

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Projekt 2, WiSe 2013

Jan Ruhnke

Project AMEE a Quadruped Rough Terrain Robot

Jan Ruhnke

ruhnke@enapse.de

# Project AMEE a Quadruped Rough Terrain Robot



Studienarbeit eingereicht im Rahmen der Veranstaltung Master Projekt 2

im Studiengang Master of Science Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. rer. nat. Gunter Klemke

Abgegeben am 28.02.2013

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Motivation .....	1
1.2	Ziele von Projekt 2 .....	1
<b>2</b>	<b>Konstruktion</b> .....	<b>2</b>
2.1	Aufbau .....	2
2.2	Antriebe .....	4
2.3	Ausgewählte Konstruktionsdetails .....	5
2.4	Spann und Fuß .....	6
2.5	Übersicht eines Beins .....	8
<b>3</b>	<b>Elektronik</b> .....	<b>8</b>
3.1	Leistungselektronik .....	8
3.2	Elektronik des Beinkontrollers .....	10
<b>4</b>	<b>Software</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Fertigung</b> .....	<b>11</b>
5.1	Anmerkungen .....	12
<b>6</b>	<b>Sponsoring</b> .....	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>A</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>D</b>

# 1 Einführung

Das Projekt 2 führt die Arbeiten aus Projekt 1 [Ruh123] und die Ausarbeitungen [Bet12] [Ruh121] [Ruh122] des studentischen Projekts *AMEE* fort. Das Projekt *AMEE* soll einen kompletten *Quadruped Rough Terrain Robot (QRTR)* realisieren. In Projekt 1 konnte gezeigt werden, dass das angestrebte Softwarekonzept realisiert werden kann. Mit Hilfe des Lego Mindstorm® Systems konnte ein primitiver Prototyp des Roboters *AMEE* und dem Layer-Konzept inkl. des Event-Systems getestet werden. Dieses Proof of Concept war erfolgreich. Es wurden Eckdaten und Grundkonzepte der Antriebe und Sensoren festgelegt.

## 1.1 Motivation

Primär ist hier das sogenannte *USAR-Szenario* [Ruh11]. Für das Projekt *AMEE* wird dieses Szenario vorerst auf das Laufen einer Maschine in unebenem Gelände beschränkt. Motivation ist hier auch die komplette mechanische-, elektronische- und Softwarerealisierung. Andere *QRTRs*, in dieser Größenklasse, sind im Hochpreissegment angesiedelt. Im Projekt *AMEE* besteht auch die Herausforderung darin, einen *QRTR* mit relativ geringen finanziellen Mitteln zu fertigen und zu realisieren. Vor allem sind aber die neuen (2005-2013) Softwarekonzepte eine fordernde Aufgabe für das Team. Als Endvision wird der *AlphaDog (LS3)* der Firma Boston Dynamics [Bos13] angesehen. Dieses Ziel ist aber eine Langzeitvision.

## 1.2 Ziele von Projekt 2

In den Vorarbeiten [Ruh11] wurde das mechanische low-cost Prinzip mit einem funktionsfähigem Bein getestet. Das Ziel im Projekt 1 war, das Softwarekonzept in seinen Grundzügen zu testen. Da diese Fragestellungen experimentell positiv getestet wurden, ist der Schwerpunkt in Projekt 2 die mechanische Konstruktion des Roboters. Diese wurde in Projekt 2 abgeschlossen und die mechanische Fertigung beginnt mit dem Ende von Projekt 2. Nebenläufig wurden die Grundkonzepte der Elektronik und Leitungselektronik aufgestellt.

## 2 Konstruktion

Für die Konstruktion des mechanischen Aufbaus wurden circa 240 Stunden mit Unterstützung eines Maschinenbauers aufgewendet. Aus diesem Grund werden nur die grundlegenden Funktionsweisen und einige ausgewählte Designentscheidungen dargestellt. Das Konstruktionsprinzip ist hauptsächlich den Anforderungen der Informatik unterworfen. Es wurden natürlich maschinenbauübliche Verfahren verwendet, aber die meisten Designentscheidungen wurden durch die Erfordernisse des Softwarekonzepts, aus der Bachelor Thesis von Jan Ruhnke [Ruh11], entschieden. Für die Konstruktion des Roboters *AMEE XW2* (Realisierung des AMEE Projekts) war die einfache Fertigung und die Kostenminderung leitend. Die Konstruktion beginnt mit der Wahl eines Antriebstypen. Die minimale Gliederlänge wird durch die Größe und Bauart der Antriebe bestimmt.

Die grundlegende Funktionsweise wurde mit Cinema 4D® R13 / R14 modelliert. Dieses Funktionsmodell wurde mit Cinema 4D Dynamics® erweitert, damit ein reales physikalisches Verhalten simuliert werden kann. Von einem Maschinenbauer wurde dieses Modell um genaue Größen erweitert und in eine Konstruktionszeichnung übertragen. Zwischen dem virtuellen Modell und der Konstruktionszeichnung wurde mehrfach gewechselt, da einige Details nicht zu fertigen waren oder im Modell zu schwach ausgelegt waren. Nach diesem Prozess wurden Einzelzeichnungen der Bauteile für die Fertigung erstellt. Diese Einzelzeichnungen wurden dann in 3D Modelle mit SolidWorks® (CAD-Software) übertragen. Aus den Einzelteilen wurde in SolidWorks® eine sog. Baugruppe erstellt, die das Zusammenspiel der Bauteile simuliert. Auch hier handelte es sich wieder um einen iterativen Prozess, bei dem Fehler erst bei der virtuellen Montage entdeckt wurden. Einige Bauteile konnten direkt aus den SolidWorks® 3D-Modellen in eine CNC-Fräse (Fertigung) übertragen werden.

### 2.1 Aufbau

Der Roboter AMEE XW2 ist von Säugetieren inspiriert. In Abbildung 2-1 werden abstrakte Entsprechungen der Gliedmaßen dargestellt. Es werden die Ausdrücke der menschlichen Entsprechungen<sup>1</sup> verwendet.

---

<sup>1</sup> Die formal korrekten Ausdrücke wären in der Abbildung 2-1 von oben nach unten: Rücken, Blatt / Becken, Oberarmbein, Unterarmbein, Mittelfußknochen, Zehenknochen bzw. Pfote [Sch96]

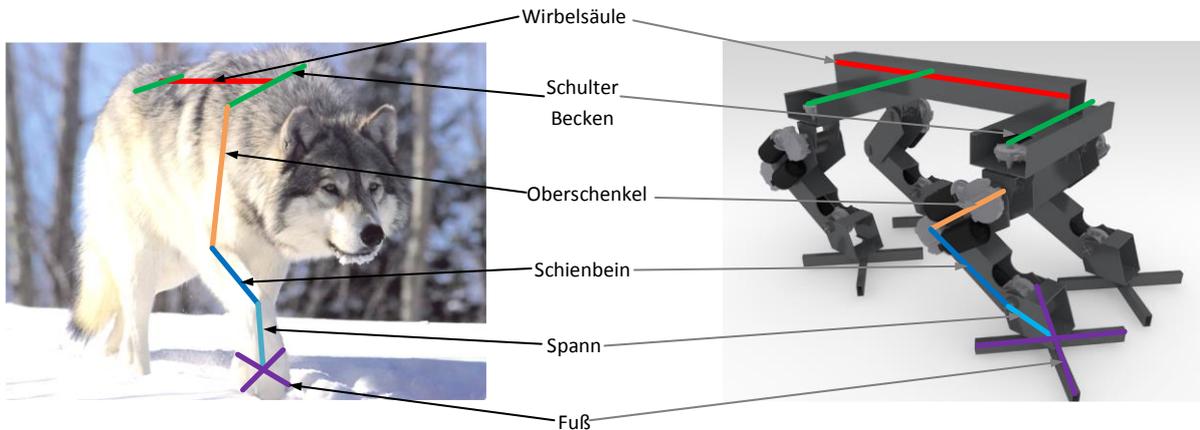


Abbildung 2-1 Abstraktion des Laufsystems mit menschlichen Entsprechungen

Bei jedem Bein handelt es sich um ein DOF 4 System. Der Workspace bildet eine dreiviertel Kugel, mit der Schulter als Mittelpunkt.

Die Wirbelsäule ist zurzeit starr und mit nur 8 Schrauben an den Schultern fixiert. Sie kann dadurch einfach gekürzt werden, um ein optimales Gleichgewicht zu ermitteln. Zudem könnte in Zukunft der Roboter um eine bewegliche Wirbelsäule erweitert werden.

Das Schultergelenk ist in zwei unabhängige Achsen unterteilt, da die Umsetzung eines Kugelgelenks schwierig zu fertigen und anzutreiben wäre. Das Bein kann senkrecht gedreht werden und mit dem zweiten Antrieb (entspricht dem Gesäßmuskel) kann der Oberschenkel bewegt werden. Dieser Antrieb ist im Gegensatz zur Natur am Oberschenkel befestigt, damit das Motorgehäuse, bei Drehbewegungen der Schulter, nicht gegen die Schulter / Hüfte stößt.

Die eigentliche Entsprechung des Oberschenkelmuskels ist ebenfalls am Oberschenkel befestigt und dreht das Schienbein über das Knie. Das Knie hat einen mechanischen Drehwinkel von ca. 200 Winkelgrad. Um eine eindeutige Lösung in der inversen Kinematik [Ruh11] zu garantieren, wird dieser auf ca. 180 Winkelgrad per Software beschränkt.

Der Antrieb für den Spann und Fuß entspricht dem Wadenmuskel und ist im Oberschenkel montiert. Dieser Antrieb konnte in das Vierkantprofil integriert werden. Dies war möglich, da der Hebelarm im Fuß wesentlich kleiner ist als bei den anderen Gliedern. Weiterhin nimmt auch das resultierende Drehmoment, zum Fuß hin, ab. Damit konnte auf eine verstärkte Konstruktion im Fußgelenk verzichtet werden und ein optisch „schöneres“ Schienbein konstruiert werden. Am Spann ist der eigentliche Fuß befestigt. Für Stabilitätstests ist der Fuß noch relativ groß. Dieser ist einfach konstruiert und kann leicht gekürzt bzw. modifiziert werden.

## 2.2 Antriebe

In Projekt 1 war die Motorwahl und der Lieferant noch unklar, da im low-cost Segment keine passenden Antriebe verfügbar waren. Dabei musste ein Kompromiss aus Gewicht, Drehmoment, Läuferträgheitsmoment, Drehzahl und Kosten gefunden werden. Dieser Zusammenhang wurde im Projektbericht 1 [Ruh123] genauer diskutiert. Es war auch ein 12V System geplant, damit handelsübliche Bauteile aus dem Fahrzeugbau verwendet werden konnten. Das erforderliche Drehmoment von mindestens  $70\text{Nm}^2$  kann aber nicht mit einem 12V Antrieb und ca. 30U/min erzeugt werden. Bedingt durch diesen Umstand wurde die komplette Stromversorgung auf 24V umgestellt. Diese Designentscheidung wirkt sich direkt auf das Design der Elektronik (Kapitel 3) aus.

Als Antriebe für das Laufsystem werden 16 DC-Schneckengetriebemotoren verwendet. In den Gliedern werden zwölf Antriebe vom Typ XDW092001-01 der Firma Ott verwendet. Für die Schulterdrehung wird der Antriebstyp 404360 der Firma Valeo (auch Firma Ott) verwendet.

Antriebstyp	XDW092001-01 ①	404360 ②
Anlaufdrehmoment	90Nm	83Nm (kurzzeitig)
Nenn Drehmoment	20Nm	8Nm
max. Drehzahl	27 U/min	48 U/min
Nennspannung	24V	24V
Gewicht	4,3 kg	1,7kg

Tabelle 2-1 Daten der Antriebe

Die Antriebe in den Gliedern werden als Direktantriebe verwendet und müssen im Getriebe die komplette Robotermaße tragen können. Aus Sicherheitsgründen empfahl hier die Firma Ott den Antrieb ①, da das Getriebe und die Lagerung für diese Belastung ausgelegt sind. Zudem hat die Überdimensionierung des Antriebs auch direkte Auswirkungen auf die Kontrollersoftware. Bei steigenden Bewegungen (klettern), mit langem Hebelarm, kann auf eine Modellierung der sog. Totpunkte verzichtet werden. Durch das hohe Drehmoment existieren keine Gliederstellungen, aus denen sich der Roboter nicht mehr selbständig befreien kann. Für die Schulterdrehung kann ein leichter Antrieb verwendet werden, da diese nur kurzzeitig mit weniger Last bewegt wird. Bedingt durch die Konstruktion lastet auch nicht die Robotermaße auf diesen Antrieben, wodurch ein schwächeres Getriebe ausreichend ist. Durch diese Designentscheidung wird auch die Schwerpunkthöhe des Roboters verringert,

<sup>2</sup> Dieser Wert wurde durch eine MatLab® Simulation [Ruh12] des Laufsystems, mit einer Robotermaße von ca. 85kg, ermittelt.

weil diese Antriebe am höchsten Punkt wesentlich leichter sind als die tieferliegenden Gliederantriebe.

Leider haben diese Antriebe keine durchgehende Antriebswelle, sondern nur eine Welle zu einer Seite. Dieser Umstand verursachte erhebliche Änderungen an der geplanten Konstruktion.

### 2.3 Ausgewählte Konstruktionsdetails

Folgend einige ausgewählte Konstruktionsdetails, die nicht offensichtlich sind. Teilweise wird auch auf die Modellierungshintergründe eingegangen, die diese Designentscheidungen beeinflusst haben.

**Schulter:** Um die Schulter drehen zu können, konnte ein schwächerer (siehe 2.1) Antrieb verwendet werden. Dabei dürfen nur die Drehkräfte auf den Antrieb bzw. das Getriebe wirken. Bedingt durch die Modellierung der analytischen inversen Kinematik, muss die Schulterachse auf einer vertikalen Linie mit den anderen Gliederachsen liegen. Über den eigentlichen Antrieb wird ein großes stützendes Lager gelegt. Es besteht aus einer Grundplatte in der sich eine Messingscheibe frei drehen kann. Das Schultergelenk (transparent in Abbildung 2-3 dargestellt), um das Bein zu schwenken, ist mit dieser Messingscheibe fest verbunden. An dieser hängt das gesamte Bein und wird durch einen Stahlring (grüntransparent dargestellt) gehalten. Damit der Bein-Kontroller überhaupt den Drehwinkel erfassen kann, wird ein Folienpotentiometer vom Typ SensoFoil® der Firma Hoffmann und Krippner verwendet. Durch die extrem flache Bauform der SensoFoil® (0,5mm) kann dieser zwischen Stahlring und Schultergelenk geklebt werden. Dazu wird die Messingscheibe 2mm höher gefertigt, damit sich ein Spalt für das Poti ergibt.

**Kraftübertragung:** Da die Antriebe keine durchgehende Antriebsachse haben, musste eine Möglichkeit gefunden werden die Drehkraft auf beide Seiten der Glieder zu übertragen. Hier am Beispiel der Verbindung

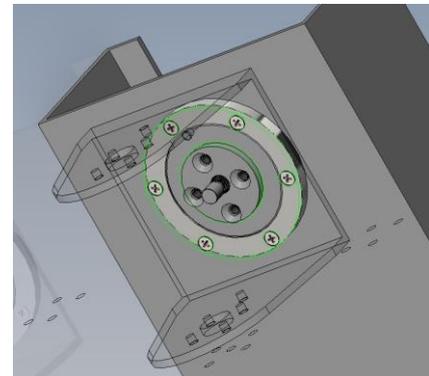


Abbildung 2-3 Lager der Schulter

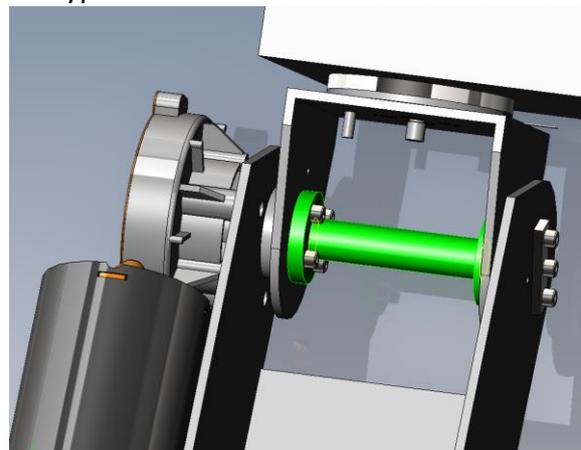


Abbildung 2-2 Kraftübertragung vom Oberschenkel

zwischen Schultergelenk und Oberschenkel. Der Antrieb (links in Abbildung 2-2) soll sich gegenüber der Schulter verdrehen. Als Lösung wurde hier eine Rohrtraverse (grün in Abbildung 2-2 dargestellt) zur Kraftübertragung verwendet. Das Antriebsgehäuse ist am Oberschenkel befestigt und die Antriebsachse ragt durch den Oberschenkel durch. Dabei hat diese keinen direkten Kontakt zum Schultergelenk oder zum Oberschenkel. Die Antriebsachse ist nur mit der Rohrtraverse, über eine Passfeder verbunden und dreht diese. Um nun die Kraft von der Rohrtraverse auf das Schultergelenk zu „leiten“, wird die Rohrtraverse mit dem Schultergelenk fest verschraubt. Dadurch werden beide Seiten der Schulter gleich belastet und einem Verdrehen der Glieder vorgebeugt.

**Parkposition:** Wie das Prototypenbein aus der Bachelor Thesis [Ruh11], können auch die

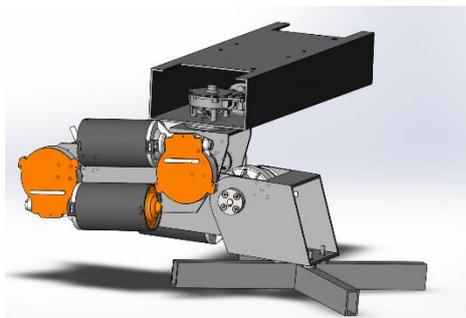


Abbildung 2-4 Parkposition der Beine

Beine von AMEE XW2 in eine platzsparende Parkposition (Abbildung 2-4) gefahren werden. Dies dient aber nicht nur dem leichteren Transport des Roboters, sondern wird von einer sog. Panikfunktion des Hauptkontrollers verwendet. Das Konzept des Hauptkontrollers basiert auf dem Deliberative- / Reactive-Layer Konzepts [Ruh122], bei dem eine Schrittfolge im Voraus berechnet wird. Ein nicht abwendbarer Sturz des Roboters, wird circa eine

Sekunden vor den Sturz vom Hauptkontroller erkannt.

Tritt diese Situation ein, werden die Beine möglichst schnell in die Parkposition gefahren. In dieser Position haben die Glieder feste Anschläge und die mechanische Belastung liegt nur noch gering auf den Antrieben. Zudem sind in dieser Position, die wirkenden Hebelarme der Glieder wesentlich kürzer. Würde sich der Roboter dann überschlagen, werden damit die möglichen Schäden minimiert.

Aus Sicht der Beincontroller kann diese Position verhältnismäßig schnell angefahren werden. In einer Notfallsituation werden die Glieder fast ungebremst in die obigen Anschläge gefahren, was ca. 30% weniger Zeit benötigt. Durch die große Läufermassenträgheit der Antriebe, wird normalerweise mit einer abfallenden Geschwindigkeit eine Position angefahren. Damit wird ein Überfahren der Zielposition verhindert. In den Beincontrollern ist bereits eine „Panik“-Funktion implementiert, die dieses Verhalten umsetzt.

## 2.4 Spann und Fuß

Der eigentliche Fuß, der unter dem Spann montiert wird (Abbildung 2-1), stellt einen experimentellen Versuch dar. Das erste Prototypenbein aus der Bachelor Thesis [Ruh11] hatte

bewegliche „Zehen“. Diese sollten sich den Bodenunebenheiten anpassen. Es zeigte sich aber, dass inaktive bewegliche Zehen keinen Vorteil für den Halt des Fußes bringen. Zudem wurde bei einem Probeaufbau (Projekt 1, Lego®-AMEE [Ruh123]) festgestellt, dass immer der Zeh voll belastet wurde der zum Mittelpunkt des Roboters zeigt.

Abhilfe könnten hier nur aktiv versteifbare Zehen bringen. Beim Aufsetzen des Fußes würden sich diese Zehen locker den Bodenunebenheiten anpassen. Wird dann der Fuß mit dem vollen Robotergewicht belastet, würden die aktiven Zehen in dieser Position blockiert werden.



Abbildung 2-5 Unbekannter NASA Entwurf [Hof00]

Dieses Problem scheint auch bei anderen Roboter bekannt zu sein. Der in Abbildung 2-5 dargestellte Entwurf eines aktiven Fußes, wurde für ein unbekanntes NASA Projekt erstellt und im Kinofilm „Red Planet“ einmalig gezeigt [Hof00].

Für einen ähnlichen Fuß wurden eigene Konstruktionskizzen erstellt, die aber leider technisch zu aufwendig sind. Der Fertigungsaufwand wäre ebenso hoch, wie für ein komplettes Bein des Roboters. Eine Implementierung in die Beinkontroller wäre aber mit wenig Aufwand verbunden.

Aus diesen Gründen wurde für die Realisierung von AMEE XW2 auf bewegliche Zehen

verzichtet. Sie können sich als Ganzes, gegenüber dem Fuß um ca. 1-2mm neigen. Dies dient aber nicht der Boden Anpassung, sondern der Belastungserfassung des Fußes. Zwischen Fuß und Zehen befinden sich vier Drucksensoren. Diese werden benötigt, um ein Feedback für die beratende KI im Hauptkontroller [Bet12] zu liefern.

## 2.5 Übersicht eines Beins

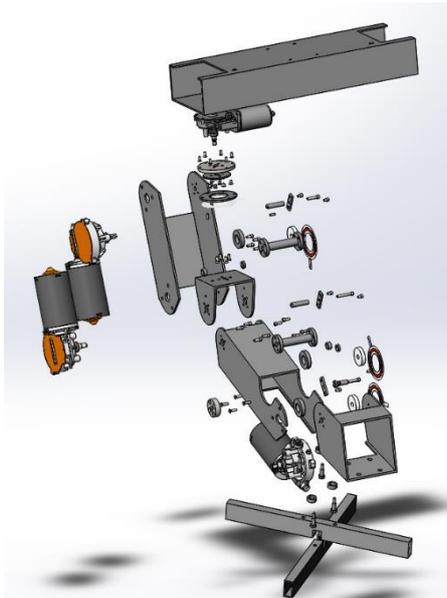


Abbildung 2-6 Explosionsdarstellung eines Beins

Der komplette Aufbau eines Beins wird in Abbildung 2-6 dargestellt. Durch die Prämisse der Kostenreduktion, wurde ein Aufbau mit sehr wenigen Teilen erreicht. Zudem basiert der Grundkörper der Glieder auf handelsüblichen Aluprofilen. Die Einzelteile sind leicht zu fertigen. Aufgrund der Einfachheit der Teile, sind aber die Antriebe am Oberschenkel etwas kompliziert zu montieren. Als Winkelsensoren werden in allen Gelenken SensoFoil® Folienpotentiometer verwendet, die von der Firma *Hoffmann und Krippner* speziell für AMEE XW2 gefertigt und gestiftet wurden. Die Antriebe wurden von der Firma *Ott Antriebe* zum Selbstkostenpreis geliefert. Einiges an Halbzeug (Rohmaterial) wurde uns von der HAW-Zentralwerkstatt kostenfrei überlassen. Zurzeit (17.02.2013) steht die Montage noch aus.

## 3 Elektronik

Der QRTR AMEE XW2 erfordert wegen seines neuartigen Softwarekonzepts [Ruh11] [Bet10] auch eine eigens entwickelte Elektronik. Auch für die externen Beinkontroller wird ein neues Layout erstellt, weil es für den verwendeten MCU-Typ keine fertig aufgebauten Platinen gibt.

### 3.1 Leistungselektronik

Alle Antriebe haben bei Vollast eine Stromaufnahme von circa 9.500W. Jeder Antrieb in den Gliedern kann 27A bei 24V aufnehmen. Für diese Leistungsdaten gibt es keine fertig aufgebaute Leistungselektronik. Aus diesem Grund muss leider auch eine eigene Leistungselektronik (Treiberplatine) erstellt werden.

Das Prototypenbein aus der Bachelor Thesis [Ruh11] verwendete schwächere Antriebe, die mit 12V betrieben werden konnten. Hierzu wurde eine fertig aufgebaute Treiberplatine verwendet. Dabei kamen 12V Treiberchips der Firma ST Microelectronics zum Einsatz, die relativ einfach angesteuert wurden. Weiterhin lieferte er Rückgabedaten über die momentane Stromaufnahme der Antriebe, die direkt im Beinkontroller als Kollisionskontrolle genutzt wurde.

Bei der jetzigen Realisierung muss die Stromversorgung, aufgrund der stärkeren Antriebe, auf 24V umgestellt werden. Hierfür kann die alte Leistungselektronik nicht mehr verwendet werden. Der Chiphersteller ST bietet hierzu auch einen funktionsähnlichen 24V Typen des Treiberchips an. Bei genauerer Recherche stellte sich leider heraus, dass die angegebene Betriebsspannung von 24V sehr nahe an der Abschaltspannung liegt. In einigen Foren wurde davon berichtet, dass dieser Treiberchip nur unterhalb von 24V voll belastet werden kann. Leider gibt es zu diesem Treiberchip keine bekannten Alternativen. Eine weitere Alternative wäre es, eine eigene Leistungsendstufe aufzubauen. Aufgrund der Schwingungsneigung dieser Schaltungen wurde aber auch von dieser Alternative Abstand genommen.

Für die Leistungselektronik kommt folglich nur der oben beschriebene Treiberchip VNH5019A-E in Frage. Damit muss aber die absolut maximale Betriebsspannung und damit die Klemmenspannung der Akkus auf maximal 23V begrenzt werden. Dies schränkt leider auch die verfügbare Akkuauswahl ein. Fertig aufgebaute 12V Blei-Gel-Akkus liefern real 13,2V bei voller Ladung. Dies würde 2,4V über der Abschaltspannung des Treiberchips ergeben. Als alternative Akkus sind Li-Po Akkus von Interesse, da diese eine Klemmenspannung von ca. 22V liefern. Nur ist hier die Explosionsneigung von Li-Po abschreckend. Es könnte auch ein Blei-Gel-Akku aus Einzelzellen mit jeweils 2,2V aufgebaut werden. Hier ist im Team noch keine Entscheidung getroffen worden.

Die Leistungselektronik wird nach dem Referenzdesign des Chipherstellers aufgebaut. Hierfür wurde schon ein erstes Platinenlayout erstellt. Zudem wurden einige Modifikationen aus dem Entwurf der Firma Pololu Corp. wie in Abbildung 3-1 dargestellt übernommen. Grenzwertig ist, dass vier dieser Treiberchips auf einer Platine eingesetzt werden sollen. Die vorgesehene Leiterbahnbreite ist, laut Platinenfertiger, mit maximal 30A belastbar. Aus diesen Gründen wird jeder Treiberchip über einen extra Klemmenanschluss mit Spannung versorgt.

Aufgrund der hohen Stromaufnahme, muss die Abwärme der Leistungstreiber abgeführt werden. Hierfür soll die Leistungselektronik in die Schultern von AMEE geschraubt werden, damit die Treiberchips direkt darüber gekühlt werden.

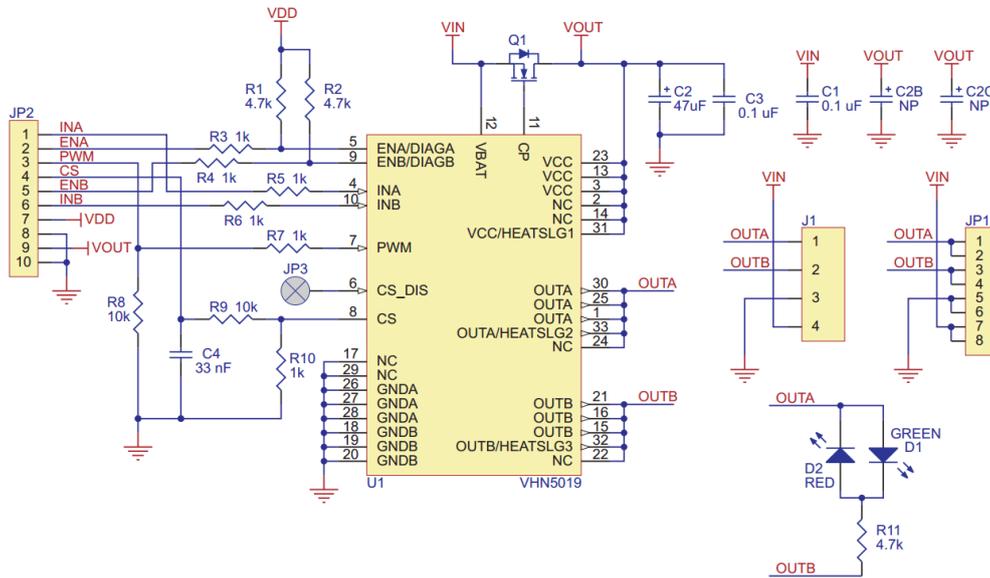


Abbildung 3-1 Layout der Treiberplatine © Pololu Corp.

### 3.2 Elektronik des Beincontrollers

Wie die Versuche in der Bachelor Thesis [Ruh11] gezeigt haben, ist die dort verwendete MCU fast immer voll ausgelastet. Da bei AMEE XW2 noch einige Zusatzfunktionen implementiert werden sollen, muss ein leistungsfähigerer MCU Typ verwendet werden. Hierfür wurde der 32Bit Typ Atmel® AT32UC3C0512C ausgewählt, da dieser neben einer 64Bit Floating Point Unit auch 16 AD-Wandler, Ethernet on Chip und eine Rechenleistung von 99MIPS zur Verfügung stellt. Unterstützt wird diese MCU durch ein ausgereiftes SDK, welches auf Visual Studio 2010® basiert und schon beim Prototypenbein verwendet wurde. Problematisch an dieser MCU ist die Baugröße des TQFP 144 Gehäuses, mit einem Pinabstand von 0,3mm. Dies kann von keinem im Team manuell gelötet werden. Hier sind wir auf die Hilfe eines Auftragsfertiges angewiesen. Leider gibt es zurzeit auch keine Adapterplatine, die die Pins der MCU auf einen größeren Sockel legt. Für den Roboter AMEE XW2 werden fünf<sup>3</sup> identische Platinen mit dieser MCU benötigt.

Auch hier werden die Arbeiten nach der Montage der Mechanik intensiviert.

<sup>3</sup> Es soll für jedes Bein eine MCU verwendet werden. Eine Platine soll zentral als Sensoranbindung (Neigung, GPS usw.) für den Hauptcontroller dienen. Zudem sollen die optischen Sensoren (Kopf) über diese MCU bewegt werden.

## 4 Software

Die Software der Beinkontroller muss auf die neue MCU konvertiert werden. Der aufwendigste Teil dieser Arbeit wird die Konvertierung des Hardwareabstraktionslayers sein, da die alte MCU auf einem 8Bit AVR basiert und die neue MCU ein abgewandelter 32Bit ARM Prozessor ist. Auf dem neuen MCU Typ wurden alle Register mit zusätzlichen Funktionen belegt. Ein vager Anhaltspunkt ist hier der Vergleich der Datenblätter. Das Datenblatt des alten AT Mega 128 umfasst ca. 300 Seiten. Das Datenblatt zum AT32UC3C0512C umfasst zurzeit 1.300 Seiten ohne Codebeispiele.

Hier wurden einige Testprogramme implementiert, um die alte Funktionalität wiederherzustellen. Zudem ist es aber auch verlockend, die neu hinzugekommenen Funktionen der MCU auszunutzen. Erste Testprogramme zeigen, dass die Rechenleistung des AT32UC3C0512C überdimensioniert ist. Aber dies bietet einigen Spielraum für zukünftige Erweiterungen. Die Kosten der neuen MCU sind gleich zu schwächeren Typen.

Weiterhin wurden kleine kritische Teile aus der Hauptkontrollermodellierung rudimentär implementiert. Diese Module sind zwar so nicht im Hauptkontroller zu verwenden, bestätigten aber einige Konzepte die in AW1 [Ruh121] und AW2 [Ruh122] erarbeitet wurden.

Die Arbeiten am Beinkontroller sollen nach der Realisierung der Elektronik intensiviert werden, um sie am realen Aufbau zu testen. Die Arbeiten am Hauptkontroller folgen nach der Konvertierung der Beinkontrollersoftware, weil hier wiederum gegen das reale System getestet werden kann. Die Arbeiten am Hauptkontroller sind zwar abstrakt, aber noch sehr Hardwarenah. Hier macht es keinen Sinn weitere Softwareprototypen, ohne reale Hardware, zu testen. Es würde immer von Annahmen ausgegangen werden, die sich meist nicht in der Realität bestätigen. Das Verhalten des realisierten Roboters ist dafür zu komplex.

## 5 Fertigung

Die Realisierung des Roboters AMEE XW2 begann mit der Fertigung am 4.2.2013 in der Zentralwerkstatt der HAW-Hamburg. Unterstützt durch das sehr ambitionierte Team der Werksatt, konnten bis heute (17.02.2013) 70% der Bauteile gefertigt werden. Hier fertigen die Teammitglieder des Projekt AMEE inkl. Mentor die Teile selbst und werden beratend von den Fachkräften unterstützt. Diese Unterstützung beschränkt sich aber nicht nur auf eine Einweisung in die Fertigungsmaschinen, sondern auch in tatkräftige Unterstützung bei der Herstellung. Zudem werden kritische Bauteile hinterfragt und wenn nötig abgewandelt. Der Fertigungsprozess wird per Foto und Video dokumentiert. Diese Aufnahmen sollen in einer

späteren Dokumentation nochmals aufgegriffen werden. Im Anhang befinden sich einige Impressionen aus der Werkstatt.

## 5.1 Anmerkungen

Für einen Informatiker ist es immerwieder interessant, wie sich die Fertigungstechniken durch den Einfluss der Informatik unbemerkt verändert habe. Die erstellten Fertigungszeichnungen waren für „alte“ Fertigungsmaschinen ausgelegt. D.h. die Bemaßung geht meist von einem zentralen Punkt im Bauteil aus (z.B. einer Bohrung). Durch moderne Fertigungsmaschinen der HAW-Zentralwerkstatt, sind aber oft Maße nötig die von einem gemeinsamen Nullpunkt ausgehen. Also eine Bemaßung, mit einem virtuellen Nullpunkt, wie sie in der Informatik üblich ist. Dies ist aber nur durch Fertigungsmaschinen möglich, die durch ein Softwaresystem gesteuert werden. Dabei ist interessant, das dieser Umstand von den meisten Fachkräften kaum bemerkt wird.

Eine weitere interessante Erfahrung ist es zu sehen, wie aus einer Idee und einem virtuellen 3D Modell ein reales Bauteil wird („...was man in der Hand halten kann“). Dieser Effekt wird noch durch eine automatische CNC-Fräse verstärkt. Das 3D-Modell wird in „die Maschine“ geladen und diese fertigt dann das reale Bauteil. Dieser Prozess könnte schon fast mit dem Wort „materialisieren“ beschreiben werden.

## 6 Sponsoring

Dieses Projekt wird gefördert durch:

HAW Hamburg

Hoffmann + Krippner GmbH

Ott Antriebe GmbH

Microsoft Corp. & Microsoft Deutschland GmbH

Meinen Vater, meinen Mentor Gunter Klemke und Björn Bettzüge meinen Team-Kollegen.

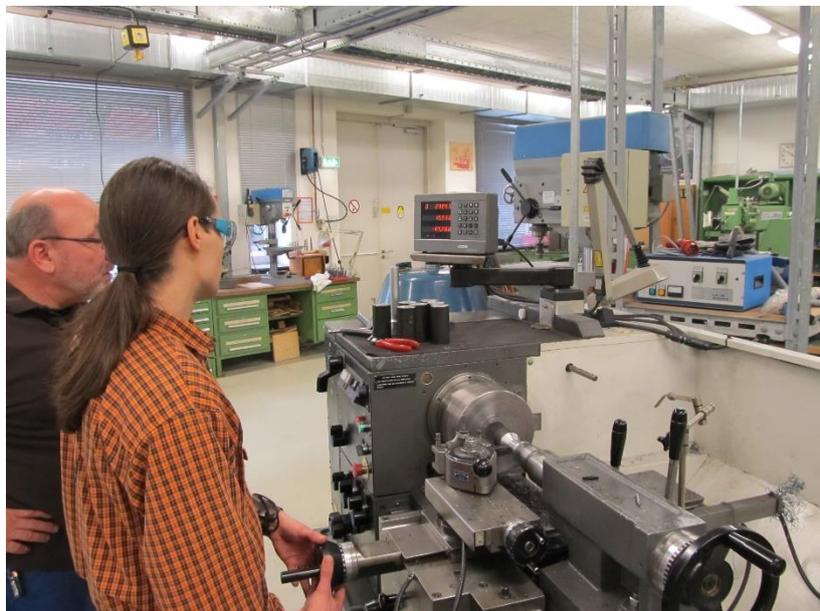
Danke!

## 7 Anhang

Erste Impressionen von der Fertigung. Informatiker der HAW-Hamburg bei artfremder Arbeit in der HAW-Zentralwerkstatt Berliner Tor 5.



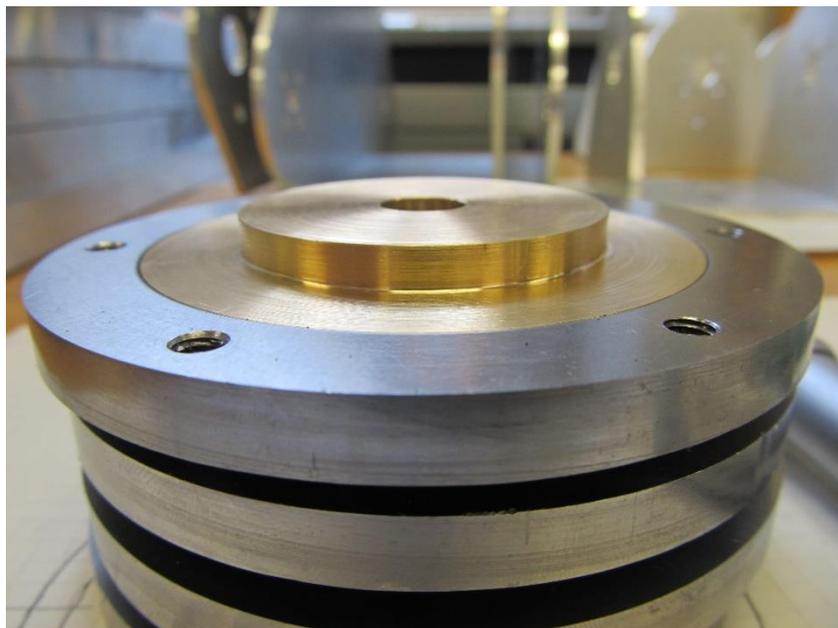
*Abbildung 7-1 Prof. Dr. Gunter Klemke*



*Abbildung 7-2 Björn Bettzüge wird beraten*



*Abbildung 7-3 Jan Ruhnke*



*Abbildung 7-4 Schulterdrehgelenke aus Kapitel 2-3*



Abbildung 7-5 Schultergelenke aus der CNC Fräse



Abbildung 7-6 Die Achsen für die Fußgelenke

## 8 Literaturverzeichnis

[Bet12] **Betzüche, Björn. 2012.** *Foothold Selection for Quadruped Locomotion.* [PDF] Hamburg, Germany : HAW-Hamburg, 2012.

[Bet10] —. **2010.** *Machbarkeitsprüfung zur Entwicklung von SW-Anwendungen mit MS-Robotics Developer Studio für das Robocup Rescue Szenario.* [PDF] s.l., Hamburg : HAW Hamburg, Technische Informatik, Juli 2010.

[Bos13] **Boston Dynamics. 2013.** Boston Dynamics, The LS3. [Online] Boston Dynamics, 09. 02 2013. [Zitat vom: 09. 02 2013.] [http://www.boston-dynamics.com/robot\\_ls3.html](http://www.boston-dynamics.com/robot_ls3.html).

[Hof00] **Hoffman, Antony. 2000.** *Red Planet.* Warner Bros. Pictures, 2000.

[Nac10] **Nachtigall, Werner. 2010.** *Bionik als Wissenschaft.* Heidelberg : Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-3-642-10319-3 .

[Reb08] **Rebula, John R., et al. 2008.** *A Controller for the LittleDog Quadruped Walking on Rough Terrain.* [PDF] Florida 32502, USA : Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2008. jrebula@alum.mit.edu.

[Ruh121] **Ruhnke, Jan. 2012.** *A Walksystem for a Quadruped Rough Terrain Robot, Controller Concepts AW1.* [PDF] Hamburg, Germany : HAW-Hamburg, 2012. AW1.

[Ruh11] —. **2011.** *Entwicklung und Realisierung eines vierbeinigen USAR-Roboter-Laufsystems.* [PDF] Hamburg, Germany : HAW-Hamburg Dep. Technische Informatik, 02. Juni 2011. Bachelor Arbeit.

[Ruh123] —. **2012.** *Projekt 1, Project AMEE a Quadruped Rough Terrain Robot.* Hamburg, Germany : HAW-Hamburg, 2012.

[Ruh122] —. **2012.** *Quadruped Rough Terrain Robot, Controller Concepts, related Works AW2.* [PDF] Hamburg, Germany : HAW-Hamburg, Department Informatik, 30. 08 2012.

[Ruh12] —. **2012.** *Simulation der Drehmomente in einem Roboter Bein, Ausarbeitung Modellierung Technische Systeme .* HAW-Hamburg : s.n., 2012.

[Sch96] **Schneider, Eberhard und Seilmeier, Gerhard. 1996.** Körperbau Seite 439. *Jagd Lexikon.* München : BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1996.