



DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

## HANNOVER

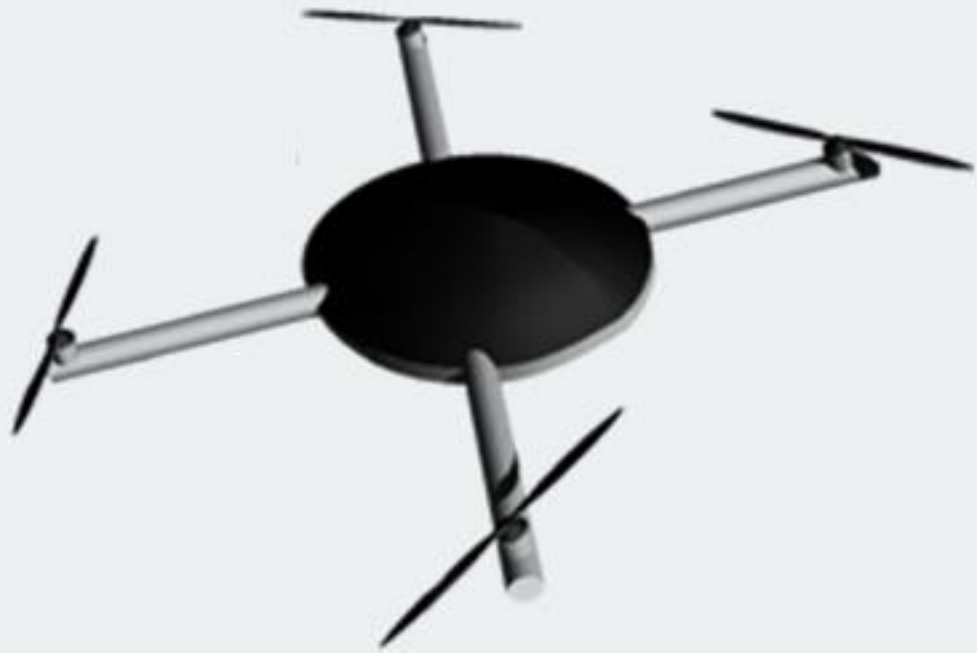


### **Quadrocopter zur Zerstörungsfreien Prüfung**

Jan Scheffler  
Jan-Niklas Wehde  
Johannes Schneider  
Jan Florian Mittelstädt

**Schule:**

BBS-BE Berufliches Gymnasium  
Hannover



# Quadrocopter

zur

## Zerstörungsfreien Prüfung

GSI mbH NL SLV Hannover  
BBS | ME BGT Hannover

Jan Scheffler  
Jan-Niklas Wehde  
Johannes Schneider  
Jan Florian Mittelstädt

## 1 Kurzfassung

Windkraftträder, Brücken oder auch Gebäude, sie alle sind der Witterung und Naturgewalten ausgesetzt. Die zerstörungsfreie Prüfung und Suche nach dadurch entstandenen Mängeln an Schweißnähten gestaltet sich dabei oft schwierig oder gefährlich. Eine Optimierung bietet die visuelle Prüfung aus der Luft mit Hilfe eines Quadrocopters. Dieses neuartige Luftobjekt bietet sowohl eine ruhige Fluglage, als auch die ausreichende Zugkraft, um geeignete Kameras zu tragen.

Unter dem Projektnamen *VFI – Visual Flight Inspection* wurden wir von der GSI mbH NL SLV Hannover beauftragt, einen geeigneten Quadrocopter zu entwickeln und zu fertigen.

Dazu gehört neben der Softwareentwicklung auch das Konzipieren und Entwerfen eines stabilen, tragfähigen und kostengünstigen Gerüsts, sowie einer leistungsfähigen und funktionsreichen Schaltung, die auf die Softwareansprüche optimiert sein muss.

Aus einer Marktanalyse und den gegebenen Anforderungen wurden Kriterien detailliert aufgestellt, sodass der Quadrocopter in Reichweite, Preis und Benutzerfreundlichkeit überzeugen soll.

Für das Gerüst des Quadrocopters verwenden wir Aluminium, da dieses besonders preisgünstig und gut zu verarbeiten ist. Das Gerüst besteht aus einer Grundplatte und vier Auslegern. Auf der Grundplatte werden die elektronischen Komponenten befestigt. An den Auslegern werden die Motoren befestigt.

Der Quadrocopter wurde in der Werkstätten der GSI mbH NL SLV Hannover gefertigt.

Für die Schaltung werden folgende Komponenten benötigt und nach aufgestellten Kriterien ausgewählt. Motoren, Rotoren, Akkus, Sensor, Sender/Empfänger, Steuerungseinheit, LEDs.

Um die Kompatibilität mit der Software sicherzustellen, wurde die Steuerungseinheit durch ein programmierbares Board mit einer selbst entworfenen Platine ersetzt, auf der die Sensoren befestigt und die anderen Hardware-Komponenten angeschlossen wurden. Dazu mussten Ein- und Ausgänge funktionell richtig und optimiert verknüpft werden.

Aus dem Auftrag, einen Quadrocopters komplett neu zu entwerfen und zu bauen, folgt auch der Anspruch, die Software sowohl für die Steuerungseinheit (Mikrokontroller) auf dem Gerüst als auch für den Benutzer am Boden zu entwickeln.

Dabei haben wir uns dafür entschieden, die diversen elektrischen Bauteile auf dem Gerüst mit einem sogenannten Arduino-Board anzusteuern. Diese kleinen Rechner bietet unzählige Vorteile, wie auch eine eigene Entwicklungsumgebung. Zudem soll dem Benutzer die Möglichkeit geboten werden, den Quadrocopter zu steuern, indem er eine Software auf dem PC verwendet.

Zu den Aufgaben der Controllers gehören unter anderem das Empfangen von Steuerungsdaten, welche wiederum von der PC-Software versendet werden müssen, und das Ansprechen verschiedener elektrotechnischer Komponenten wie Motoren und Sensoren. Die Software für den Benutzer hingegen soll genau auf den Zweck zugeschnitten sein, um eine leichte und übersichtliche Bedienung zu ermöglichen.

## 2 Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung .....	2
3	Einleitung .....	4
3.1	Fragestellung .....	4
3.2	Zielsetzung .....	4
3.3	Forschungsstand .....	4
4	Vorgehensweise .....	5
4.1	Vorgehensweise .....	5
4.2	Materialien .....	5
4.3	Methoden .....	6
4.4	Schwierigkeiten .....	6
5	Ergebnisse .....	7
5.1	Fertigung des Gerüsts .....	7
5.2	„Hochzeit“ der Hardware .....	7
5.3	Besondere Ereignisse .....	8
6	Diskussion .....	8
6.1	Weiterführende Planung .....	8
6.2	Bewertung der Ergebnisse .....	9
6.3	Schlussfolgerungen .....	9
7	Zusammenfassung .....	9
8	Literaturverzeichnis .....	10

## 3 Einleitung

### 3.1 Fragestellung

Unser Projekt ist die Antwort auf die Suche nach einem Hilfsmittel zur optimalen und sicheren Sichtprüfung. Dazu muss geklärt werden, was für Anforderungen der Quadrocopter, der unter dem Projekt gefertigt und entwickelt werden soll, erfüllen muss. Außerdem ist die optimale Lösung zu finden, die sowohl leistungs- als auch kostenoptimiert ist.

### 3.2 Zielsetzung

Das Ziel des Projektes ist es einen flugfähigen Quadrocopter zu entwerfen und zu fertigen, der zur zerstörungsfreien Prüfung optimiert ist. Diese soll mittels einer Kamera durchgeführt werden, welche der Quadrocopter als Last tragen muss.

Um vollkommen auf den Anwendungsbereich optimiert zu sein, soll der Quadrocopter in allen uns möglichen Bereichen selbst entwickelt werden, das gilt vor allem für den Bau des Gerüsts und die Softwareentwicklung.

Der Quadrocopter soll in seiner Benutzerfreundlichkeit, Flugstabilität und Reichweite überzeugen. Außerdem sollen die einzelnen Komponenten leicht austauschbar sein, damit der Quadrocopter immer weiter entwickelt werden kann.

### 3.3 Forschungsstand

Momentan sind die sogenannten Multicopter sehr beliebt, sowohl bei Hobbyfliegern, als auch bei Unternehmen, die diese für verschiedene Anwendungszwecke nutzen. Jedoch existieren nur wenige unterschiedliche Software-Unternehmen. Meist sind diese nicht auf ein Anwendungsgebiet spezialisiert, bieten damit übermäßig viele Funktionen und haben damit eine sehr einsteigerunfreundliche Benutzung. Weiterhin sind die Anschaffungskosten solcher „Profimodelle“ sehr hoch.

Des Weiteren wurde das gesamte Projekt in einer Projektarbeit über 147 Seiten dokumentiert.

## 4 Vorgehensweise

### 4.1 Vorgehensweise





Das Projekt wurde im Rahmen einer Projektarbeit von der bbs|me in Hannover gestartet.

Mit einem Lehrerteam wurden dann die Rahmenbedingungen festgelegt. Durch das strukturierte Erstellen und Ausarbeiten der Projektarbeit nach den ausgewählten Methoden konnte das Projekt strukturiert und geordnet durchgeführt werden.

Im ersten Schritt, dem Planen, haben wir uns überlegt, welche Komponenten für einen Quadrocopter benötigt werden. Nach genauerer Auflistung wurde für jeden dieser Komponenten ein Lösungsvorschlag erstellt. Nach Abwägen mehrerer Lösungsmöglichkeiten haben wir uns dann jeweils für ein bestimmtes Konzept entschieden.

Diese Abwägung wurde mit Hilfe von Entscheidungsmatrizen durchgeführt.

Hier ein Beispiel für eine Entscheidungsmatrix: (In diesem Fall für die Auswahl des Aluminiumprofils der Ausleger)

Kriterien	Rundprofil 	Vierkantprofil 	Abgerundetes Vierkantprofil 	Dreieckprofil 
<b>Gewichtersparnis</b>	Gut	Schlecht	Mittel	Gut
<b>Fertigungsaufwand</b>	Einfach	Sehr einfach	Sehr Schwer	Sehr schwer
<b>Optik</b>	Sehr gut	Mittel	Gut	Mittel
<b>Sicherheit</b>	Sehr gut	Schlecht	Gut	Sehr Schlecht
<b>Aufnahme der momenten Spannung</b>	schlecht	Sehr gut	Sehr gut	Mittel
<b>Abdruckfläche</b>	Sehr gut	Sehr schlecht	Gut	Schlecht

Nach der Auswahl der Lösungen für die einzelnen Komponenten wurden diese dann von uns entworfen und entwickelt.

In der letzten Phase, der Ausarbeitung, wurden dann die ersten Komponenten des Prototypen gefertigt und getestet.

### 4.2 Materialien

Die umgesetzten Materialien beschränken sich bei der Erstellung einer PC-Software im Wesentlichen auf die Entwicklungsumgebung von Microsoft Visual C# 2010. Zusätzlich wird ein handelsüblicher Microsoft xBox 360 Controller und der Funksender zur Benutzung der Software benötigt.

Zum Erstellen der FlightCtrl wird ein MikroController, sowie eine geeignete Programmiersoftware benötigt. Des Weiteren wird zum Einstellen der Regelung des automatischen Austarierens in die waagerechte das Gerüst des Quadrocopters benötigt.

Wir verwenden einen Arduino Mega 2560 und keine bereits vorprogrammierte FlightCtrl, da so unsere Individualität im Nachrüsten von Funktion (z.B. Kamera Nachrüstung) nicht eingeschränkt wird.

### 4.3 Methoden

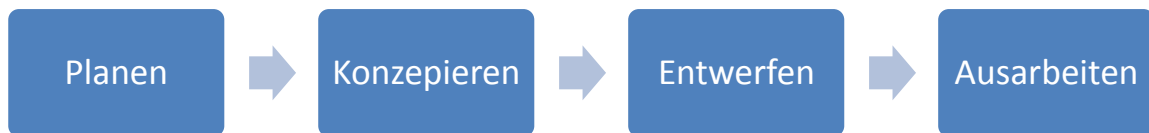
Das Projekt wurde nach der VDI 2222 und der Projektmanagementmethode durchgeführt.

Das Planen wird nach der VDI 2222 <sup>1</sup> definiert. Dieses ist die erste Phase, die ein Projekt nach der VDI 2222 durchläuft. Hier wird das Projekt niedergeschrieben und es wird ein Entwicklungsvorschlag erstellt. Wichtige Punkte, wie z.B. die Beurteilung der technisch-wirtschaftlichen Aussichten sind wichtige Inhalte, die abgearbeitet werden müssen.

Die VDI 2222 ist in vier Phase gegliedert: Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten.

Eine weitere wichtige Phase der VDI 2222 ist die Konzeptionsphase.

Die Konzeptionsphase ist laut der VDI 2222 die Phase, in der die Aufgabenstellung geklärt wird. Außerdem wird in dieser Phase das Projekt in abstrakter Form formuliert, um möglichst neue Lösungsvorschläge zu erhalten. Außerdem wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen gegliedert, um jedes einzelne Element optimal zu entwickeln.



### 4.4 Schwierigkeiten

In dem Projekt waren sehr viele unvorhersehbare Probleme aufgetreten. Einerseits umfasst das Projekt sehr viele komplexe Themengebiete. Andererseits hatte keiner der Projektmitglieder Vorkenntnisse im Modellbau.

Vor allem bei Veränderungen kam es oft zu unvorhergesehenen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten, sowohl im Themengebiet der Hardware, als auch bei Gerüst und der Software.

Ein aktuelles Beispiel sind die Beeinflussungen auf den Lagesensor, die durch Schwingungen der Motoren stammen. Erst nach einer langen Testphase haben wir die Ursache für das Problem gefunden. Durch mehrere getestete Lösungsvorschläge entwickelten wir eine temporäre Lösung.

<sup>1</sup> Pahl; Beitz : 2005 : Kapitel 4-8 (Planen-Konzipieren-Entwerfen-Ausarbeiten)



## 5 Ergebnisse

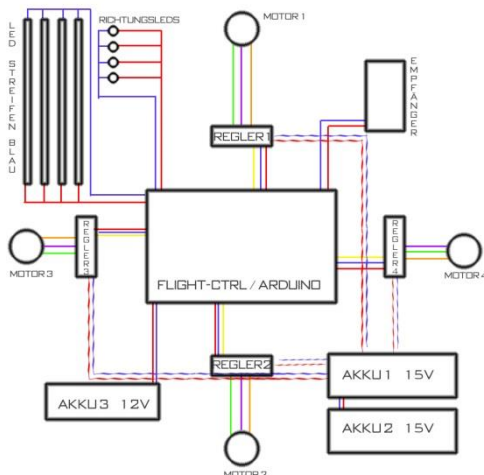
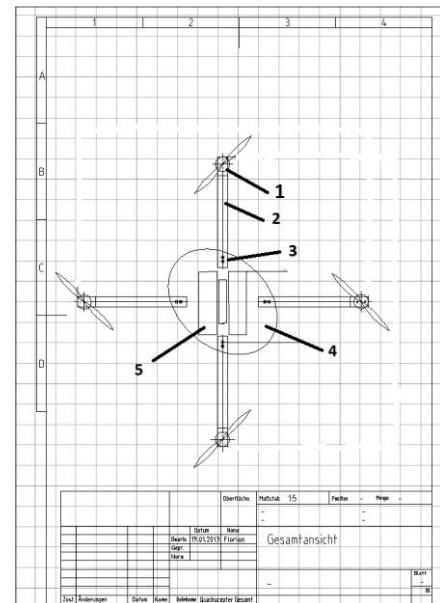
Vorweg ist zu sagen, dass das Projekt noch nicht abgeschlossen ist und weiterhin bearbeitet wird. Tag zu Tag kommen wir unserem Ziel, sicher zu fliegen, näher. Der aktuelle Stand ist soweit, dass wir mit den Testflügen beginnen können.

### 5.1 Fertigung des Gerüsts

Das Gerüst ist bereits gefertigt worden. Nach der Planung und Ausarbeitung der einzelnen Komponenten wurde dieses erfolgreich gefertigt.

In der rechten Abbildung sehen Sie eine grobmaßstäbliche Zeichnung des Gestelles.

Der Copter besteht aus einer Grundplatte (Pos. 3) und vier Auslegern (Pos. 2). Die Ausleger sind alle symmetrisch angeordnet, und daher können auch für jeden Ausleger die gleichen Annahmen getroffen werden. Der Motor wird mittels zweier M3 Schrauben am Ende des Auslegers befestigt (Pos. 1). Das andere Ende des Auslegers ist ebenfalls mittels zweier M3 Schrauben an der Grundplatte von der Unterseite befestigt (Pos.3). In der Mitte der Grundplatte werden die drei Akkus so angeordnet, dass der Schwerpunkt der Masse im Mittelpunkt liegt (Pos. 5).



### 5.2 „Hochzeit“ der Hardware

Wichtig bei der Auswahl war die Kompatibilität unter den einzelnen Komponenten. Dabei sind wir von der programmierbaren Steuerungseinheit bis zu den leistungsstarken Motoren Schritt für Schritt vorrangegangen.

Nachdem alle Komponenten, die für die Flugfähigkeit Voraussetzung sind, ausgewählt wurden, konnten sie nach dem rechts abgebildeten Schema miteinander verknüpft werden.

Um möglichst effektiv zu arbeiten und Fehlerquellen bei der Verknüpfung auszuschließen, entschieden wir uns, eine Platine zu entwerfen, die mit der Steuerungseinheit verbunden wird und auf der alle Komponenten durch Steckverbindungen angeschlossen werden können. Die Platine wurde professionell von der Friends-of-Fritzing e.V. geätzt und von uns bestückt.



## 5.3 Besondere Ereignisse



Über unsere Schule durften wir unseren Quadrocopter bereits auf der Ideen-Expo 2013 erfolgreich vorstellen.

Auf der Messe wurden wir auf der TV-Bühne zu unserem Projekt interviewt. Diese Messe hat uns sehr viele nützliche Informationen für unser Projekt gebracht, da wir Gespräche mit Projektleitern und mit einem Professor über die richtige Werkstoffauswahl führen konnten.

## 6 Diskussion

### 6.1 Weiterführende Planung

Da immer neue Funktionen geplant und Ideen eingebracht werden, ist das Projekt noch nicht beendet.



Einerseits ist ein wichtiger Teil das Einbauen einer Kamera für Aufnahmen bei der Sichtprüfung, andererseits versuchen wir den Quadrocopter mit weiteren sicherheitsdienenden Funktionen zu gestalten, wie zum Beispiel mit Ultraschallsensoren zur Abstandserkennung (siehe Abbildung). Damit können wir

sicherstellen, dass der Quadrocopter im Flug einen Sicherheitsabstand zu Objekten in der Nähe einhält und damit nicht durch Flugfehler, die durch den Benutzer oder äußere Einflüsse ausgelöst werden, mit diesen Objekten kollidiert.

## 6.2 Bewertung der Ergebnisse

Im Rückblick können wir auf einen bisher erfolgreichen Verlauf des Projektes *VFI* blicken. Die Planung ist mit neu erlangtem Wissen erfolgreich abgeschlossen und auch das Konzipieren und Entwerfen konnte nach kleineren Zwischenfällen erfolgreich abgeschlossen werden.

Zu größeren unvorhergesehenen Problemen kam es nur bei der Ausarbeitung, da meist das nötige Fachwissen fehlte. Durch Recherchen konnten die meisten Barrikaden jedoch aus dem Weg geräumt werden. Vor allem die bereits angesprochenen Schwingungen, die die Motoren erzeugen und die sensible Elektronik beeinflussten, haben beim Lösen viel Zeit gefordert. Im Endeffekt konnten sie durch Dämpfungsmaterialien von der Elektronik abgeschirmt werden.

Um wirklich einen sicheren Flug garantieren zu können, müssen nun viele Testflüge unternommen werden, die sich in ihrem Anspruch steigern, um alle weiteren Fehlerquellen zu erkennen und zu beheben.

Bei der Konzipierung und Ausarbeitung der Software, sowohl für den PC als auch für den Mikrocontroller, sind immer wieder neue Schwierigkeiten aufgetreten, die wir durch neue Gedankengänge und unterschiedliche Lösungsansätze beinahe komplett lösen konnten.

Aus diesen Problematiken konnten wir neues Fachwissen erlangen und fühlen uns für die Erweiterung der Software bis hin zur endgültigen Fertigstellung gewappnet.

Themen, die auf jeden Fall noch zu untersuchen sind, sind die Sicherung des Funkverkehrs mit einer besseren Codierung und die fehlerfreie Ansteuerung der Motoren, sowie der Umstieg auf den I<sup>2</sup>C-Bus. Diese Arbeiten befinden sich bereits in Bearbeitung und wir haben auch hierbei einen enormen Wissenszuwachs zu verzeichnen.

## 6.3 Schlussfolgerungen

Wir sind mit dem Verlauf des bisherigen Projektes sehr zufrieden und motiviert, immer wieder Neuerungen und Verbesserungen zu integrieren. Es war und ist spannend etwas Neues zu entwickeln, einzubauen und erfolgreich zu testen.

Wir haben zwar noch nicht an unser endgültiges Ziel erreicht, kommen ihm jedoch Tag für Tag ein Stück näher.

## 7 Zusammenfassung

Das Gestell wurde bereits gefertigt und die benötigte Elektronik wurde montiert. Die Software zum Steuern des Quadrocopters ist ebenfalls fertiggestellt. Jedoch müssen Parameter, die für die Regelung des Austarierens notwendig sind, noch experimentell ermittelt werden.

Alle grundlegenden Notwendigkeiten wurden erfolgreich entwickelt und gefertigt. Insofern haben wir einen flugfähigen Quadrocopter gebaut. Mit dem beginn der ersten Flugversuche, werden sich wahrscheinlich noch weitere Probleme zeigen, auf deren Lösung wir uns jedoch bereits jetzt freuen.

## 8 Literaturverzeichnis

- Wikipedia. (07. Dezember 2007). Abgerufen am 03. Februar 2013 von Wikipedia:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/VDI-Richtlinie>
- Bohinc, T. (2010). *Grundlagen des Projektmanagements*. Gabal.
- Conrad Electronic SE. (2009). *conrad.de*. Abgerufen am 21. Februar 2013 von  
[http://www.conrad.de/ce/de/product/239509/Hacker-LiPo-Akku-111-V-1800-mAh-25-C-  
/SHOP\\_AREA\\_20058&promotionareaSearchDetail=005](http://www.conrad.de/ce/de/product/239509/Hacker-LiPo-Akku-111-V-1800-mAh-25-C-/SHOP_AREA_20058&promotionareaSearchDetail=005)
- EOS. (kein Datum). Abgerufen am 05. Januar 2013 von  
<http://www.eos.info/produkte/werkstoffe/werkstoffe-aus-kunststoff/carbonmide.html>
- Esden-Tempski, P. (2008). *Diplomarbeit: Positionsbestimmung und -regelung für das autonome Landen eines Quadrocopters auf einer Basisstation*. Abgerufen am 21. Februar 2013 von  
<http://www.esden.net/content/quadrocopter/bat.pdf>
- Heli Shop <sup>TM</sup>. (2013). *heli-shop.com*. Abgerufen am 23. Februar 2013 von <http://www.heli-shop.com/shopdetails/GA222005.pdf>
- HiSystems GmbH. (2013). *mikrocontroller.com*. Abgerufen am 21. Februar 2013 von  
<http://www.mikrocontroller.com/ucwiki/>
- HiSystems GmbH. (2013). *mikrokoetter.de*. Abgerufen am 20. Februar 2013 von  
<http://www.mikrokoetter.de/ucwiki/MikroKopterEinstieg>
- HiSystems GmbH. (2013). *mikrokoetter.de*. Abgerufen am 20. Februar 2013 von  
<http://www.mikrokoetter.de/ucwiki/LiPo>
- Monkeybox Bauer & Siehl GbR. (2013). *Monkeytoys.de*. Abgerufen am 20. Februar 2013 von  
[http://www.monkeytoys.de/elektronik-modellbau-brushless-technologie-c-867\\_478.html](http://www.monkeytoys.de/elektronik-modellbau-brushless-technologie-c-867_478.html)
- Pahl, & Beitz. (2005). *Konstruktionslehre*.
- Wikimedia Foundation Inc. (26. Juli 2012). *Wikipedia - Pulsphasenmodulation*. Abgerufen am 19. Februar 2013 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Pulsphasenmodulation>
- Wikimedia Foundation Inc. (8. Januar 2013). *Wikipedia - Quadrocopter*. Abgerufen am 19. Februar 2013 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Quadrocopter>
- Holger Lübker (15. April 2010). *Macherzin.net* Abgerufen am 14.01.2014 von  
<http://www.macherzin.net/article15-Aduino-Sensoren-Ultraschall-Parallax>
- HeliWiki. (20. 01 2013). *Fernsteuerung*. Abgerufen am 18. 02 2013 von Fernsteuerung:  
<http://wiki.rc-heli-fan.org/index.php/Fernsteuerung#PPM>
- mikrocontroller.net. (09. 01 2013). *Pulsweitenmodulation*. Abgerufen am 18. 02 2013 von  
<http://www.mikrocontroller.net/articles/Pulsweitenmodulation#Weblinks>
- NR-Wissen. (10. 03 2013). *rn-wissen*. Abgerufen am 13. 01 2014 von  
<http://www.rn-wissen.de/index.php/Regelungstechnik>