel arbeiten zu können, gilt ein weiteres Ziel der Verstärkerschaltung, die mit dem passenden Ultraschallsensor ausgestattet werden soll. Sie soll das akustische Signal, welches von der Teilentladung ausgesendet wird, über den Ultraschallsensor empfangen und auf einen brauchbaren und konstanten Pegel verstärken.

Da die Möglichkeit besteht, den Roboter mit dem Lego® Mindstorms Kit zu bauen, ist ein Ziel die Konstruktion eines Roboters, der sich durch einen Raum bewegen kann und dort 360° horizontal und ca. 90° vertikal den Raum nach Teilentladungen absuchen kann.

Ein weiteres Ziel ist es, den Roboter mit der Verstärkerschaltung zu verbinden. Da die Lego® Mindstorms CPU mehrere Eingänge für verschiedene Sensoren (Taster, Licht, Akustik) hat, ergeben sich verschiedene Möglichkeiten, die Verstärkerschaltung mit der CPU zu verbinden.

Das nächste Ziel besteht darin ein Programm für den Roboter zu erstellen. Dieses soll die Bewegung des Roboters steuern und gleichzeitig das Auftreten eines Signalpegels überwachen. Wenn ein Signal gefunden wird soll das Programm den Roboter zielsicher zur Quelle bewegen oder auf sie zeigen.

Als Abschluss soll der fertige Roboter erfolgreich eine künstlich erzeugte Teilentladung orten. Dabei soll dieser eigenständig einen Raum abfahren und zielsicher die Teilentladung via Ultraschall lokalisieren.

Verwendetes Material

Sensoren

Conrad Sensor

Der Conrad Sensor ist ein recht günstiger Ultraschallsensor, der bereits für 10€ auf der Conrad Internetseite zu erstehen ist. Er ist für den Frequenzbereich bei 40kHz $\pm 1\%$ ausgelegt und ist Spritzwasser geschützt.

Hier das Datenblatt:



Waterproof type ultrasonic sensor

EKULIT

A-14P20 (Artikel-Nr. 182244)

SPECIFICATIONS:

Item	Unit	Standard	Test condition: T=25±5°C
Function		Transmitting and receiving	
Terminal		Pin	
Housing Material		Aluminium	
Center frequency	KHz	40±1.0	
Transmitting S.P.L.	dB	>100	At 30cm/10Vrms Sine Wave 0dB=0.0002μ bar
Receiving Sensitive	dB	>-74	At 1V/μ bar
Directivity of X-axis	Deg	120±15	At "-6 dB" attenuation
Directivity of Y-axis	Deg	60±10	At "-6 dB" attenuation
Capacitance	PF	1600±20%	At 1KHz
Allowable Input Voltage (Vp-P)	V	140	At 40KHz Pulse width 0.4ms interval 10ms
Operating temperature	°C	-40~+80	
Storage temperature	°C	-40~+85	

Abbildung 4: Conrad A-14P20 Datenblatt

Bausatz Sensor



Von dem Bausatz Sensor steht uns leider kein Datenblatt zur Verfügung. Bei dem Bausatz handelt es sich um „Experimente mit Ultraschall“ vom FRANZIS Verlag.

Abbildung 5: A-14P20
Ultraschallsensor

Fledermaus Sensor



Abbildung 6: Cover des
ELV Bausatzes

Dieser Sensor aus dem Bausatz „Ultraschall-NF-Konverter“ von ELV benötigt eine Spannungsversorgung. Durch diesen Umstand ist dieser Sensor für die direkte Testmessung unbrauchbar. Für weitere Tests soll der Bausatz vollständig aufgebaut und anschließend getestet werden.

Quelle: 5

Roboter

Da es in dieser Projektarbeit hauptsächlich um die Ortung einer Ultraschallquelle und nicht primär um die Entwicklung eines Roboters geht, fiel die Entscheidung der Roboterplattform auf das Lego® Mindstorms System mit dem Roboterbausatz NXT.

Die Lego® Mindstorms Plattform bringt das von Lego® bekannte Stecksystem der Bausteine mit, so dass der Roboteraufbau ohne Schrauben oder Klebeverbindungen möglich ist. Außerdem können alle Bausteine aus bekannten Lego® Systemen benutzt werden.

Der NXT Bausatz hat mehrere Sensoren inklusive. Drei Servomotoren, zwei Taster, ein Farbsensor und ein Ultraschallsensor sowie das Herzstück des NXT ein 32-Bit Mikroprozessor mit vier Eingängen und drei Ausgängen. Bei dem Ultraschallsensor handelt es sich um einen Zeitdifferenzsensor, der gepulste Ultraschallsignale aussendet und an einem Empfänger die Zeitdifferenz bis zur Schallaufnahme misst. Dieser Sensor ist für Entfernungsmessungen zu Umgebungsobjekten vorgesehen.

Mitgeliefert werden mehrere Bauanleitungen für verschiedenste Roboter und Anwendungsbereiche, deren Nutzen es für uns zu erörtern gilt.

Auch der Kauf von zusätzlichen Sensoren wie Lichtsensoren, Kompassensoren oder Beschleunigungssensoren wäre denkbar.

Der Bau eigener Sensoren sollte auch möglich sein. Auf diesem Bereich gibt es jedoch sehr wenig Informationsmaterial, da LEGO den NXT als „closed system“ vertreibt und der Einfachheit halber oder zur Fehlervermeidung nur fertige Sensoren verkauft werden.

Die Programmierung des NXT Bausatzes erfolgt über eine grafische, Drag&Drop fähige Oberfläche mit verschiedenen Blockbausteinen. Es können Töne wiedergegeben werden, Motorbewegungen, Displayausgaben, Schleifen, Unterscheidungen, Datentypwandlungen, Rechnungen, oder die Ansteuerung der verschiedenen Sensoren realisiert werden. Weiterhin können sogenannte „Eigene Blöcke“ erstellt werden, die ganze Programmteile beinhalten können und ähnlich sind zu „Funktionen“ aus Programmiersprachen wie C oder Java.

Durchführung

Elektromagnetische Feldkopplung

Die elektromagnetische Feldkopplung oder auch E-Feld Kopplung genannt, beschreibt eine induktive bzw. kapazitive Kopplung.

Bei der induktiven Kopplung ist ein geschlossener Wechselstromkreis mit einem magnetischen Fluss von Nöten. Dieser Stromkreis wird in der Literatur oft als Störquelle bezeichnet. Diese Störquelle erzeugt ein sich änderndes magnetisches Feld. Ein weiterer Stromkreis, der sich in dem Feld der Störquelle befindetet, nennt sich Störsenke. Die Störsenke wird von dem Feld der Störquelle durchsetzt und induziert eine Spannung U_{ind} . Dies kann einerseits gewollt sein, wie zum Beispiel bei Motoren, Transformatoren und Generatoren, andererseits kann es aber auch ungewollt sein, wie zum Beispiel bei Messungen an Hochspannungen und defekten Geräten nach Blitzeinschlägen.

Die magnetische Induktion B ist proportional zu dem Strom I , und der Frequenz f in der Störquelle und invers zu dem Abstand der Quelle zu der Störsenke.

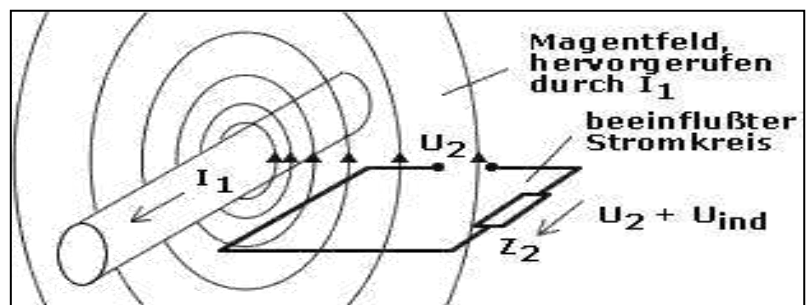


Abbildung 7: Beispielhaftes Bild für induktive Kopplung

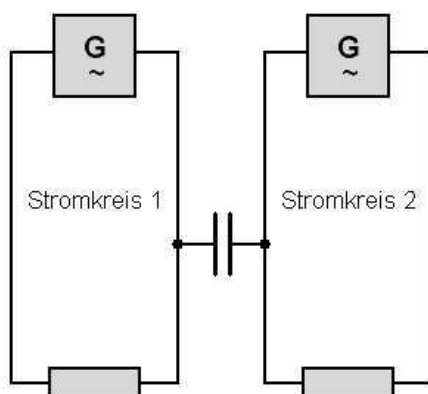


Abbildung 8: Ersatzschaltbild für kapazitive Kopplung

Die kapazitive Kopplung tritt immer dann auf wenn zwischen zwei Wechselstromkreisen eine Potentialdifferenz besteht. Es baut sich ein elektrisches Feld zwischen diesen beiden Kreisen auf, welches zu einem Verschiebungsstrom führen kann.

Quelle: 6, 7, 8

Messungen an unterschiedlichen TE's, mit verschiedenen Sensoren

Messaufbau

Korona Messung:

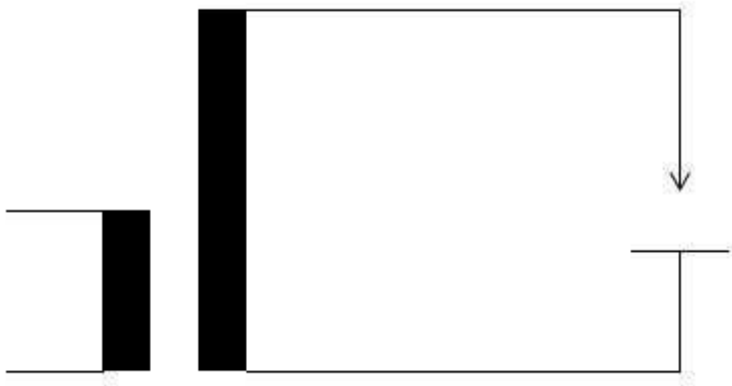


Abbildung 9: Spitze-Platte anordnung

Es wird eine Spitze-Platte Anordnung an eine, an einem Hochspannungstransformator angeschlossene Schaltung aufgebaut.

Gleitentladungsmessung:

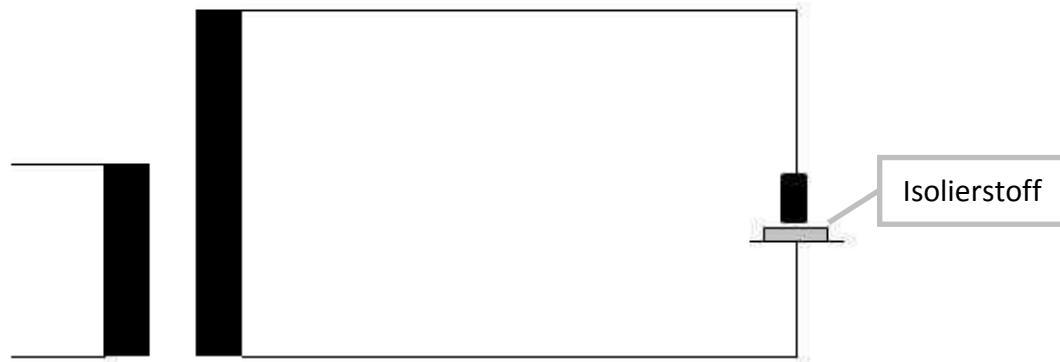


Abbildung 10: Gleitentladungs Messaufbau

Diese Schaltung besteht aus einem Hochspannungstransformator und aus zwei Elektrolyten, die durch eine Isolierung getrennt sind. Bei diesem Aufbau wird durch Anlegen einer ausreichend hohen Spannung eine Gleitendendladung hervorgerufen.

Beide Schaltungen werden mit zwei OMICRON MPD 600 Messgerät verbunden. Das erste Messgerät für den Pegelmessung am Sensor und das zweite parallel zu dem Gesamtaufbau.

Aufbau des OMICRON Messsystems:

Die MPD 600 Messeinheiten von OMICRON werden über Akkumulatoren versorgt. Das erste MPD 600 ist für die direkte Messung der Fehlstelle verantwortlich. Der Sensor ist mit dem zweiten MPD 600 Messgerät verbunden und dieses liefert den entsprechenden Pegel des akustischen Signals. Beide Messgeräte sind über Lichtwellenleiter(LWL) mit dem MCU 502 (LWL/USB Wandler) verbunden. Das zweite MI 600 ist aber, wie in der Abbildung zu erkennen, als Slave eingesetzt. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Messergebnisse. Die MCU 502 liefert alle Informationen via USB Leitung zu dem PC, an dem mit Hilfe des Messprogramms alle Daten ausgewertet werden können.

Quelle: 9

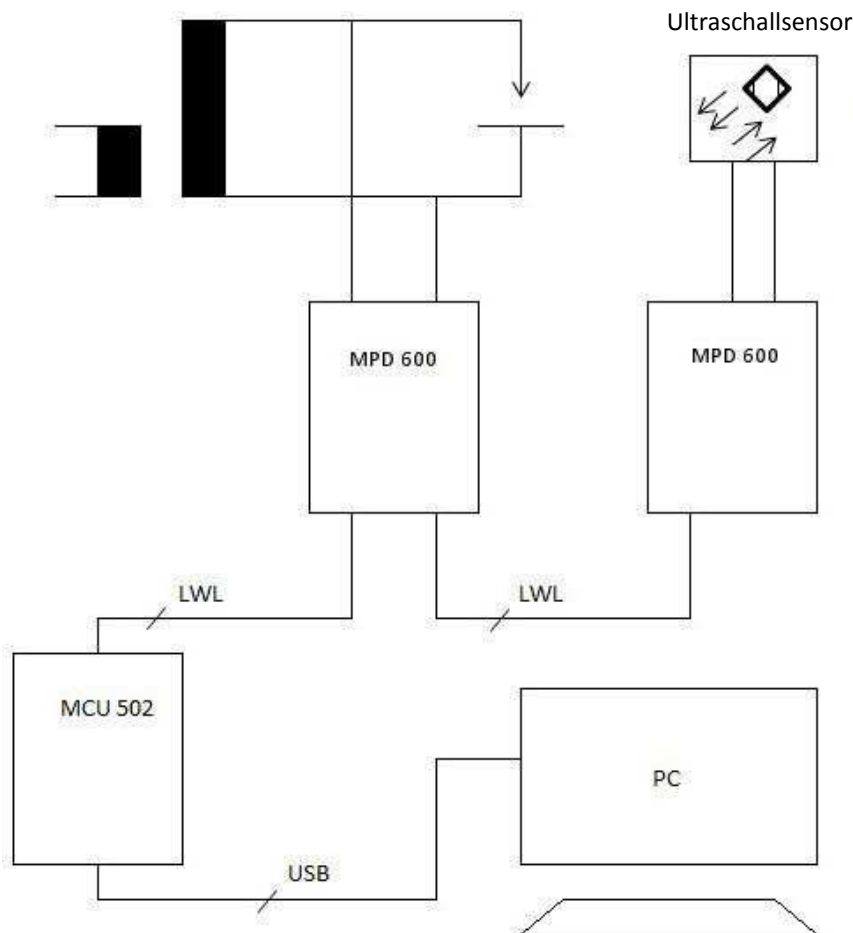


Abbildung 11: Messaufbau mit Ultraschallsensor, OMICRON Messgeräten und Computer

Bei den Messungen der Sensoren mit dem MPD 600 nach der IEC 60270 wird die in der Teilentladung C_a umgesetzte Energie gemessen. Dabei wird nicht die eigentliche Energie gemessen, sondern die nachfließende Ladung (Scheinbare Ladung) aus einem Koppelkondensator C_K , der parallel zur Teilentladung angeschlossen ist. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Kondensator C_K wesentlich größer ist als die Prüfkapazität C_a . Die Messimpedanz Z_{MI} respektive Auskoppelvierpol CD , erzeugt dabei, durch die nachfließende Ladung, einen messbaren Spannungsabfall, der später in dem TE Messgerät MPD verarbeitet wird. Es können an die Geräte von OMICRON die Ultraschallsensoren angeschlossen werden. Somit ist eine sichere und aussagekräftige Messung umsetzbar.

Quelle: 2, 9

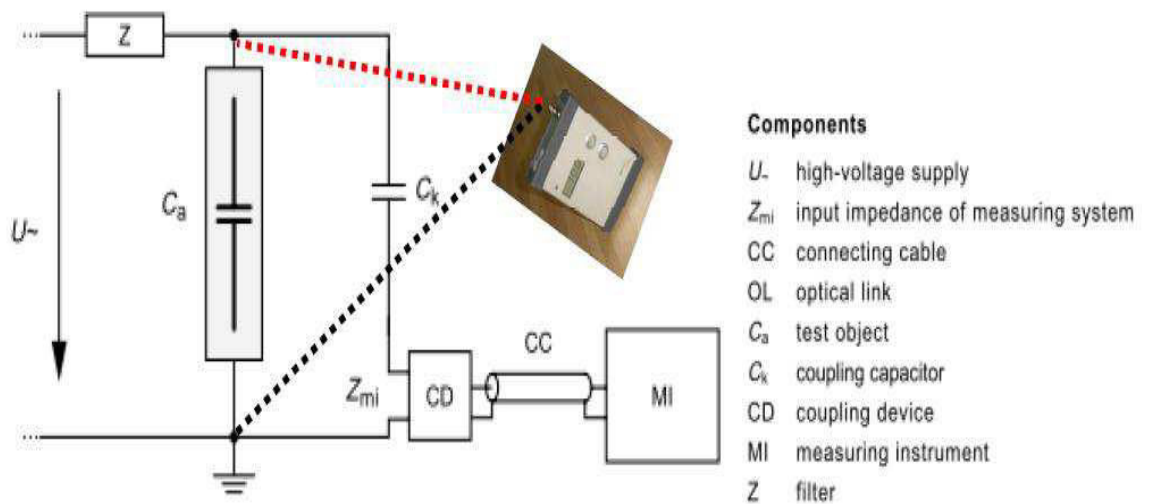


Abbildung 12: Messaufbau für Teilentladungen

Messprogrammbeschreibung:

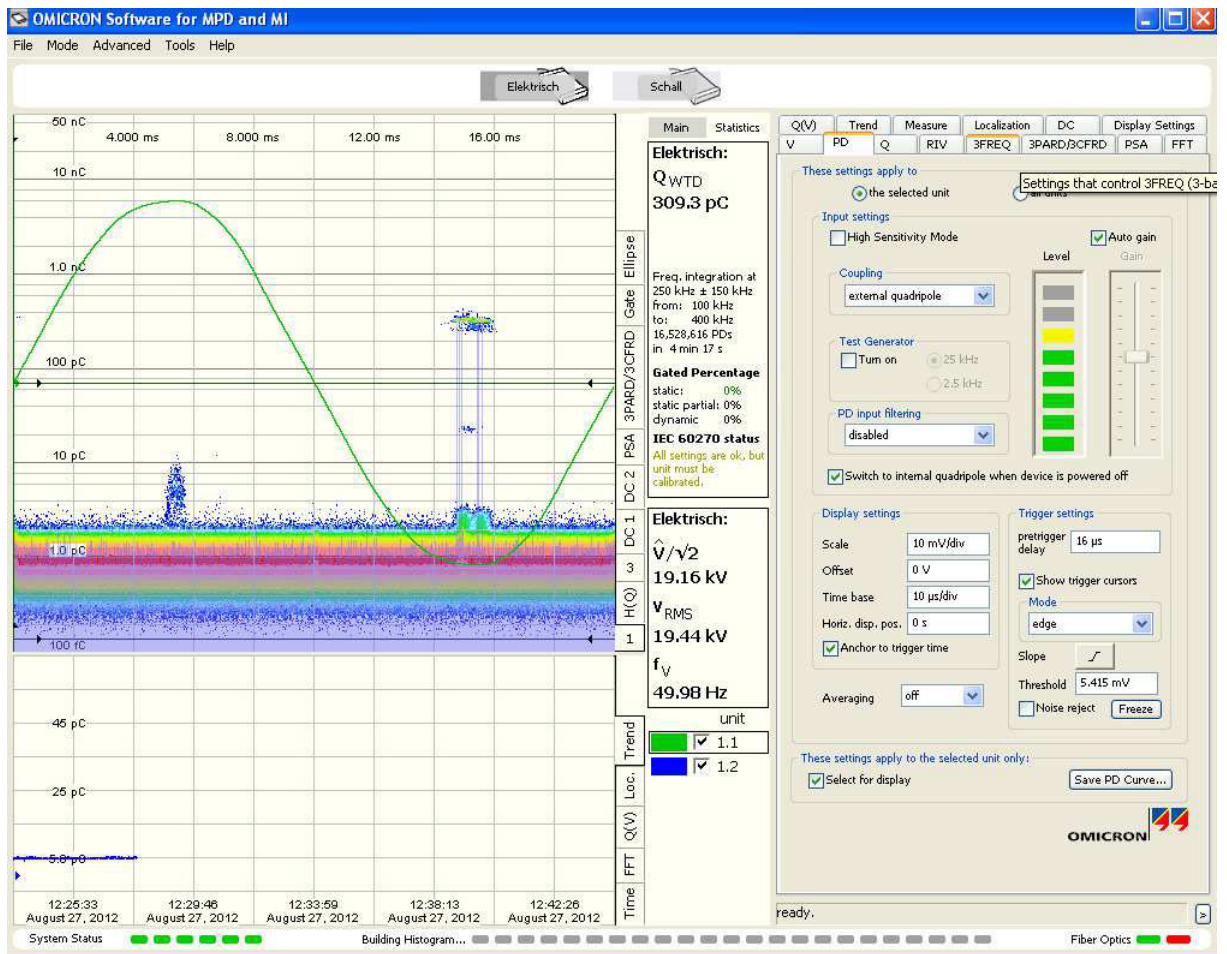


Abbildung 13: OMICRON MPD Messprogramm

Bei dem Programm von OMICRON, welches mit der oben genannten Hardware verbunden ist, können sehr viele Einstellungen und grafische Darstellungen gewählt werden. Auf der linken Seite des Programms ist zunächst einmal die Sinuswelle der Netzfrequenz zu sehen (grüne Welle). Der rote Balken zeigt uns das Grundrauschen an. Jeder einzelne Punkt repräsentiert dabei eine gemessene Ladung. Je häufiger sie in einem Bereich auftritt, desto mehr färbt sich das Bild von blau in Richtung rot ein. Es ist zu sehen, dass bei 270° der Sinuswelle eine Veränderung auftritt. Es hebt sich ein großer Punkt vom Grundrauschen ab. Dies repräsentiert eine Teilentladung. Da sie bei 270° auftritt, handelt es sich hierbei um eine Korona Entladung (Äußere Entladung). Diese liegt in etwa bei 309,3 pC, wie es in der Mitte des Bildes unter Q_{WTD} zu sehen ist. Des Weiteren ist in der Mitte zu sehen, in welchem Frequenzbereich, bei welcher Spannung und bei welcher Netzfrequenz gemessen wird. In diesem Fall bei 250kHz \pm 150kHz, einer Spannung V_{RMS} von 19,44 kV und bei einer Netzfrequenz von 50 Hz. Im rechten Teil des Programms können Einstellungen zu den Messungen vorgenommen werden. Beispielsweise in welchem Frequenzbereich gemessen, oder ob eine Phasenverschiebung vorgenommen werden soll.

Messdurchführung

Zwei verschiedene Sensortypen werden in verschiedensten Messaufbauten geprüft.

Diese sind:

- I. Sensoren in einem Papiertrichter , einem festen Abstand von 55cm, mit variierender Messfrequenz, bei fester Bandbreite und einer Korona Entladung.
- II. Sensoren im Ende eines Papprohres, das in einem konstanten Abstand auf eine Korona gerichtet wird.
- III. Sensoren in einem festen Abstand von 55cm, mit variierender Messfrequenz, bei fester Bandbreite und bei einer Gleitentladung
- IV. Sensoren in einem Papiertrichter , einem festen Abstand von 55cm, mit variierender Messfrequenz, bei fester Bandbreite und einer Gleitentladung.
- V. Sensoren im Ende eines Papprohres, das in einem konstanten Abstand auf eine Gleitentladung gerichtet wurde.
- VI. Bausatzsensor, in einem Papiertrichter, in einem variablen Abstand zu einer Korona Entladung.
- VII. Bausatzsensor in einem Papiertrichter auf eine Kabelteilentladung gerichtet.

Das verwendete Messgerät ist hier das OMICRON MPD 600. Es liefert die Messdaten direkt zu einem PC, wo diese ausgewertet werden können. Es zeigt den Pegelstand der elektrischen Ladungen und den Sinus der Spannung an.

Es muss bei den Messungen darauf geachtet werden, dass ...

- a) sich der zu messende Pegel vom Störpegel ausreichend unterscheidet.
- b) sich bei der Messung keine allzu große E-Kopplung einstellt und
- c) die Messung möglichst reproduzierbar gestaltet ist.

Messprotokoll

- I. Sensoren in einem Papiertrichter , einem festen Abstand von 55cm, mit variierender Messfrequenz, bei fester Bandbreite und einer Korona.

Der verwendete Trichter ist schlicht konstruiert. Er soll lediglich das Signal bündeln. Es wird versucht den Trichter rekonstruierbar aufzubauen.

Tabelle 1

Frequenz[kHz]	Pegel [pC]	
	Conrad Sensor	Bausatz Sensor
30	0,3	0,38
32	0,42	0,84
34	0,6	1,8
36	0,75	2,9
38	0,84	4,5
40	0,9	5,6
42	0,8	5,4
44	0,62	4,5
46	0,42	3,7
48	0,32	2,8
50	0,27	2

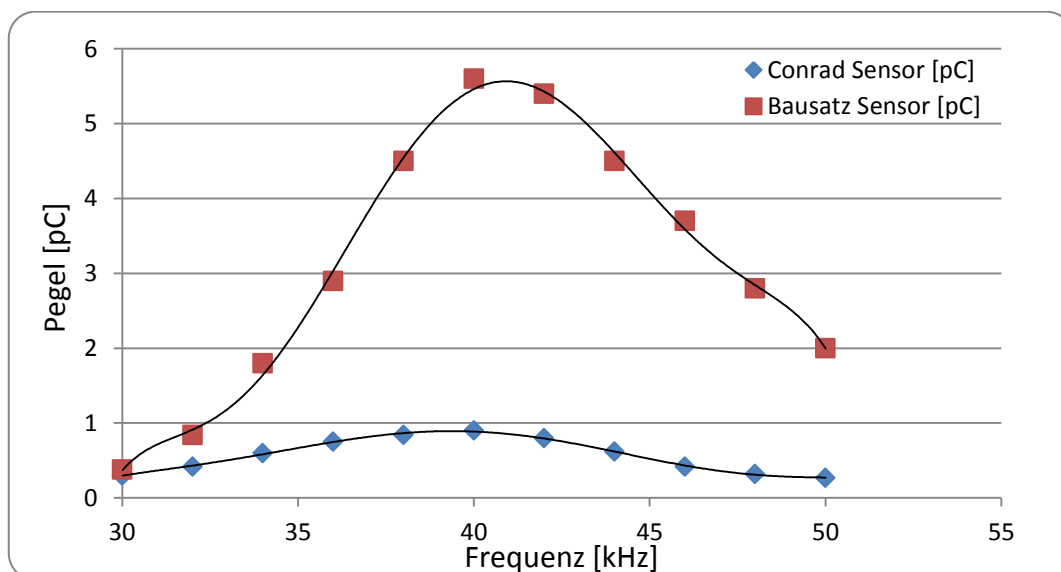


Diagramm 1: Pegelmessung mit Sensor in einem Papiertrichter

- II. Sensoren im Ende eines Papprohres, das in einem konstanten Abstand auf eine Korona gerichtet wird

Die Sensoren werden in einem Papprohr, das eine Länge von 60cm und einen Durchmesser von 10,5cm hat mittig platziert. Das Rohrende weist einen Abstand von 5cm zu der Korona Entladung auf.

Tabelle 2

Frequenz [kHz]	Pegel [pC]	
	Conrad Sensor	Bausatz Sensor
30	0,79	2,1
32	1,32	4,1
34	1,9	9,6
36	2,7	13
38	3,22	27
40	3,5	32,5
42	3,1	32
44	2,4	20
46	1,84	12
48	1,4	7,5
50	1,07	4,42

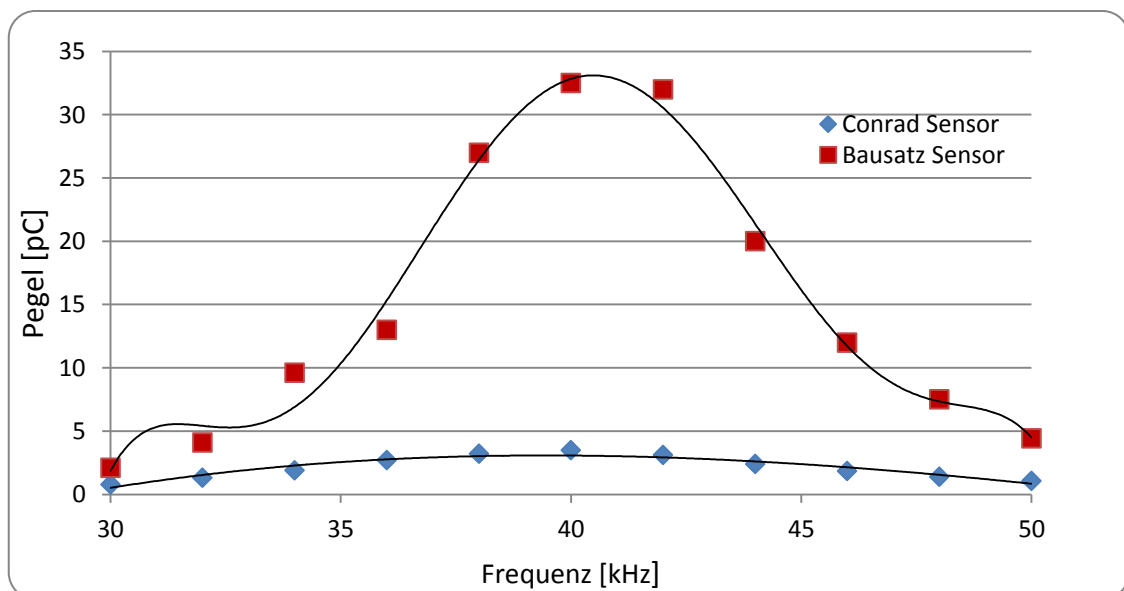


Diagramm 2: Pegelmessung mit Sensor am Papprohr

- III. Sensoren in einem festen Abstand von 55cm, mit variierender Messfrequenz, bei fester Bandbreite und bei einer Gleitentladung

Bei dieser Messung ist bei dem Bausatz Sensor ein genügend großer Abstand des Signalpegels zu dem Störpegel und der elektromagnetischen Feldkopplung vorhanden.

Tabelle 3

Frequenz [kHz]	Pegel [pC]	
	Conrad Sensor	Bausatz Sensor
30		-
32		-
34		-
36		5,4
38		8,1
40		10
42		9,3
44		8,2
46		5,2
48		3,4
50		-

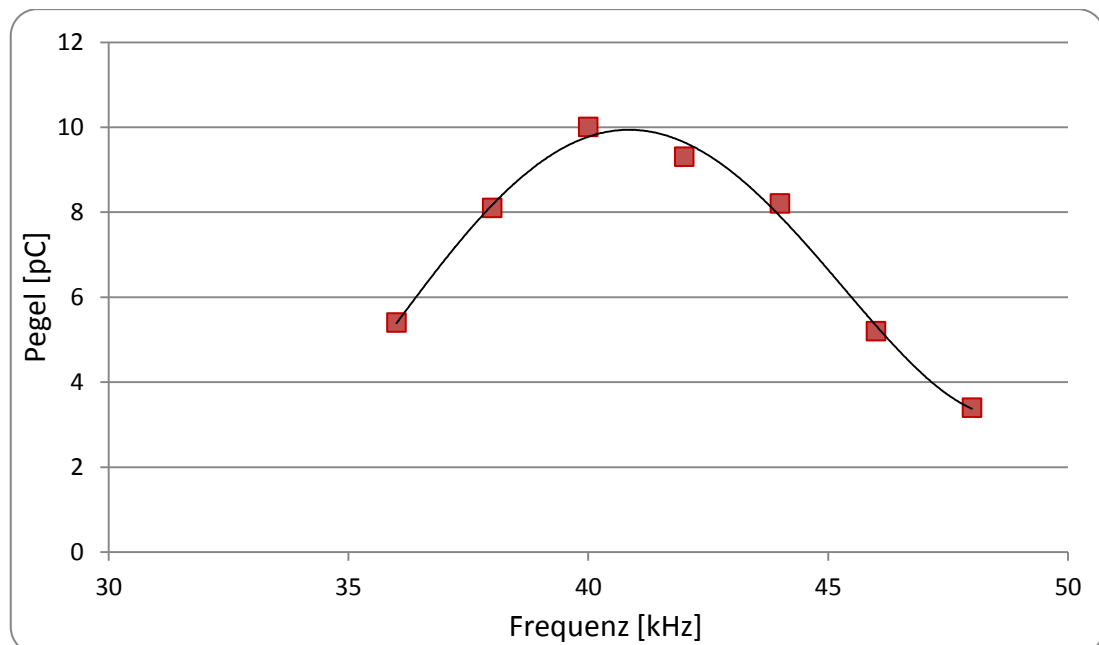


Diagramm 3: Pegelmessung am Sensor bei Gleitentladung

- IV. Sensoren in einem Papiertrichter , einem festen Abstand von 55cm, mit variierender Messfrequenz, bei fester Bandbreite und einer Gleitendladung.

Auch bei dieser Messung ist mit dem Bausatz Sensor eine vernünftige Messung möglich. Das Signal des Conrad Sensor ist dagegen zu schwach.

Tabelle 4

Frequenz [kHz]	Pegel [pC]	
	Conrad Sensor	Bausatz Sensor
30		-
32		3,6
34		5,8
36		10,3
38		14,7
40		16
42		12,6
44		10,3
46		6,6
48		4,3
50		-

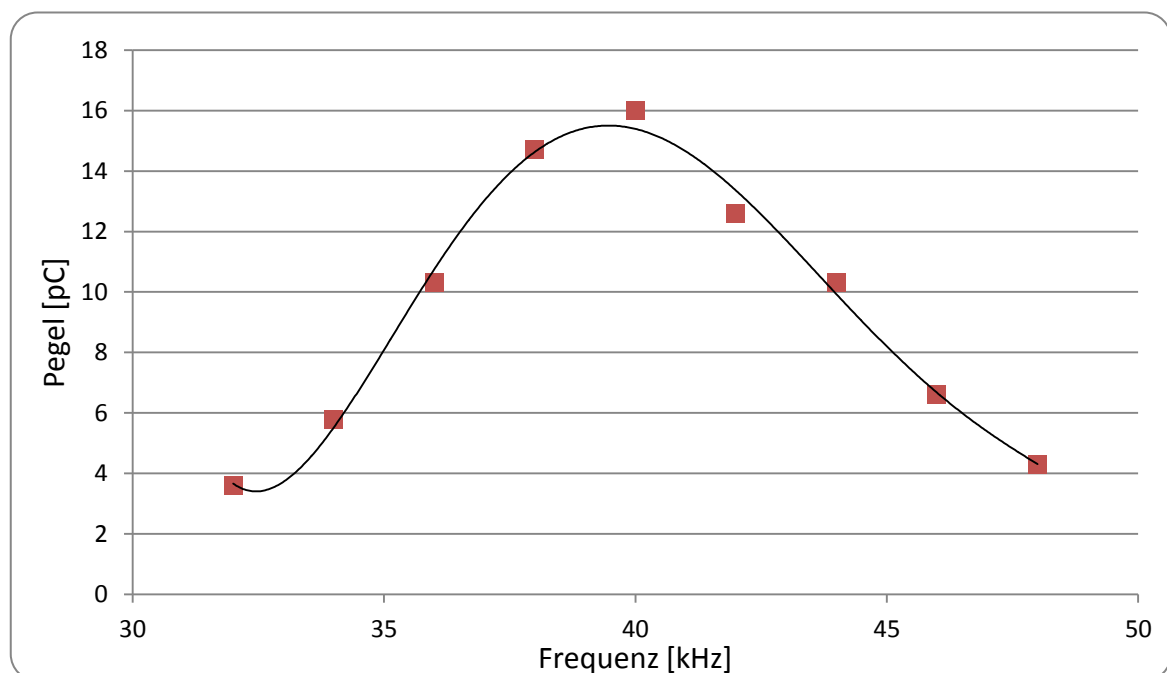


Diagramm 4: Pegelmessung mit Sensor im Papiertrichter bei Gleitendladung

- V. Sensoren im Ende eines Papprohres, das in einem konstanten Abstand auf eine Gleitladung gerichtet wird.

Auch hier werden die Sensoren mittig im Rohr platziert, mit einem Abstand vom Rohrende zur Entladung von 5cm.

Tabelle 5

Frequenz [kHz]	Pegel [pC]	
	Conrad Sensor	Bausatz Sensor
30	-	-
32	-	8,1
34	3	17
36	4,2	28
38	6,5	33,6
40	7,5	36
42	7	30
44	5,4	21
46	3,8	13,37
48	-	7
50	-	-

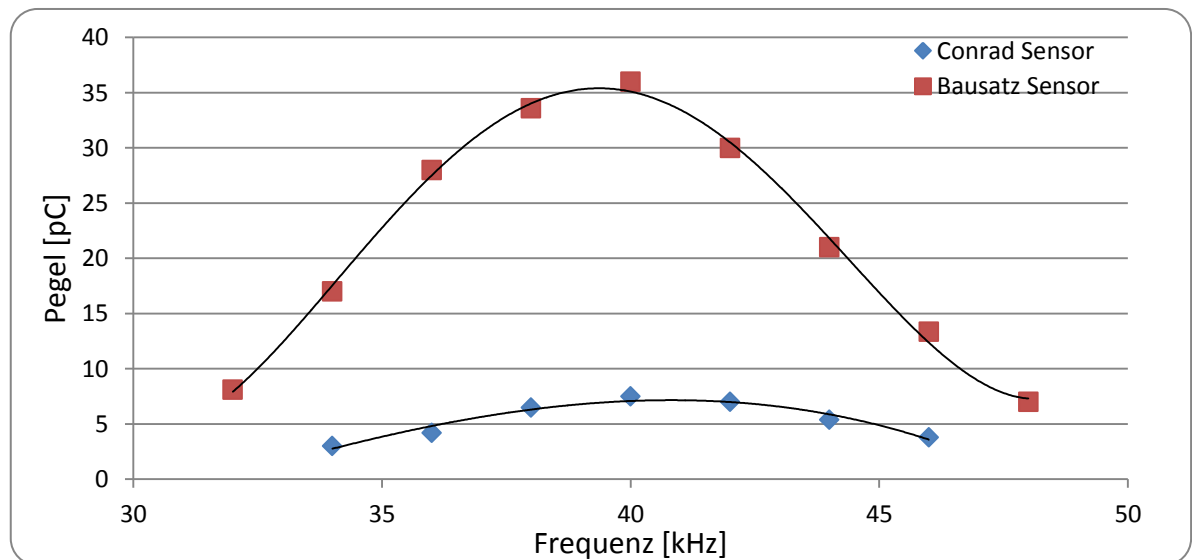


Diagramm 5: Pegelvergleich bei Sensoren im Papprohr

VI. Bausatzsensor, in einem Papiertrichter, in einem variablen Abstand zu einer Korona Entladung

Bei dieser Messung wird nur der Bausatz Sensor verwendet, da er bei den vorigen Messungen die besten Messwerte aufwies. Der Sensor wird in 5 cm Schritten mit einem Trichter von 40 bis 100 cm verschoben und der Pegel gemessen. Die Frequenz wurde hier auf 40kHz festgelegt.

Tabelle 6

Abstand [cm]	Pegel [pC]
40	34,5
45	27,9
50	22,1
55	18,1
60	13,4
65	10,7
70	8,3
75	5,9
80	5,5
85	5
90	4,7
95	4,2
100	3,7

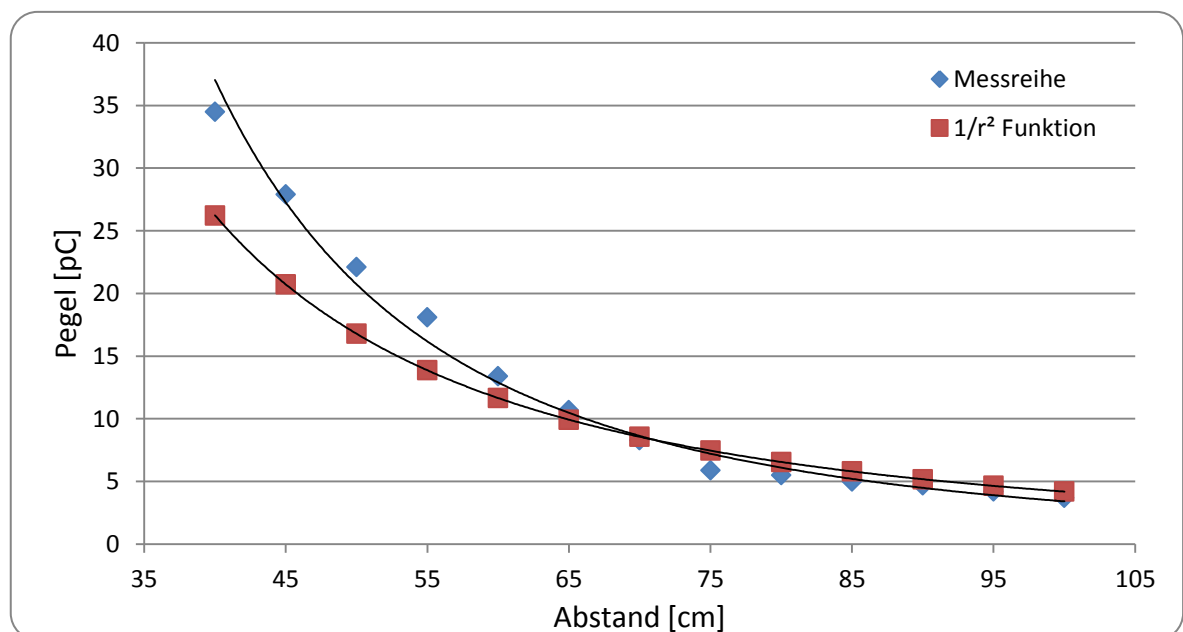


Diagramm 6: Vergleich des Pegels des Bausatzsensors mit Vergleichsfunktion

VII. Bausatzsensor auf eine Kabelteilentladung, in einem Papiertrichter, gerichtet.

Hier wird der Bausatz Sensor auf eine Kabelentladung in einem Abstand von ca. 64cm gerichtet. Diese Entladung enthält sowohl Korona- als auch Gleitentladungen und die angelegte Spannung beträgt 40kV. Diese Messung wird mit dem Conrad Sensor durchgeführt, hier ist allerdings der Pegel zu schwach und es kann nur eine elektromagnetische Beeinflussung festgestellt werden.

Tabelle 7

Frequenz [kHz]	Bausatz [pC]
30	-
32	-
34	3,5
36	5,2
38	7,4
40	8,1
42	8
44	5,8
46	4,4
48	2,7
50	-

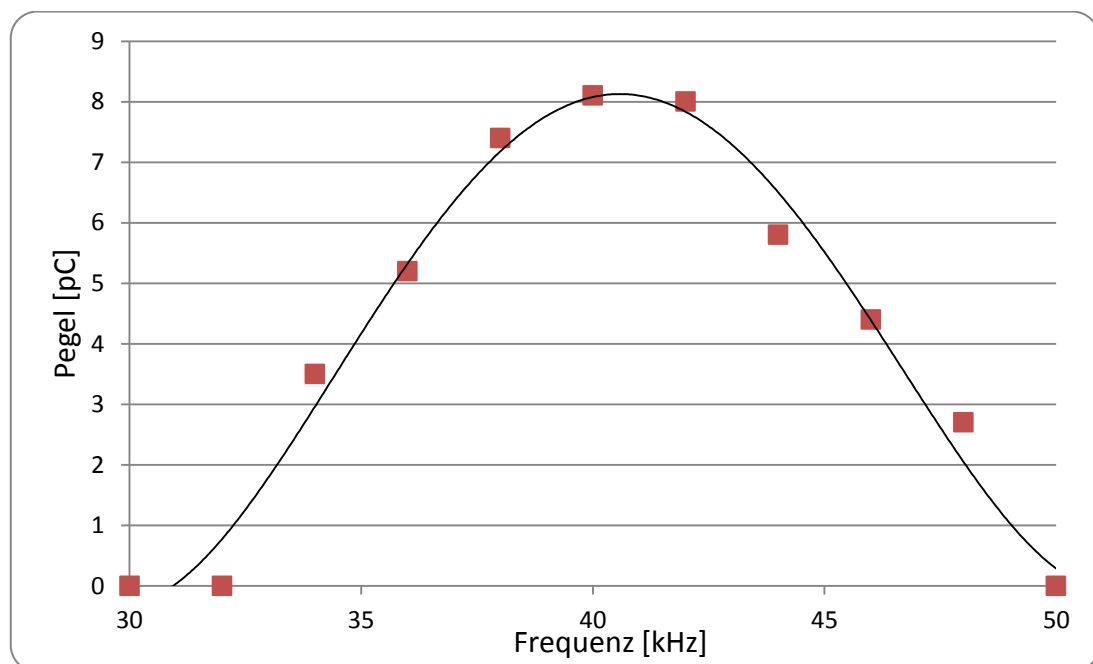


Diagramm 7: Pegel des Bausatzsensors bei einer Kabelteilentladung

Messauswertung

Alle Messungen besitzen Ähnlichkeit mit einer Gaußverteilung. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Sensoren baulich bedingt auf eine Frequenz von 40 kHz abgestimmt sind. Da eine Teilentladung ein großes Frequenzspektrum hat, ist dieser Frequenzbereich der Sensoren für das Projekt durchaus nutzbar. Besonders gute Werte lieferte der Bausatzsensor von FRANZIS. Bei allen Messungen hatte er deutlich die besseren Pegelwerte.



Abbildung 15: Papprohr auf TE gerichtet

Wie nach den Erwartungen zeigt sich, dass die Messungen mit dem Papprohr die besten Messwerte aufweisen, da sich hier der Schall der Teilentladung nicht im Raum ausbreiten kann, sondern gebündelt auf den Sensor trifft.

Auch ein einfacher Papiertrichter ermöglicht eine Steigerung des Pegels. Dies geschieht aus dem einfachen Grund, dass hier mehr Schall durch die größere Fläche an der Trichteröffnung abgefangen wird und auf eine kleinere

Fläche konzentriert wird. Man muss aber bedenken, dass eine größere Fläche der Trichteröffnung auch einen Verlust der Ortungspräzision bedeutet.

In einigen Messungen konnte der Conrad Sensor keine aussagekräftigen Werte liefern. Dies könnte mehrere Gründe haben. Die Entfernung zu der Fehlstelle kann zu groß gewesen sein oder die Nutzpegel lagen unterhalb der Störpegel.



Abbildung 14: Papiertrichter auf TE gerichtet

Als das größte Problem stellte sich allerdings bei den Messungen die elektromagnetische Feldkopplung heraus. Viele Messungen wurden durch die E-Kopplung stark gestört und machten einige Messungen unbrauchbar oder gar nicht erst möglich.

Bei der variablen Abstandsmessung aus Punkt VI ist zu erkennen, dass die Schallintensität um den Faktor $\frac{1}{r^2}$ abnimmt, wobei r der Abstand ist. Laut der Literatur ist dieses Ergebnis korrekt. Zum Beginn weicht die Messreihe etwas von der $\frac{1}{r^2}$ Funktion ab. Das liegt an der E-Feld Kopplung, die bei kleineren Abständen größeren Einfluss auf den Schaltkreis hat.

Quelle: 10

Fehlgeschlagene Messungen

Bei den ersten Messungen, die durchgeführt wurden, lag der Abstand von der Fehlstelle zu dem Ultraschallempfänger nur bei 10 und 15 cm. Dieser Abstand war zu gering, da die Beeinflussung durch die E-Feldkopplung hier einen zu großen Einfluss auf die Messergebnisse hatte. Somit musste der Abstand auf ein Vielfaches vergrößert werden, um den Einfluss der E-Feldkopplung so gering wie möglich zu halten.

Bei der Messung mit dem Conrad Sensor ohne Trichter, bei 55 cm Abstand von der Teilentladung, war der Nutzpegelabstand zu gering, um ein brauchbares Messergebnis zu erhalten.

Verstärkerschaltungen

Um die akustisch aufgenommenen Signale des gewählten Ultraschallsensors besser nutzen zu können, wird eine Verstärkerschaltung benötigt. Diese muss nicht nur unter Normalbedingungen, sondern auch im Bereich von elektromagnetischer Feldkopplung durch die zu detektierende Hochspannung befriedigend funktionieren und sauber verstärken. Daher werden alle Schaltungen auch in unmittelbarer Entfernung zur Hochspannung getestet.

Operationsverstärker - Schaltung

Die erste Schaltung ist eine nicht-invertierende Verstärkerschaltung. Diese wird mittels eines Operationsverstärkers und 2 Widerständen aufgebaut. Für den OP wird in diesem Fall ein IC mit 4 integrierten OPs genommen. Hierbei ist es wichtig darauf zu achten, dass der verwendete OP auch das benötigte Frequenzband um 40kHz herum sauber verstärken kann. Ein LM324N von Texas Instruments erfüllt die notwendigen Voraussetzungen.

Für einen nichtinvertierenden Verstärker gilt:

$$v = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Für eine Verstärkung um etwa den Faktor 14 und damit der Stromfluss nicht zu groß wird, wurden die Widerstände zu $R_1 = 10\text{k}\Omega$ und $R_2 = 780\Omega$ gewählt.

Quelle: 11

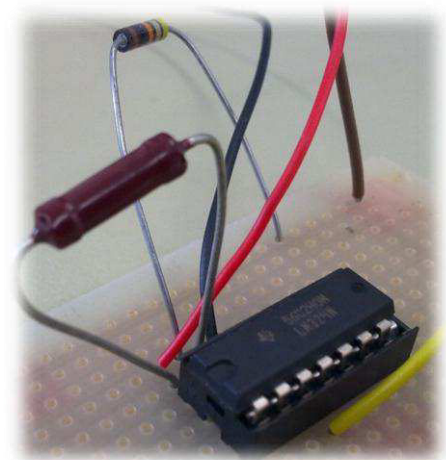


Abbildung 16: OPV Schaltung

Negativ an dieser Schaltung ist, dass der Operationsverstärker eine hohe Versorgungsspannung von 12 V benötigt, die nicht auf dem Bordnetz des Roboters zur Verfügung steht und

zusätzlich angebracht oder abgegriffen werden müsste. Für einen Testlauf stand ein Labornetzteil zur Verfügung.

Beim Test der Schaltung an einer Ultraschallquelle funktionierte diese einwandfrei, es gab

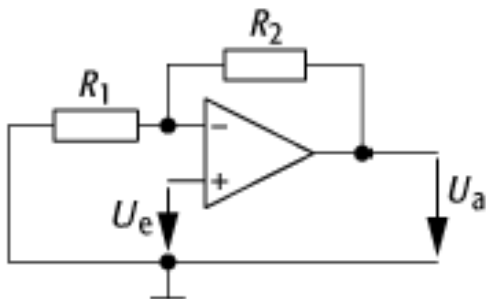


Abbildung 17: OPV Schaltbild

kaum Verzerrungen und die Signale waren wie erwartet etwa um den Faktor 14 verstärkt.

Unter Hochspannung war die Schaltung nicht zu gebrauchen. Testmessungen ergaben keine akustischen Messsignale, die verwertbar gewesen wären. Die Schaltung fing proportional zur

Hochspannung, in etwa einem Meter Entfernung, an zu schwingen und erreichte ab ca. 20kV die Sättigung.

Sie arbeitete nicht akustisch, sondern ließ sich das elektromagnetische Feld aufzwingen. Für die Ultraschallmessung unter Hochspannung ist diese Schaltung demnach nicht geeignet oder müsste vorher aufwändig abgeschirmt werden.

Quelle: 11

Ultraschall-NF-Konverter von ELV (Fledermausdetektor)

Die 2. Schaltung stammt aus einem zusammengestellten Fledermausdetektor Baukasten.

Die Schaltung wurde in Handarbeit zusammen gelötet, jedoch konnte diese Schaltung nicht verwendet werden, da sich nach Messungen an der Schaltung herausstellte, dass einer der beiden Oszillatoren und dessen Schwingkreis leider defekt waren.

Quelle: 5

Bausatz „Experimente mit Ultraschall“ von FRANZIS

Der erste Versuch eine (im Baukasten mitgelieferten) Schaltung aufzubauen scheiterte daran, dass die Steckkontakte nicht ausreichend fest klemmten und es immer wieder zu Kontaktunterbrechungen in der gesteckten Schaltung kam. Daher wurde eine etwas aufwändigere Schaltung aus dem Baukasten auf eine Platine aufgelötet und das Stecksystem vernachlässigt.

Zunächst kam die Schaltung „empfindlicher Ultraschalldetektor“ für erste Testmessungen zum Einsatz.

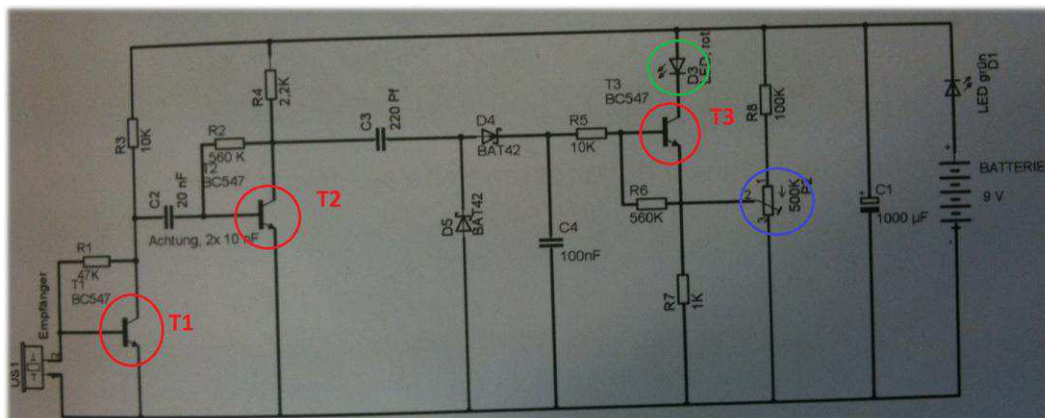


Abbildung 18: Schaltplan Ultraschallmessgerät mit LED

Durch ein Signal am Ultraschallempfänger, auf der linken Seite der Schaltung, wird an der Basis des Transistors $T1$ eine Spannung erzeugt, die den Transistor zum Durchschalten bewegt. Dadurch zieht er das Potential der Basis des 2. Transistors $T2$ gegen null Volt. Folglich schließt der Transistor $T2$. Da nun die Basis des Transistors $T3$ nicht mehr gegen Masse gezogen ist, kann dieser jetzt schalten und somit die LED zum Leuchten bringen und an R_7 fällt bei durchgeschaltetem Transistor nahezu die volle Spannung ab (-0,7Volt für die LED). Durch den *verstellbaren Widerstand* kann die Empfindlichkeit der Schaltung verändert werden.

Quelle: 12

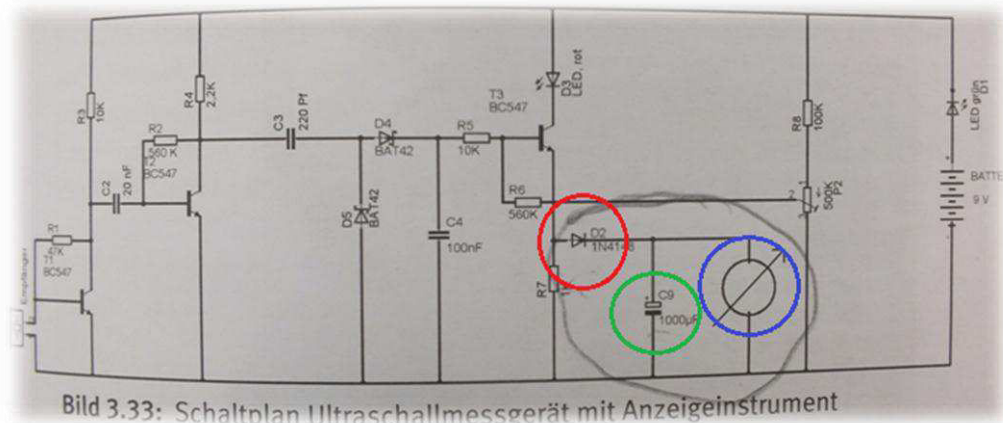


Abbildung 19: Schaltplan Ultraschallmessgerät mit Anzeigeeinstrument

Durch die Ergänzung der Schaltung um eine *Diode*, damit nur die positive Halbwelle dargestellt wird und mittels anschließender Parallelschaltung eines *Glättungskondensator* (siehe Bild), kann die Spannung niederohmig, bzw. durch Parallelschalten von 7 Ohm statt des *niederohmigen Zeigerinstrumentes*, auch die Spannung an diesem Widerstand gemessen werden. Da die Messschaltung am NXT aber relativ hochohmig ausgeführt ist, musste in der Schaltung der Entladewiderstand äquivalent zum niederohmigen Zeigerinstrument des Baukastens ergänzt werden.

Ein Vorteil dieser Schaltung ist der Betrieb mit einer 9V Zelle. Demnach gibt es kein Problem mit der mobilen Stromversorgung auf dem Roboter. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit zur Spannungsmessung. Der Roboter kann direkt angebunden werden und es muss kein weiterer Schmidt-Trigger zur Detektion, bzw. eventuelle Analog- Digitalwandler zur Übergabe entwickelt werden.

Abschließend wurden noch einige Messungen in verschiedenen Entfernungen zur Quelle ausgeführt, um Aussagen über die Höhe des Spannungspegels am Ausgang der Schaltung zu bekommen. Die Möglichkeiten der Einstellbarkeit mittels des Potentiometers wurden ausgetestet. Ein Messbereich von + - 2V ergab sich für die Schaltung als sinnvoll.

Roboter

Algorithmus

Geplant ist eine Ausführung der Suche in 3 Schritten.

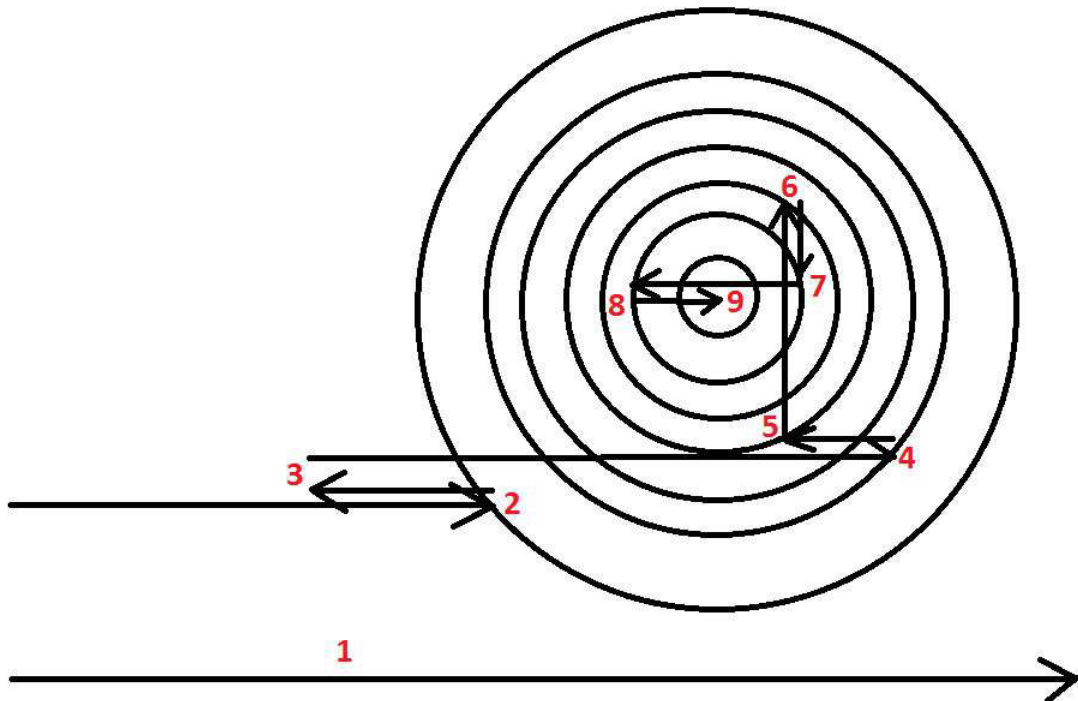


Abbildung 20: Suchalgorithmusentwurf

Auf der untersten horizontalen Ebene wird begonnen [1]. Der Raum wird während einer 360° Drehung grob abgetastet. Sollte kein Signal gefunden werden, wird die Raumebene erhöht [2]. Wird ein Signal gefunden, so wird ein Stück zurückgesetzt [3] und der feinere horizontale Suchlauf gestartet. Dieser läuft solange weiter, bis das Signal schwächer wird [4] und setzt dann auf einen Punkt innerhalb des stärksten Bereiches zurück [5]. Anschließend beginnt die feine vertikale Suche. Hierbei wird die vertikale Achse solange abgefahren bis das Signal schwächer wird [6] und dann auf den Bereich des stärksten Signals zurückgesetzt [7].

Das abwechselnde horizontale und vertikale Suchen kann so oft wiederholt werden, wie es die gewünschte Genauigkeit erfordert.

In diesem Fall eine abschließende horizontale Suche [8][9].

Roboterhardware

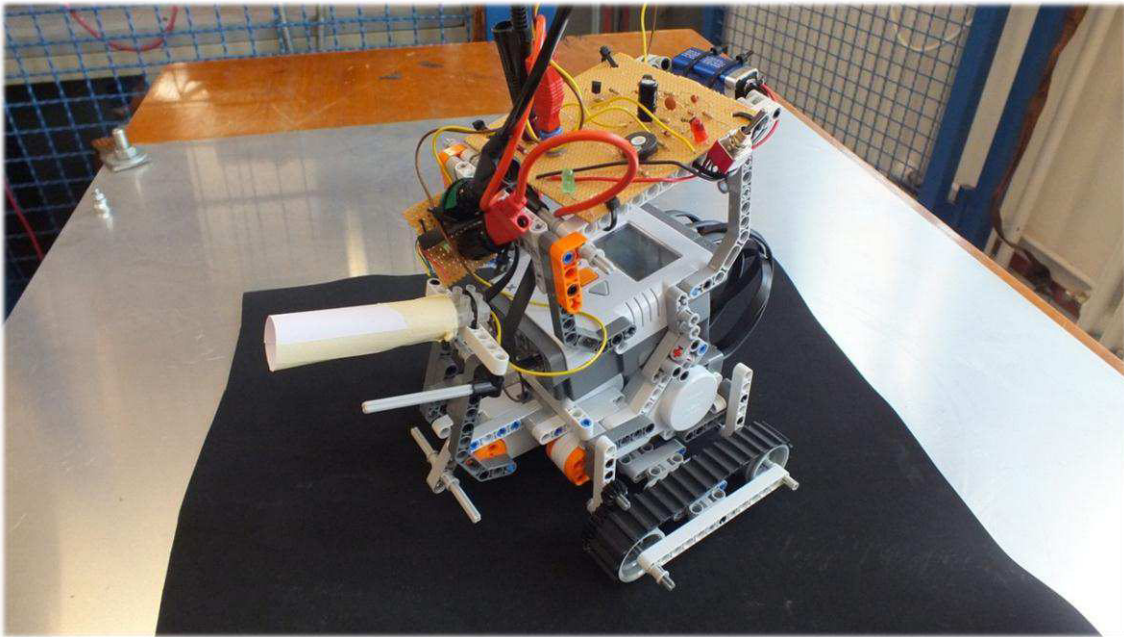


Abbildung 22: Lego® Mindstorms NXT – Modifiziert mit Verstärkerschaltung, Papiertrichter und Spannungsteiler

Für dieses Projekt wurde der zu der Verfügung stehende Bausatz Lego® Mindstorms NXT verwendet.

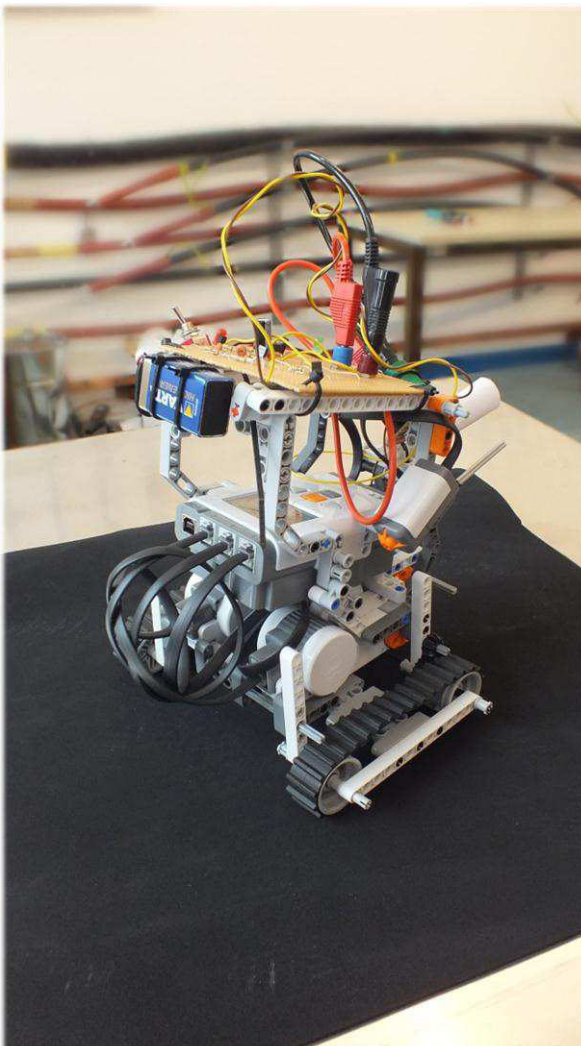


Abbildung 21: Rückseite des NXT

Der ausgearbeitete Suchalgorithmus sieht bei der Suche eine horizontale Drehung und einen Arm vor, der sich vertikal anheben und senken lässt. Da es sich als sinnvoll herausstellte, den Roboter auf der Stelle zu drehen und nicht im Kreis zu fahren, ist ein Roboter-aufbau auf Ketten geeigneter als ein Aufbau mit Reifen, da mit zwei zur Verfügung stehenden Motoren nicht alle Reifen gleichzeitig ansteuerbar wären. Daher kann nur mit Ketten eine Drehung auf der Stelle realisiert werden.

Der dritte Motor wird für die vertikale Bewegung des Armes benötigt. Nach mehreren Tests mit den Motoren stellte sich heraus, dass die Motoren nicht allzu genau arbeiten; Es ist mit großen Toleranzen zu rechnen.

Die Entscheidung fiel auf einen als Bauanleitung bereits vorhandenen Roboter mit Ketten und einem heb- und senkbaren Arm. Nach dem Aufbau mussten einige Tests durchgeführt werden um die gewünschte Genauigkeit zu erreichen.

Der Kettenantrieb musste weiter übersetzt werden, da die Motoren im Originalaufbau nicht ausreichend genau ansteuerbar waren. So konnte eine Umdrehung des Roboters von 36 auf etwa 100 Schritte erweitert werden, was für den Streuwinkel des Ultraschallsensors bis etwa 5 Meter Entfernung ausreichend ist. Für weitere Entfernungen wäre die Verstärkerschaltung, sowie die Genauigkeit der Spannungsmessung (Erklärung folgend) nicht ausreichend.

Bei verschiedenen Tests des Armes stellte sich weiterhin heraus, dass der Motor beim Anheben des Armes wesentlich ungenauer arbeitet, als beim Absenken. Wurde die Kraft zum Anheben sogar zu klein gewählt, und damit auch die gewünschte Schrittweite, so bewegte sich der Arm teilweise gar nicht oder legte sprunghaft eine kurze Strecke zurück. Beim Absenken trat dieses Verhalten nicht auf, die möglichen Einstellungen waren ausreichend genau wählbar.

Um den Roboter starten zu können, wurde er um einen Taster ergänzt.

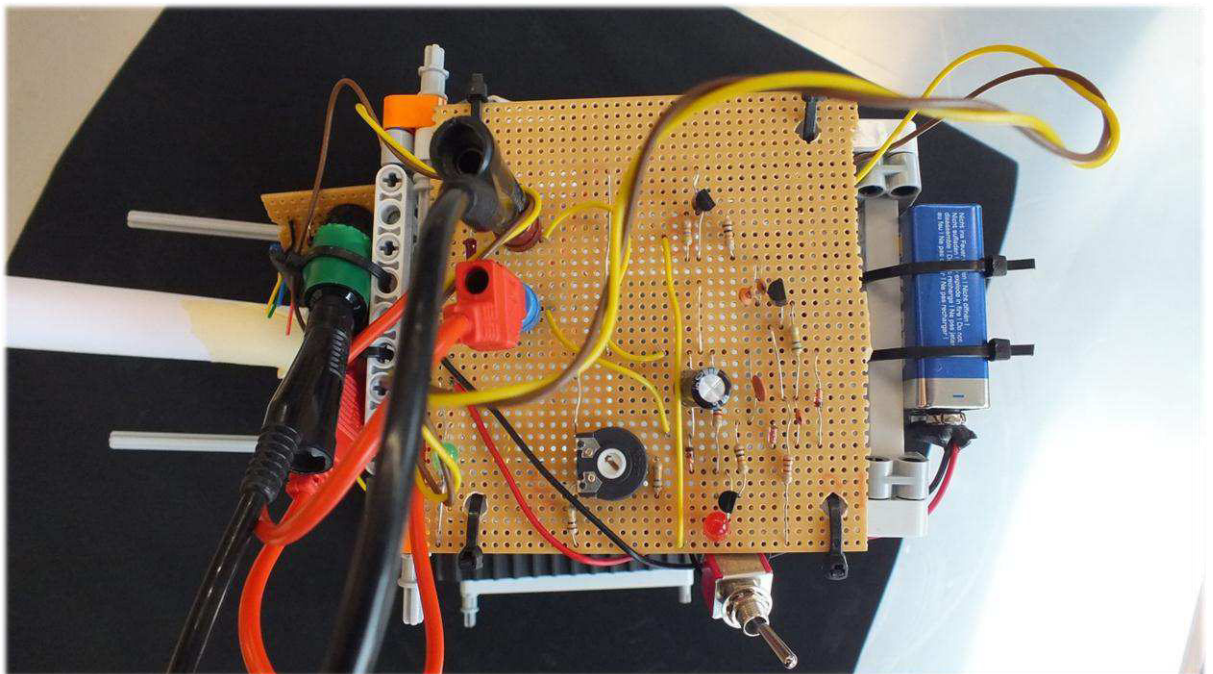


Abbildung 23: Verstärkerschaltung auf dem NXT

Eine weitere Schwierigkeit des Roboteraufbaus war die Anbindung des Messsignals, bzw. der Verstärkerschaltung, um die Signale mit dem Mikrokontroller des NXT auswerten zu können und so eine Suche nach der Stärke des Signals möglich zu machen.

Hierzu standen mehrere Ideen zur Verfügung.

Die einfachste Umsetzung, bei der noch keine Messung des höchsten Signals möglich wäre, war einen der Taster seinem Zweck zu entfremden und diesen als binären Eingang zu nutzen. Hierfür wäre eine Schmitttrigger Schaltung notwendig, um definierte 1 oder 0 Signale aus der Verstärkerschaltung zu bekommen.

Die zweite und sehr aufwändige Möglichkeit wäre mehrere Schmitttrigger für verschiedene Pegel zu verwenden und anschließend einen Digital/ Analogwandler über mehrere Taster des NXT die digitalen Werte liefern zu lassen.

Die dritte und sinnvollste Möglichkeit ergab sich während der Durchführung des Projektes. Über verschiedene Quellen stellte sich heraus, dass der NXT an allen seinen Eingängen Analog/ Digitalwandler mit 1024 Zuständen verwendet und auch die vorhandenen Taster bereits wie von uns gewünscht nach Zuständen ausgewertet werden.

In dem Buch Extreme NXT stießen wir auf zwei Schaltungen zur direkten Spannungsmessung mit dem NXT.

Dies wird später bei der Zusammenführung der Verstärkerschaltung und des Roboters behandelt.

Quelle: 13

Robotersoftware

Aufgrund der Roboterhardware musste der ausgearbeitete Algorithmus dahingehend geändert werden, dass die Ebenen nicht von unten nach oben, sondern von oben nach unten abgefahren werden, da der Hebearm in der Abwärtsbewegung genauer arbeitet.

Programmablauf von Lego® Mindstorms



Abbildung 24: Gesamter Programmablauf

Dies ist der Programmablauf unterteilt in Blöcke oder auch Funktionen. Im weiteren Verlauf werden die einzelnen Blöcke beschrieben.



Abbildung 25:
Blockbild

Der Horizontal Vertikal Block

sucht nach einem Signal, indem er sich um die eigene Achse dreht. Nach jeder 360° Drehung senkt er den Hebearm um einen definierten Winkel ab. Dies ist die erste grobe, räumliche Abtastung.



Abbildung 26: Programmunterteilung des Hori_Vert Blocks

1.

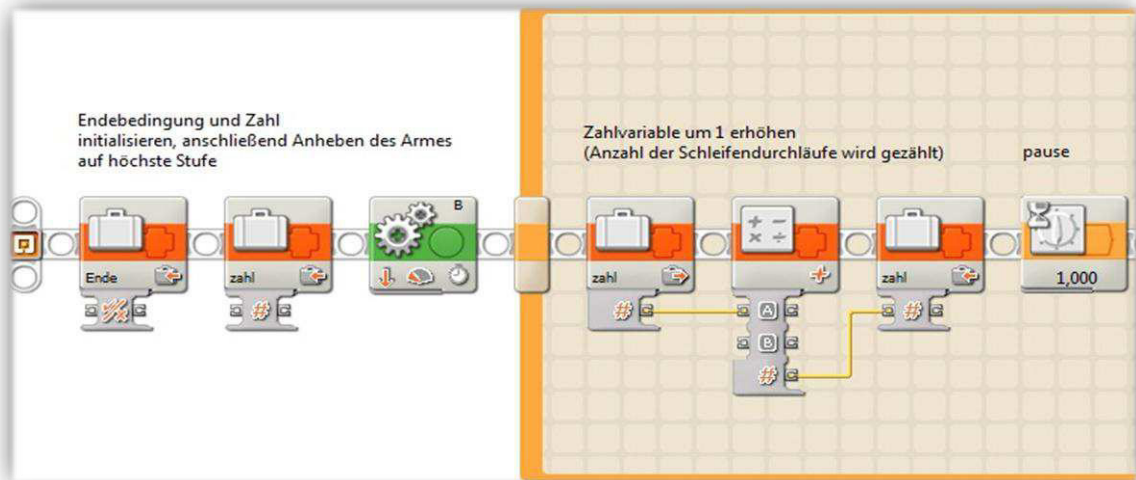


Abbildung 27: 1 - 4 Programmteil

Die Variable *Ende* ist eine Logikvariable. Sie wird hier als *false* (*Boldsche Algebra*) Initialisiert. Die Variable *zahl* ist eine Integervariable und wird hier auf 0 Initialisiert. Der dritte Block in diesem Bild ist ein sogenannter Bewegungsblock, dieser steuert die Motoren an. In diesem Fall soll der Hebearm (Motor B), der für die vertikale Bewegung verantwortlich ist, auf die höchstgelegende Position gebracht werden. Dies ist von Nöten, da der Arm sonst einen undefinierten Startpunkt hätte. Es öffnet sich im Folgenden eine Schleife und die Variable *zahl* wird inkrementiert. Daraufhin folgt eine Pause, die aufgrund der Trägheit der elektrischen Motoren von Nöten ist.

2.

Es öffnet sich eine zweite Schleife, in der zu Beginn die Variable *zahl2* inkrementiert wird. Als

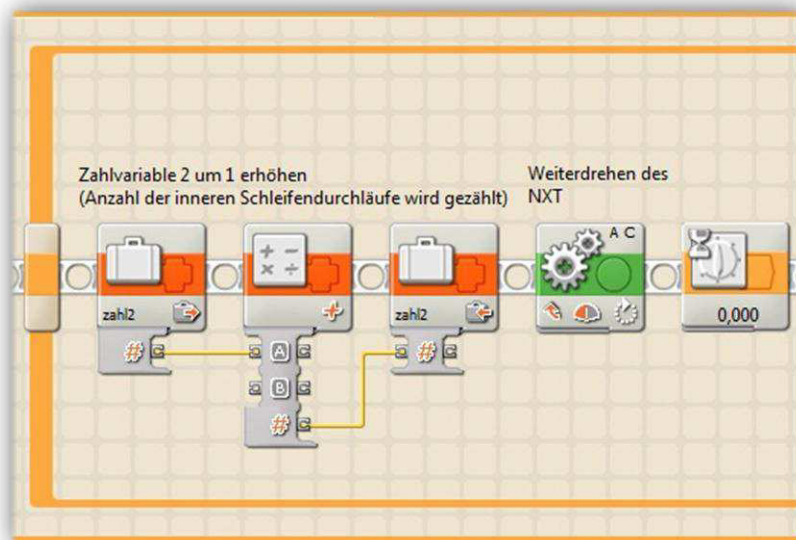


Abbildung 28: 2 – 4 Programmteil

nächstes werden die Motoren A und C für eine zehntel Umdrehung entgegengerichtet angesteuert, um eine kurze, um die eigene Achse drehende, Bewegung zu realisieren. Die kurzen Bewegungen sind einerseits wegen der Trägheit des Roboters nötig und andererseits, um eine hohe Abtastrate zu verwirklichen.

3.

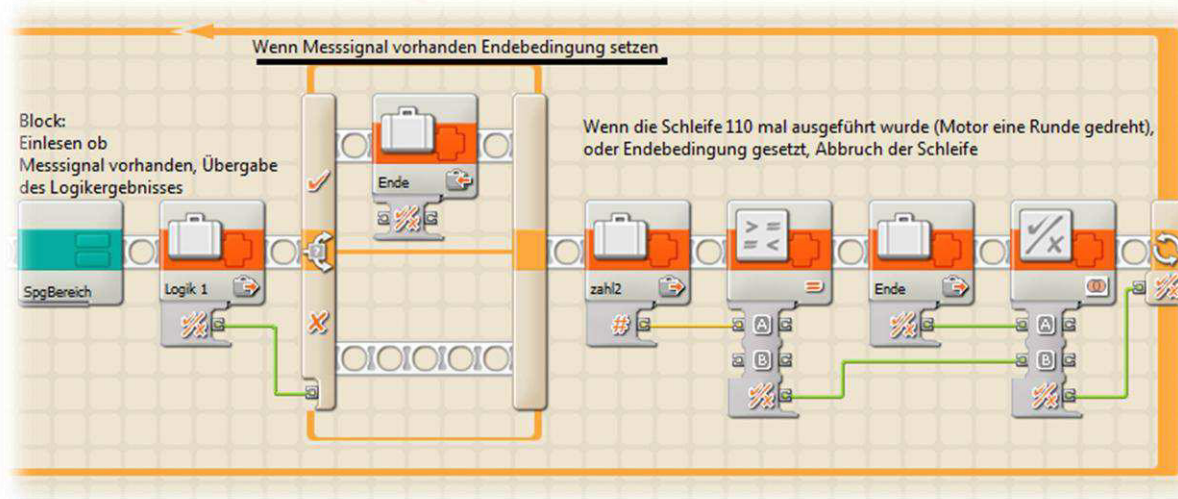


Abbildung 29: 3 – 4 Programmteil

Zu Beginn dieses Abschnittes ist der *SpgBereich* Block zu finden. Dieser überprüft lediglich, ob sich die gemessenen Werte in einem definierten Bereich befindet. Wenn dies zutrifft, gibt er einerseits ein Kontrollton und andererseits über die Logikvariable *Logik 1* ein *true* aus.

Es folgt eine Wenn-Anweisung, die bei

einem wahren Wert von *Logik 1* die Logikvariable *Ende* auf *true* setzt und ansonsten nichts bewirken soll. Die letzten vier Blöcke stellen die Abbruchbedingung da. Sie sollen die innere Schleife bei einem definierten Wert von *zahl2* oder bei einem wahren Wert von *Ende* beenden.

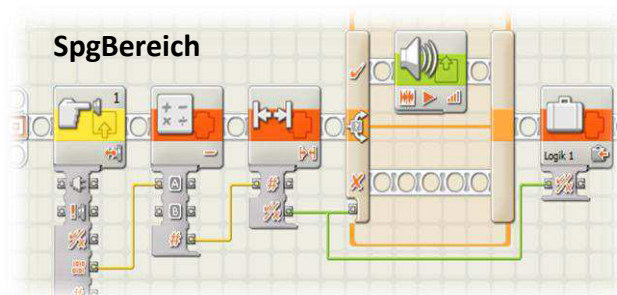


Abbildung 30: Programmablauf der Funktion *SpgBereich*

4.

In diesem Abschnitt wird, nach Beendigung der inneren Schleife, *zahl2* zurück auf 0 gesetzt. Es wird ein Ton ausgegeben, um zu signalisieren, dass eine volle Umdrehung getätigt wurde. Der Hebearm wird minimal gesenkt und es wird eine weitere Abbruchstruktur durchlaufen. Der *Horizontal Vertikal* Block ist damit beendet.

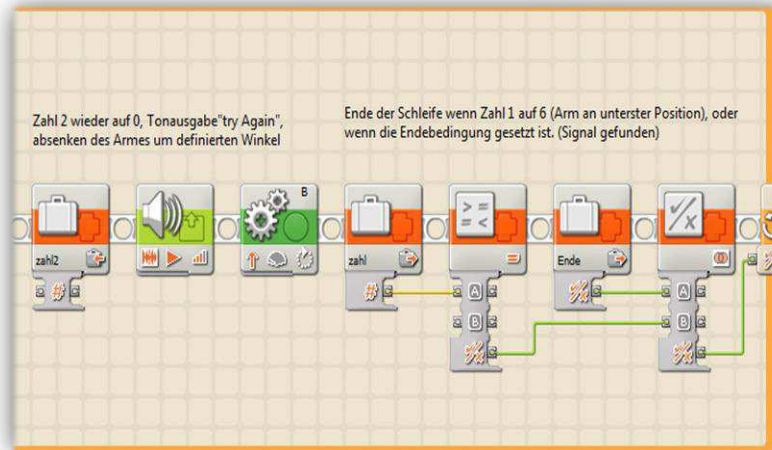


Abbildung 31: 4 – 4 Programmteil



Der Exakt Horizontal Block

soll bei einer entdeckten Fehlstelle die Suche, auf der horizontalen Ebene, präzisieren.

Abbildung 32:
Blockbild

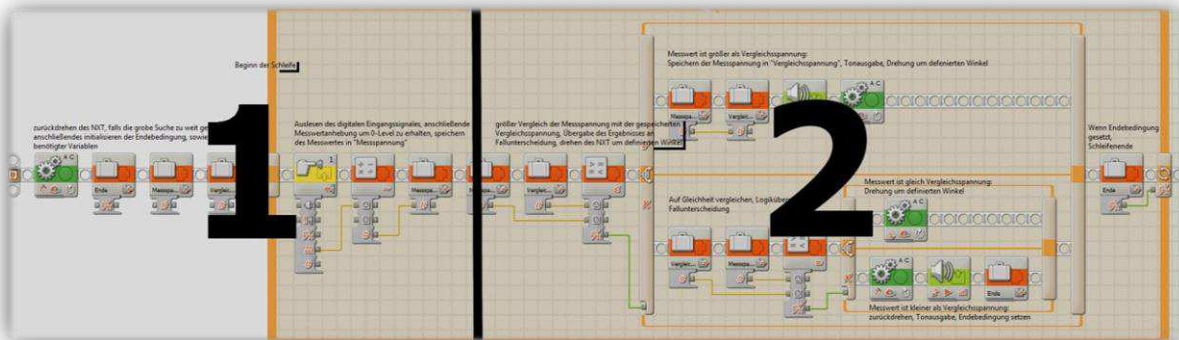


Abbildung 33: Programmunterteilung des Exakt_hori Blocks

1.

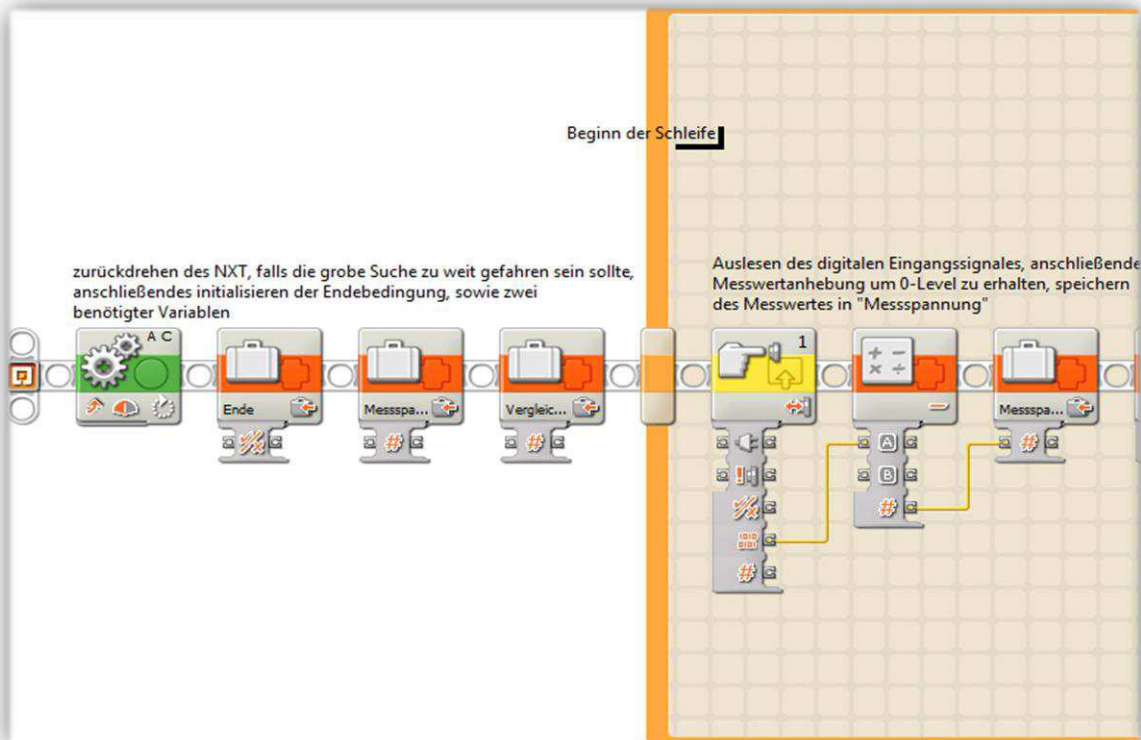


Abbildung 34: 1 – 2 Programmteil

2.

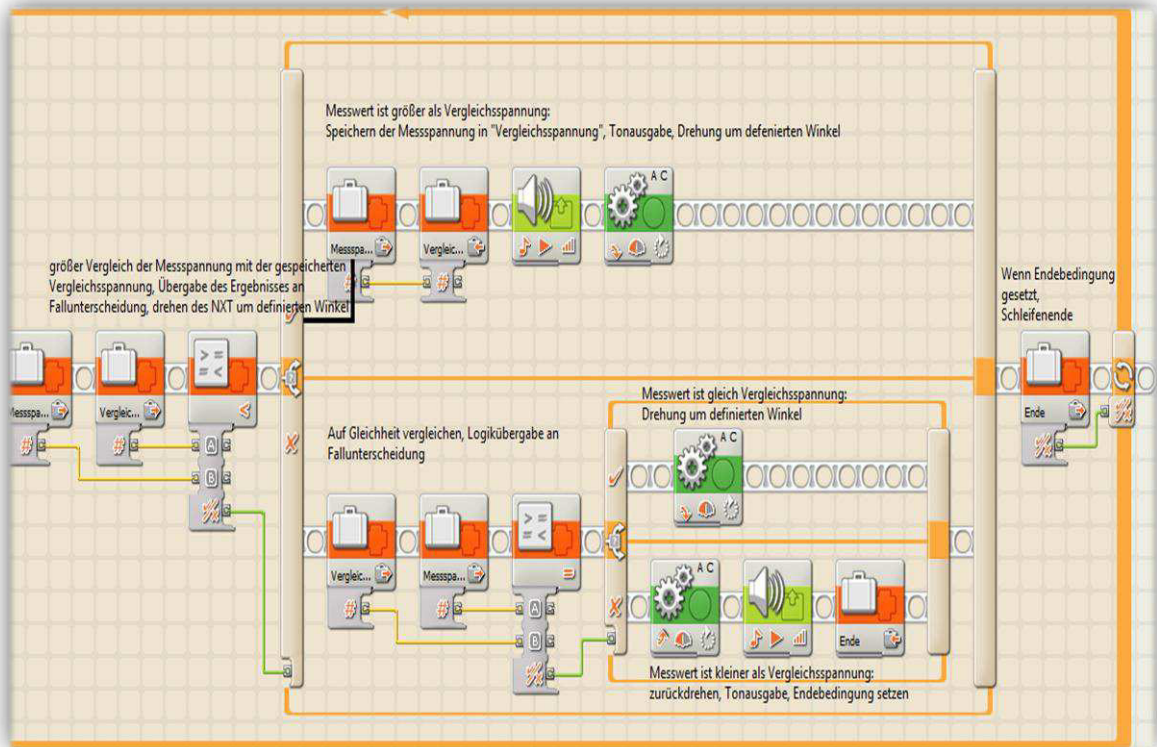


Abbildung 35: 2 – 2 Programmteil

Die Messspannung wird mit der Vergleichsvariablen verglichen, die zu Beginn auf 0 Initialisiert wurde.

Ist die Messspannung größer als die Vergleichsvariable, so wird der Wert der Messspannung in die Vergleichsvariable, in dem oberen Abschnitt der Wenn Abfrage, geschrieben. Es wird ein Kontrollton ausgegeben, die Räder werden um eine zehntel Umdrehung angesteuert und die Schleife wird erneut durchlaufen.

Wenn die Messspannung allerdings kleiner oder gleich dem Vergleichswert ist, so muss in der unteren Hälfte der Wenn-Anweisung fortgefahren werden. Hier wird als erstes überprüft, ob die beiden Werte gleich sind.

Ist dies der Fall, so werden lediglich die Motoren angesteuert und es wird mit der Suche fortgefahren, denn hier ist das Maximum gesucht.

Wenn die Messspannung nicht gleich dem Vergleichswert ist, so wird der Roboter auf die vorangegangene Position gebracht und die Funktion beendet.



Der Exakt Vertikal Block

soll mittels des Hebearmes die vertikale Ebene präzise absuchen.

Abbildung 36: Blockbild

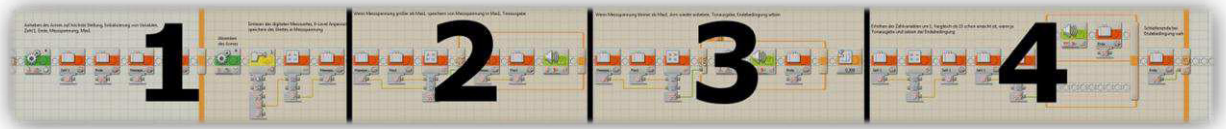


Abbildung 37: Programmunterteilung Des Exakt Vertikal Blocks

1.

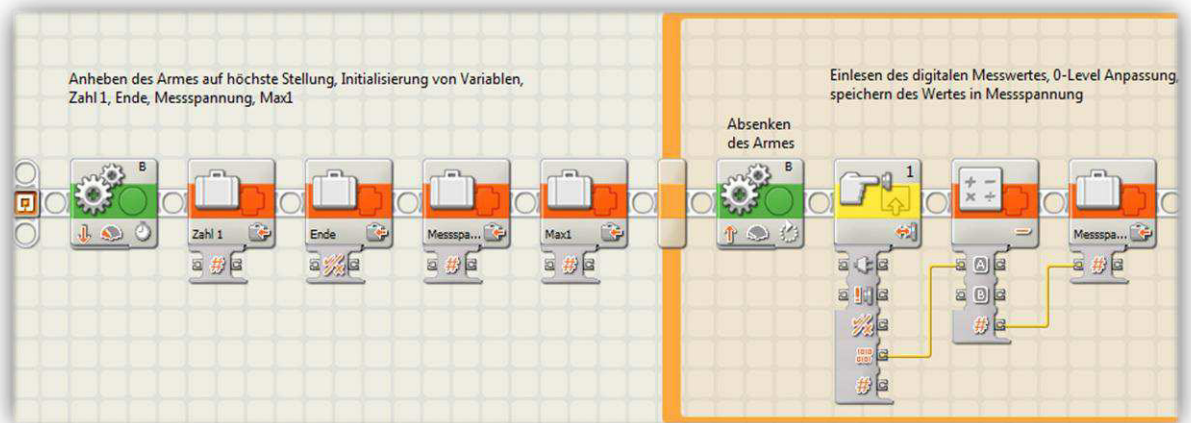


Abbildung 38: 1 – 4 Programmteil

Der Hebearm wird wieder auf eine vordefinierte Startposition gebracht. Darauf folgt eine Reihe an Deklarierungen und Initialisierungen. In der neu geöffneten Schleife wird der Hebearm leicht gesenkt und es wird ein Messwert aufgenommen.

2.

Dieser Messwert wird mit dem Maximalwert verglichen, der zu Beginn auf null gesetzt wurde. Ist der Messwert größer als der Maximalwert, so wird der Messwert in den Maximalwert geschrieben. Wenn der Messwert kleiner ist, wird der letzte Teil übersprungen

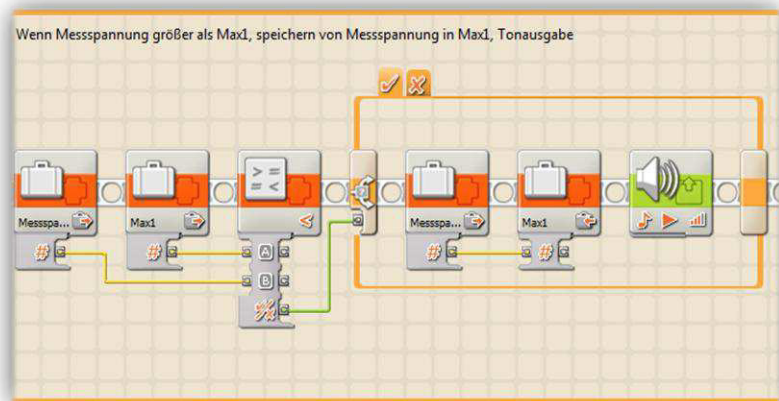


Abbildung 39: 2 – 4 Programmteil

3.

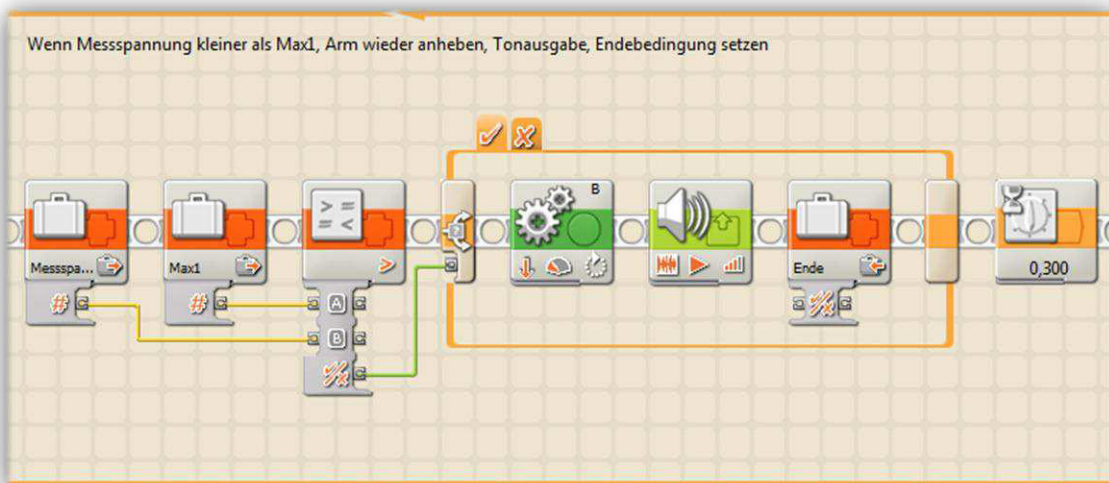


Abbildung 40: 3 – 4 Programmteil

Siehe Kommentar in der Abbildung 40.

4.

Wurde in dem vorangegangenen Programmablauf von dem Exakt Vertikal Block kein Ergebnis gefunden und somit auch keine Endbedingung erreicht, so wird hier durch die Zählvariable *Zahl 1* eine Endbedingung bei 15 Durchläufen der Schleife gesetzt.

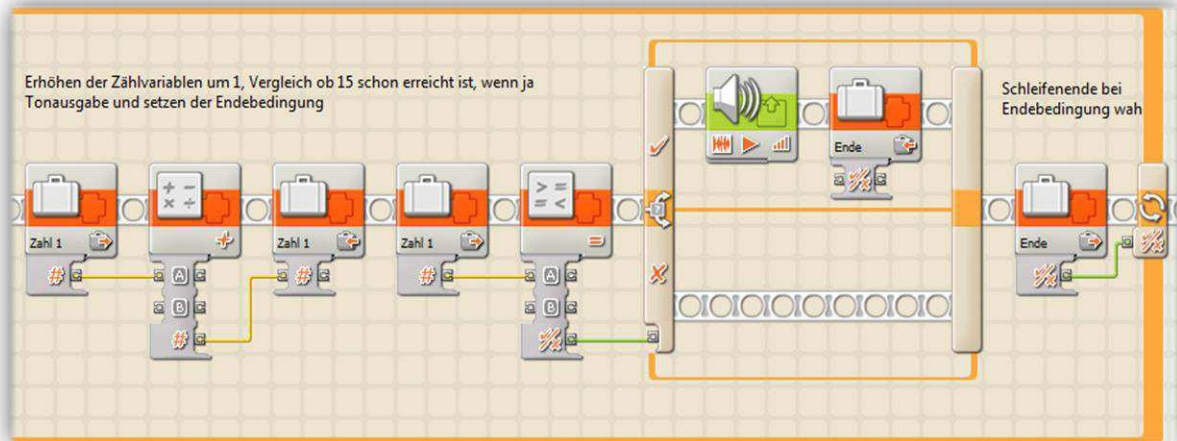


Abbildung 41: 4 – 4 Programmteil

Quelle: 14

Zusammenführung

Nach der Fertigstellung der Verstärkerschaltung ist die Anbindung der Verstärkerschaltung an den Roboter zu behandeln:

Zunächst bestand die Überlegung, vier Ein/Austaster des NXT ihrem Zweck zu entfremden und diese als digitale Eingänge zu nutzen. Hierfür wäre aber ein relativ aufwändig zu realisierender Analog- Digitalwandler notwendig gewesen, der auch eine Stromversorgung gebraucht hätte.

Daher fiel die Entscheidung auf eine zunächst einfachere Lösung.

Diese bestand in einem Schmidt-Trigger. Dieser sollte ab einem bestimmten Eingangsspegel eine 1 auf den Tasteingang des NXT geben. Diese Lösung ist an sich recht einfach zu konstruieren, aber gleichermaßen auch ungenau, da der Roboter nicht auf unterschiedliche Signalstärken reagieren kann. Außerdem hätte man ihn für jede Entfernung zum Diagnoseobjekt neu kalibrieren müssen, da die Intensität der zu messenden Impulse mit der Entfernung mit $\frac{1}{r^2}$ abnimmt.

In dem Buch „Extreme NXT“ wird eine Schaltung beschrieben und erläutert, wie der NXT intern arbeitet. Demnach hat dieser einen bereits integrierten Analog-Digitalwandler. Auch der Tasteingang wird digital eingelesen. Wir fanden ebenfalls zwei verschiedene Schaltungen zur Spannungsmessung mit dem NXT vor.

Eine Widerstandsbeschaltung mit einem Messbereich von -5 bis +5 Volt, eine zweite mit einem Messbereich von -15 bis +15 Volt. Dabei kann der Analog - Digitalwandler in 1024 Stufen das Messsignal einlesen.

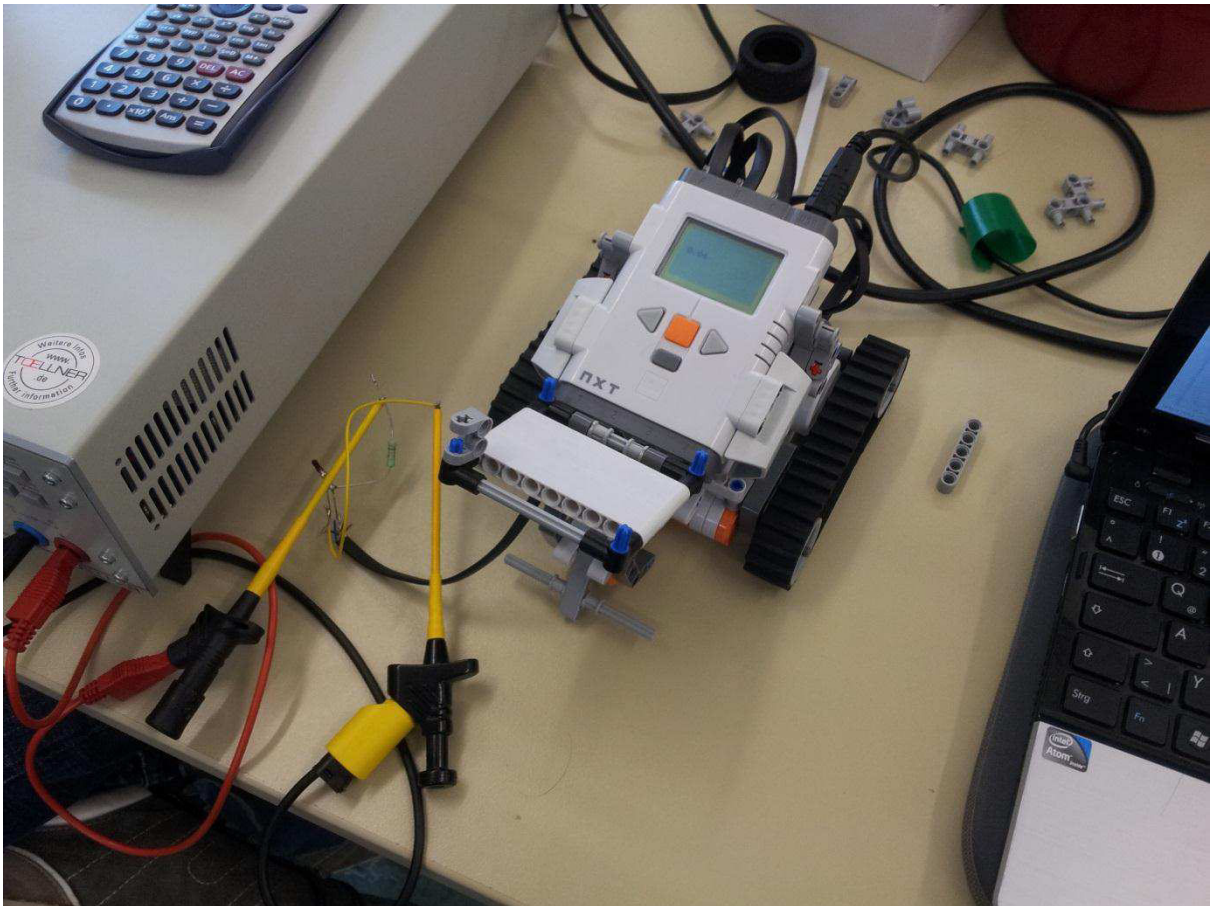


Abbildung 42: Prüfaufbau für die Spannungsmessung mit dem NXT

Hier wurde der Messeingang des Lego® Mindstorms NXT's auf seine Genauigkeit geprüft.

Messwerte der Spannungsmessung am NXT

Quellspannung in V	NXT Messspannung in V	Toleranz in %
1	1,01	1,00
3	2,95	-1,66
5	5,04	0,80
7	7,01	0,14
9	8,99	-0,11
11	11,02	0,18
13	12,99	-0,07
15	14,98	-0,13

Die Messwerte zeigen, dass Messungen mittels des NXT sehr gut möglich sind. Die Toleranzen sind sehr gering und somit bietet er eine gute Grundlage für dieses Projekt.

Nach Messungen an der ausgewählten Verstärkerschaltung ergab sich in verschiedenen Abständen von 0,1 bis 5 Meter zu dem Testsender, der mit einem 500mV Signal gespeist wurde, eine maximale Spannung von 1,6 Volt.

Somit war die vorgegebene Schaltung von -15 bis +15 Volt für einen ersten Aufbau am Roboter und erste Softwaretests des Roboters ausreichend.

Die Schaltung zur Spannungsmessung wurde anschließend von uns modifiziert auf einen Messbereich von -2 bis +2 Volt. Durch die 1024 möglichen Schritte ergibt sich somit eine Messgenauigkeit von 3,9mV. Innerhalb des Ortungsalgorithmus haben wir auf die Normierung der Eingangsgröße des Analog - Digitalwandlers verzichtet, um nicht mit float Größen, sondern mit integer Größen arbeiten zu können. Allerdings muss in den entsprechenden Algorithmen ein 0-Level realisiert werden, da der NXT andernfalls -2V als (int) 0 auffassen würde.

Quelle: 10, 13

Fazit

Die durch die künstlich erzeugten Teilentladungen im Hochspannungslabor entstehenden Ultraschallsignale bestehen nicht aus einem konstanten Signal, wie etwa einer Sinuswelle, sondern sind nur kurzzeitig auftretende Impulse. Daher ist es mit einer einfachen Verstärkerschaltung, die direkt an den Roboter angebunden wird, nicht möglich den Roboter darüber präzise zu navigieren, bzw. die geringe Wahrscheinlichkeit bei dem Suchlauf des Maximalwertes. Auch diese kann von Impuls zu Impuls schwanken.

Ein weiteres Problem ist, dass der Roboter zwar kontinuierlich, aber in großen Zeitabständen abtastet. Dieser arbeitet, ähnlich einer Stapelverarbeitung, erst das gesamte Programm ab, bevor er erneut abtastet. Dies hat zur Folge, dass zum Beispiel während einer Bewegung des Roboters keine Werte erfasst werden. Um einen praxistauglichen Roboter zu bauen, müsste man den Abtastkreis getrennt aufbauen und so hochfrequent betreiben, dass man jeden akustisch aufgenommenen Impuls zuverlässig und Amplitudengenau erfassen kann.

Der Atmel-ARM-Prozessor des Lego® NXT Systems arbeitet zwar mit 48MHz, muss allerdings auch die Motoren und die restliche Programmierung abarbeiten, so dass die Abtastfrequenz zu gering ist für eine realitätstreue Erfassung der Impulse. Eine Abhilfe ist die „Speicherung“ der empfangenen Impulse mittels eines Kondensators, wie es er in diesem Projekt auch eingesetzt wurde. Die Messgenauigkeit leidet zwar massiv, aber es ist ein Erfassen des Signals möglich.

Weiterhin ist der Analog - Digitalwandler des NXT für einen Realitätseinsatz nicht geeignet. Die Auflösung von gerade einmal 1024 Stufen ist für eine akzeptable Messgenauigkeit nicht ausreichend.

Um einen einsatzfähigen Roboter zu erhalten, muss eine Schaltung entworfen werden, die nachdem die Signale verstärkt wurden, diese unabhängig von der restlichen Steuerung des Roboters speichert und dem Roboter messwerttreue Daten liefern kann.

Nur durch einen geeigneten Algorithmus auf geeigneter Hardware könnte exakt die stationäre, höchste Amplitude ermittelt werden und die TE sicher geortet werden.

Die Ortung wäre auch deutlich schneller, da die Messwerte während der Bewegung erfasst werden könnten und nicht nur, wie beim NXT, in den „Pausen“ zwischen den Bewegungsschritten.

Zudem muss noch erwähnt werden, dass es in dem kurzem Zeitraum des Projektes nicht möglich war, den Roboter vollkommen autonom durch einen Raum zu bewegen.

Es konnte in dem Projekt gezeigt werden, dass die Ortung von Teilentladungen über Ultraschall möglich ist, diese funktioniert allerdings mit den gegebenen Mitteln nur zuverlässig bei einer „Speicherung“ über einen Kondensator und einer konstanten Signalquelle aus einem Frequenzgenerator. Bei den im Labor erzeugten Teilentladungen sind die Impulszeiten und die Amplituden zu stark schwankend, um sie mit einer niedrigfrequentierten analog-digitalen Schaltung auswerten zu können.

Es konnte anhand der Messungen an den Sensoren mit professionellem Equipment gezeigt werden, dass die Sensoren fein genug arbeiten, um die Teilentladungen zu erkennen und zu orten.

Ein Erfolg des Projektes ist, dass eine Verstärkerschaltung aufgebaut werden konnte, die auch unter Belastung eines E-Feldes und H-Feldes signalgetreu verstärkt. Diese arbeitet demnach auch in der Nähe von Hochspannungsleitungen nahezu fehlerfrei.

Der Roboter wurde, wie schon beschrieben, erfolgreich aufgebaut und die vorhandenen Sensoren konnten softwaretechnisch so ausgenutzt werden, dass diese an die Grenzen ihrer Genauigkeit stießen. Es konnte ein feiner Messbereich von 1024 Schritten erzielt werden, wie es in der Vorbereitung dieses Projekts nicht erwartet wurde.

Mit der Software konnte der erforderliche Algorithmus zur Ortung der Teilentladung realisiert und hardwarespezifisch, für höhere Genauigkeit, angepasst werden.

Unter den gegebenen Bedingungen ist die Konzeption der Ultraschallortung von Teilentladungen mittels eines Roboters erfolgreich realisiert worden. Das Ergebnis ist für den industriellen Einsatz teilweise verwertbar und lässt sich an mögliche Einsatzbedingungen anpassen, erweitern und modifizieren. Durch weitere Hardwareanpassungen kann die Messgenauigkeit auf das gewünschte Maß erhöht und die Ortung der TE präzisiert werden.

Quellenverzeichnis

Abbildungen

1. KÜchler – Hochspannungstechnik: Grundlagen ISBN-13: 978-3540214113
2. http://web367.login-102.hoststar.ch/bilder%20gross/kirlian_schraubenschluessel.jpg
3. KÜchler – Hochspannungstechnik: Grundlagen ISBN-13: 978-3540214113
4. www.Conrad.de
6. <http://www.transkom.at/ghoststation.htm>
7. http://www.servotechnik.de/fachwissen/EMV/f_beitr_00_802.htm
8. <http://www.hobby-bastelecke.de/elektro/stoerspannungen.htm>
12. OMICRON MI 600 Handbuch
13. Screenshot der OMICRON Software für MPD und MI Messeinheiten
17. Elektronik: Lehr und Übungsbuch für Grundsaltungen ISBN 13: 978-3834824516
18. Franzis Lernpaket Experimente mit Ultraschall ISBN 13: 978 -3645651059
19. Franzis Lernpaket Experimente mit Ultraschall ISBN 13: 978 -3645651059
- 24 - 41. Screenshot der Programmoberfläche des NXT 2.0

Inhalt

1. KÜchler – Hochspannungstechnik: Grundlagen ISBN-13: 978-3540214113
2. <http://de.wikipedia.org/wiki/teilentladung>
3. IEC 60270
4. <http://de.wikipedia.org/wiki/Ultraschall>
5. US-NF-Konverter Handbuch von ELV
6. <http://www.spectral.de/emv/emv7.html>
7. http://www.demvt.de/publish/viewfull.cfm?objectID=E6E21186_AA5F_4AB8_9A321BD7355A24B8
8. http://de.wikipedia.org/wiki/Kapazitive_Kopplung
9. OMICRON MPD600 Handbuch
10. <http://de.wikipedia.org/wiki/Schallintensität>
11. Elektronik: Lehr und Übungsbuch für Grundsaltungen ISBN 13: 978-3834824516
12. Franzis Lernpaket Experimente mit Ultraschall ISBN 13: 978 -3645651059
13. Extreme Nxt ISBN 13: 978 – 1430224532
14. Handbuch Lego® Mindstorms NXT 2.0