



FACHHOCHSCHUL - BACHELORSTUDIENGANG

Automatisierungstechnik

Konstruktion und Aufbau eines Roboters für die Eurobot 2011

als Bachelorarbeit eingereicht

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science in Engineering

von

MEISINGER Stefan

April 2011

Betreuung der Bachelorarbeit durch

Prof. (FH) PD DI Dr. Martin Egger



Campus **Wels**

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt, die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe und dass die Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

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

.....
Meisinger Stefan

.....
Wallern/Trattnach, 15.04.2011

Kurzfassung

Im Rahmen eines fächerübergreifenden Projektes, wurde ein Roboter für die Eurobot 2011 entwickelt. Dieser mobile und autonome Roboter wurde speziell konstruiert und gebaut, um den Anforderungen an die Eurobot 2011 gewachsen zu sein. Die Arbeit beschreibt die wesentlichen Regeln und Spielelemente der Eurobot 2011. Aus diesen Regeln und Anforderungen wurde der wesentliche Aufbau entwickelt, konstruiert und aufgebaut.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den wesentlichen Komponenten des Roboters, um das Handling der Spielelemente zu beschreiben. Der Kernpunkt dieser Arbeit liegt in den Berechnungen der Beschleunigung, der Geschwindigkeit, des Schwerpunktes und der Belastungen des Roboters. Gegen Ende der Arbeit, wird der entwickelte Roboter mit einem anderen Roboterkonzept verglichen, um Vor- und Nachteile des Konzeptes hervorzuheben.

Des Weiteren soll diese Arbeit als Grundlage für die Entwicklung anderer Roboter dienen.

Abstract

As part of an interdisciplinary project, a robot for Eurobot 2011 was developed. This mobile autonomous robot was designed and built specifically to meet the requirements of the Eurobot 2011. The paper describes the main rules and game elements of the Eurobot 2011. Out of these rules and requirements, the main structure was developed, designed and built.

This work deals with the essential components of the robot, to describe the handling of the game pieces. The core of this work lies in the calculations of the acceleration, the velocity the center of gravity and the loads from the robot. Towards the end of the work the developed robot is compared with another robot concept, to highlight the advantages and disadvantages of the concept.

Furthermore, this work is to serve as the basis for the development of other robots.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Abgrenzung	1
2	Anforderungen	2
2.1	Wettbewerbsanforderungen	2
2.1.1	Spielelemente	2
2.1.1.1	Bauer	2
2.1.1.2	König und Dame	3
2.1.2	Spielfeld	3
3	Aufbau von „Checkmate 2011“	4
3.1	Antrieb	4
3.2	Greifeinheit	5
3.2.1	Greifeinheit vorne	5
3.2.2	Greifeinheit hinten	6
3.3	pneumatische Einrichtung	6
4	Berechnungen	8
4.1	Berechnung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung	8
4.2	Berechnung der aufzubringenden Kraft, um die Haftreibung zu überwinden	11
4.3	Last und Schwerpunktberechnungen	12
4.3.1	Belastungen auf die Antriebsräder und Kugelrollen ohne Last	13
4.3.2	Berechnung des Gesamtschwerpunktes bei Volllast	14
4.3.3	Belastungen auf die Antriebsräder und Kugelrollen bei Volllast	14
4.4	Analyse der dynamischen Belastungen auf die Kugelrollen	15
4.5	Berechnung der Kippsicherheit	16

5 Vergleich mit einem anderen Konzept	18
6 Fazit und Dank	19
7 Verzeichnisse	20

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Die Anforderungen an Roboter und automatisierte Anlagen werden ständig höher und der Grad der Autonomie steigt von Jahr zu Jahr. Dies ist erforderlich, um in Bereichen erfolgreich zu arbeiten, die für den Menschen schwer zugänglich oder lebensgefährlich sind. Der Roboter übernimmt in vielen Bereichen die Aufgaben des Menschen, um diesen zu entlasten und um ein ergonomischeres Arbeiten zu gewährleisten. Um die Forschung voranzutreiben und den Menschen in Zukunft von schwierigen Arbeiten zu entlasten, werden in Europa und der ganzen Welt zahlreiche Roboterbewerbe veranstaltet. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Roboter zu entwerfen welcher den Anforderungen der Eurobot 2011 gewachsen ist.

1.2 Abgrenzung

Der Roboter „Checkmate 2011“ ist ein mobiler, autonomer Roboter der speziell für die Eurobot 2011 konzipiert und gebaut wurde. „Checkmate 2011“ ist daher nur den Anforderungen der Eurobot 2011 gewachsen, da alle Funktionen und Komponenten speziell auf diesen Bewerb abgestimmt wurden.

Diese Arbeit beinhaltet rein die mechanische Auslegung des Roboters. Die Elektronik und Sensorik wurde von anderen Kollegen dokumentiert und entwickelt.

Kapitel 2

Anforderungen

Die Eurobot ist ein Roboterwettbewerb welcher 1998 in Frankreich entstanden ist. Jedes Jahr findet diese Veranstaltung in einem europäischem Land unter einem anderen Motto statt. Dieses Jahr lautet das Motto „Chess´up!“. Die genauen Regeln findet man unter dem Link im Literaturverzeichnis. [\[eur11\]](#)

2.1 Wettbewerbsanforderungen

Jedes Jahr wird Anfang September der genaue Wettbewerbskatalog veröffentlicht. Dieser beschreibt die genauen Aufgaben und Regeln welche im darauffolgenden Bewerb erfüllt und eingehalten werden müssen. Es treten jeweils zwei Roboter auf einem Spielfeld 90 Sekunden gegeneinander an, dabei ist es zu vermeiden, dass diese zusammenstoßen. Da die Vergangenheit gezeigt hat, dass Zusammenstöße nicht vollständig ausgeschlossen werden können, ist es erforderlich, den Roboter relativ massiv zu gestalten, um die Funktion der Komponenten nach einem Zusammenstoß zu gewährleisten.

2.1.1 Spielelemente

Wie im richtigen Schach gibt es auch hier Spielfiguren, allerdings beschränkt man sich bei der Eurobot 2011 auf Bauern, Könige und Damen. Um mehr Punkte zu erreichen, kann man Könige oder Damen auf Bauern stellen.

2.1.1.1 Bauer

Jeder Bauer hat einen Durchmesser von 20cm und eine Höhe von 5cm. Wie in [Abbildung 2.1](#) ersichtlich ist, gibt es insgesamt 15 Bauern auf dem gesamten Spielfeld. Jeder einzelne Bauer zählt zehn Punkte, wenn er vollständig auf der eigenen Spielfarbe platziert wird.

2.1.1.2 König und Dame

Die Basis der Könige und Damen hat die gleichen Abmaße wie die Bauern, allerdings hat jeder König und jede Dame noch einen Aufbau welcher variieren kann. Auf jedem Spielfeld befinden sich zwei Könige und zwei Damen. Jeder König zählt 30 Punkte und jede Dame zählt 20 Punkte, wenn sie vollständig auf der eigenen Spielfarbe platziert werden.

2.1.2 Spielfeld

Das Spielfeld ist $3m \times 2m$ groß mit $35cm \times 35cm$ blauen und roten Feldern. Wie in Abbildung 2.1 ersichtlich ist, gibt es zwei gegenüberliegende Startbereiche. Je nach Spielfarbe startet man im blauen oder roten Bereich.

Zu Beginn des Spieles stehen drei Bauern, ein König und eine Dame zufällig in jeder grünen Ausgabezone. Weiteres befinden sich noch weitere neun Bauern in einer zufälligen Position am Spielfeld, jedoch immer dort wo vier Felder zusammenkommen. Für jedes Team gibt es noch drei Bonusfelder welche zusätzliche Punkte bringen. Zudem hat noch jedes Team zwei geschützte Zonen in denen nur ein Bauer abgestellt werden darf.

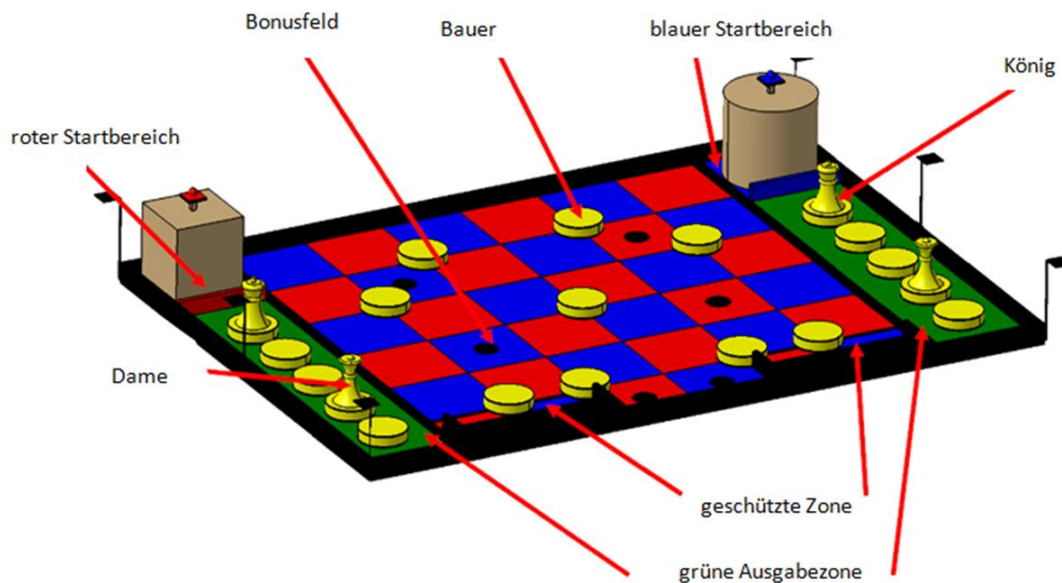


Abbildung 2.1: Isometrische Ansicht des Spieltisches 2011

Kapitel 3

Aufbau von „Checkmate 2011“

„Checkmate 2011“ ist ein mobiler und autonomer Roboter der in der Fachhochschule Wels in einem fächerübergreifendem Projekt entstanden ist. Er wurde speziell für den Einsatz bei der Eurobot 2011 entwickelt. Ziel des Roboters ist es, möglichst viele Bauern, Könige, Damen oder gestapelte Spielelemente auf den eigenen Spielfeldern zu platzieren. Aufgrund der Regeln [eur11] darf der Roboter beim Start einen Umfang von 1200mm und eine Höhe von 350mm nicht übersteigen. Nach dem Start ist der Umfang auf 1400mm beschränkt.

3.1 Antrieb

Um die 90 Sekunden Spielzeit möglichst effizient zu nutzen, wurde eine Antriebseinheit entwickelt, welche sehr dynamisch und genau positionieren kann. Um dies zu erreichen, wurde der Antriebsstrang vom Messsystem getrennt. Die beiden Aluminiumräder mit aufvulkanisierter Silikonschicht werden mit einem 24V DC Motor angetrieben. Wie in Abbildung 3.1 ersichtlich, erfolgt die Momentenübertragung mittels Zahnriemen.

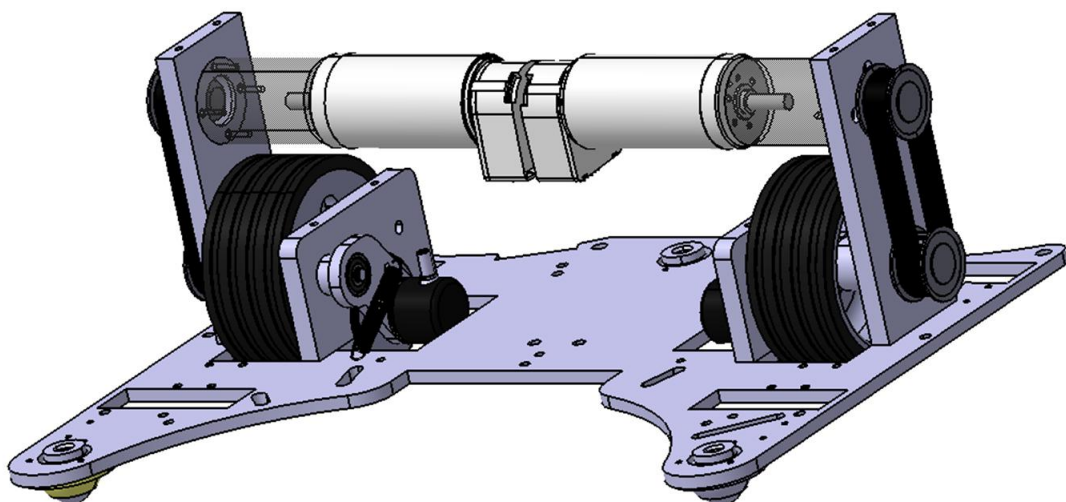


Abbildung 3.1: Antriebseinheit

3.2 Greifeinheit

Wie in Abschnitt 2.1.1 beschrieben ist es am effizientesten, Könige oder Damen auf Bauern zu stellen und am eigenen Spielfeld zu platzieren. Aus diesem Grund wurde der Roboter so konzipiert, dass er Spielelemente stapeln und auch transportieren kann. Durch die in Abbildung 3.2 ersichtliche Greifeinheit, können mit Hilfe eines Linearantriebes und eines selbst konzipierten Greifers, Spielelemente gestapelt werden. Wie in Abbildung 3.3 ersichtlich, ist es zusätzlich möglich, zwei weitere Türme (gestapelte Spielelemente) zu transportieren.

3.2.1 Greifeinheit vorne

Die vordere Greifeinheit des Roboters besteht aus einem beweglichen Greifer welcher auf einem Linearantrieb fix montiert ist. Zusätzlich ist noch ein Greifer fix auf einer gewissen Höhe montiert. Durch den beweglichen Greifer kann das Spielelement aufgenommen und zum fix montierten Greifer hochgefahren werden. Dieser kann das Spielelement übernehmen und auf einer Höhe von etwa 12cm halten. Dadurch können noch zwei weitere Bauern darunter platziert werden, um die Spielelemente aufeinander zu stapeln.

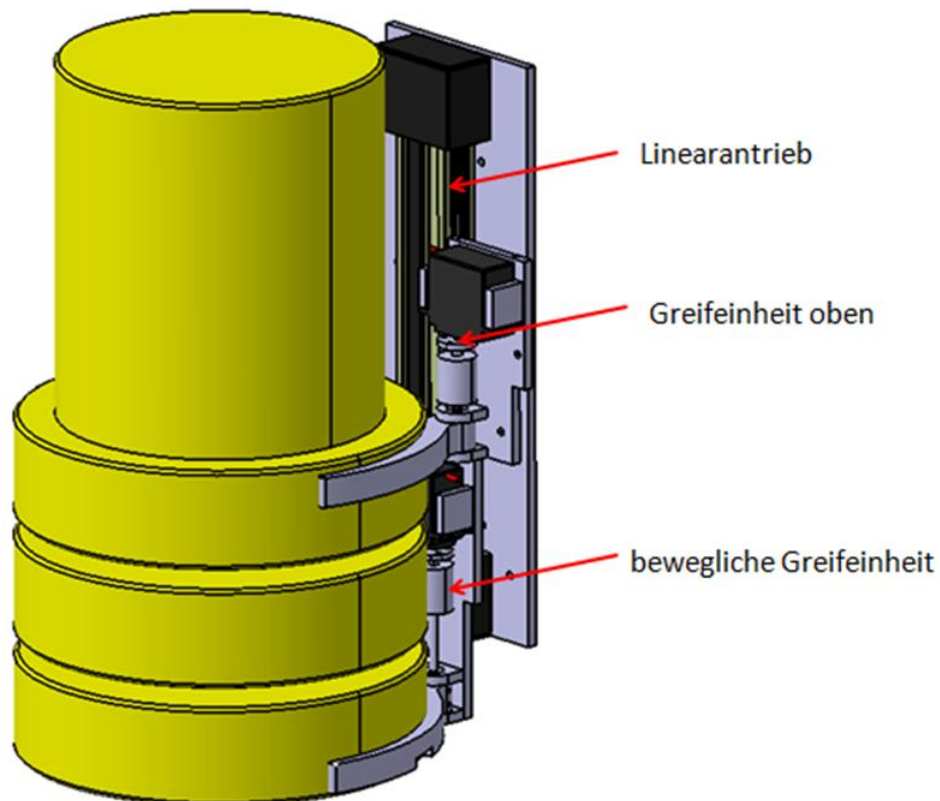


Abbildung 3.2: vordere Greifeinheit

3.2.2 Greifeinheit hinten

Wie in Abbildung 3.3 ersichtlich, ist es möglich, auf der Rückseite des Roboters zwei Türme zu greifen. In den Spielelementen befinden sich zwar Magneten, die die Türme übereinander zentrieren, trotzdem ist die Verwendung von jeweils drei Greifarmen unumgänglich da bei engen Kurven hohe Radialkräfte entstehen. Da die Türme der Rückseite meist gezogen werden, ist es notwendig, die Türme mit Unterdruck am Roboter zu halten. Dies wird durch eine pneumatische Einrichtung welche in Abschnitt 3.3 beschrieben wird, realisiert.

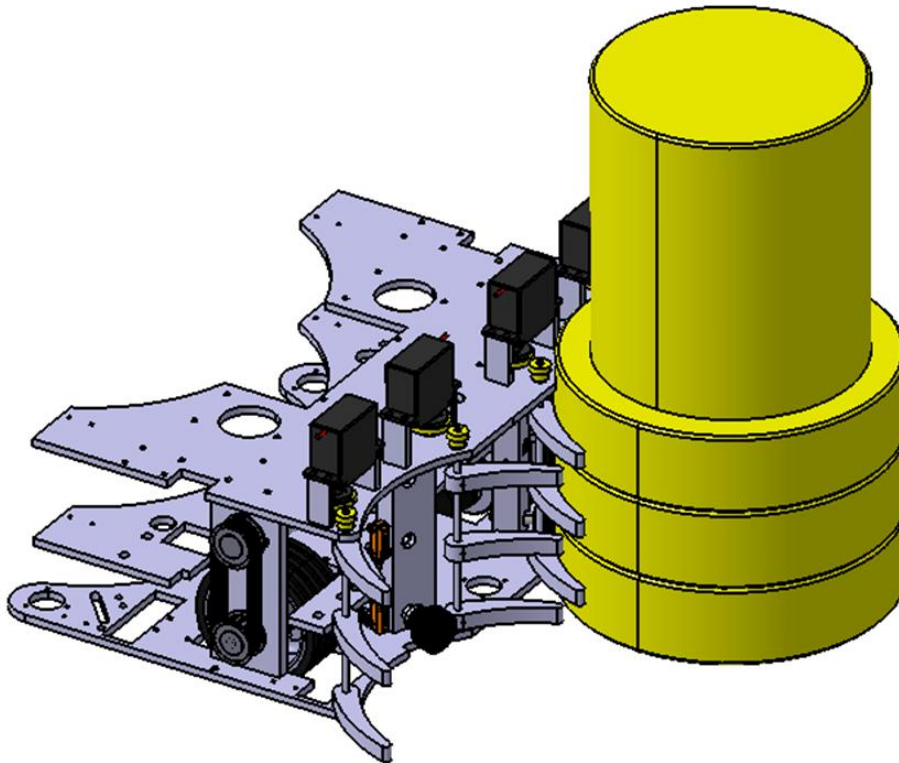


Abbildung 3.3: hintere Greifeinheit

3.3 pneumatische Einrichtung

Da der Roboter jederzeit in beide Richtungen verfahren kann, wurde zum zusätzlichen Festhalten eine pneumatische Einrichtung entwickelt. Wie in Abbildung 3.4 ersichtlich ist, werden auf der Vorderseite Führungsbolzen verwendet, um die Spielelemente zu zentrieren. Die Zentrierung ist notwendig, damit der verfahrbare Greifer das Spielelement in einer exakten Position vorfindet. Um diese exakte Position auch beim Rückwärtsfahren zu gewährleisten, wird vorne ein beweglicher Sauger montiert. Da die hinteren Greifer die Spielelemente nur exakt übereinander schieben, wird das untere Spielelement ebenfalls mit einem Vakuumsauger am Roboter gehalten.

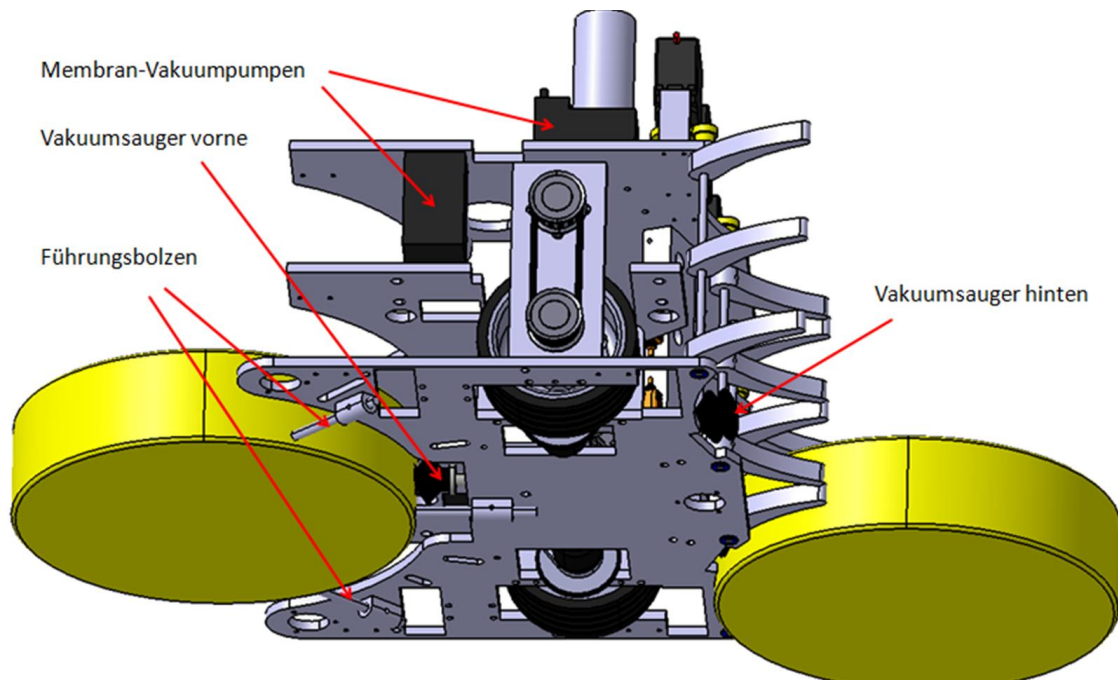


Abbildung 3.4: pneumatische Einrichtung

Um zu verhindern, dass die Spielelemente zu spät losgelassen werden, wurden Entlüftungsventile eingebaut. Um zu erkennen, ob ein Spielelement angesaugt worden ist, wurden Drucksensoren verwendet. Jeder der drei Vakuumsauger wird separat über eine eigene Membran-Vakuumpumpe angesteuert.

Kapitel 4

Berechnungen

In Abschnitt 4.1 wird die mögliche Geschwindigkeit und Beschleunigung des Antriebs errechnet. Die Ermittlung des Schwerpunktes und die Belastung, die auf die Antriebsräder und die Kugelrollen wirken, erfolgt in Abschnitt 4.3. Eine dynamische Berechnung der wirkenden Kräfte auf Antriebsräder und Kugelrollen erfolgt in Abschnitt 4.4. Die Berechnungen beziehen sich meist auf ein Antriebsrad oder eine Kugelrolle, deshalb wird in Kapitel 4 fast ausschließlich mit der halben Gewichts- und Lastkraft gerechnet.

4.1 Berechnung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung

Zu Beginn werden noch einige Grundformeln, die zur Berechnung der Beschleunigung und Geschwindigkeit benötigt werden, eingeführt. Da nur der zweidimensionale Raum betrachtet wird gilt für den Schwerpunktsatz [Dyn09]:

Masse mal Beschleunigung in x-Richtung ist gleich der Summe aller Kräfte in x-Richtung.

$$m \cdot \ddot{x} = \sum F_x \quad (4.1)$$

Masse mal Beschleunigung in y-Richtung ist gleich der Summe aller Kräfte in y-Richtung.

$$m \cdot \ddot{y} = \sum F_y \quad (4.2)$$

Der Drallsatz [Dyn09] lautet:

Massenträgheitsmoment mal Winkelbeschleunigung ist gleich der Summe aller Momente.

$$I \cdot \ddot{\varphi} = \sum M \quad (4.3)$$

Da die oben angeführten Gleichungen nur für einen starren Körper gelten, werden die Massen auf eine reduzierte Masse umgerechnet.

Die Masse m_r beinhaltet die zu beschleunigende Fahrzeugmasse in Längsrichtung plus die zu beschleunigenden Drehmassen am Roboter [mot11].

$$m_r = m + \frac{2 \cdot I + 2 \cdot i^2 \cdot I_M}{r^2} \quad (4.4)$$

Das Trägheitsmoment eines Rades ist in Gleichung 4.5 ersichtlich.

$$I = \frac{1}{2} \cdot m_{RA} \cdot r^2 \quad (4.5)$$

Um diese Berechnungen durchführen zu können, wird in Abbildung 4.1 ein mechanisches Model des Antriebsrades betrachtet.

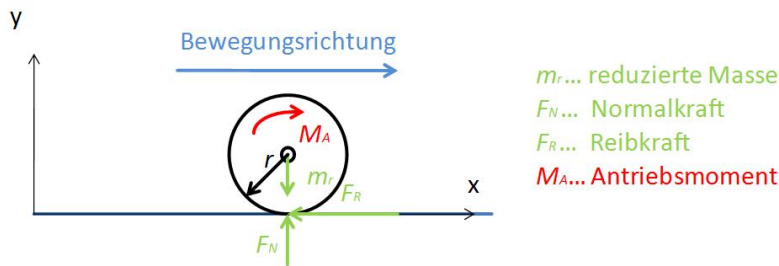


Abbildung 4.1: mechanisches Model des Antriebsrades

Ausgehend vom mechanischen Model wird nun in die oben angeführten Gleichungen eingesetzt. Bei den Berechnungen in Abschnitt 4.1 wird aufgrund der geringen Geschwindigkeiten der Luftwiderstand des Roboters vernachlässigt.

Der Bewegungsrichtung wirkt die Reibkraft F_R entgegen.

$$m_r \cdot \ddot{x} = -2 \cdot F_R \quad (4.6)$$

Gleichung 4.7 zeigt den Drallsatz, beide Momente wirken um den Schwerpunkt des Rades.

$$2 \cdot I \cdot \ddot{\varphi} = 2 \cdot (M_A + F_R \cdot r) \quad (4.7)$$

Um zu gewährleisten, dass es sich um eine Rollbewegung handelt, muss die Reibkraft F_R kleiner gleich der Normalkraft F_N mal dem Haftreibungskoeffizienten μ_H sein [TM04].

$$F_R \leq F_N \cdot \mu_H \quad (4.8)$$

Bei Erfüllung der Rollbedingung gilt:

$$\ddot{x} = r \cdot \ddot{\varphi} \quad (4.9)$$

Um die Reibkraft F_R zu berechnen muss Gleichung 4.6 nach \ddot{x} , 4.7 nach $\varphi \ddot{\cdot} r$ aufgelöst und in Gleichung 4.9 eingesetzt werden.

$$-\frac{2 \cdot F_R}{m_r} = \frac{2 \cdot (M_A + F_R \cdot r)}{m_r \cdot r} \quad (4.10)$$

$$F_R = -\frac{M_A}{2 \cdot r} \quad (4.11)$$

Um die Beschleunigung zu berechnen, muss Gleichung 4.11 in Gleichung 4.7 eingesetzt werden und nach a aufgelöst werden.

$$a = \ddot{x} = \frac{M_A}{m_r \cdot r} \quad (4.12)$$

Die folgende Tabelle zeigt alle relevanten Daten zur Berechnung der Beschleunigung und Geschwindigkeit. Aus dem Motordatenblatt wurden die Motordaten entnommen [tra11] und aus dem Getriebedatenblatt [sho11] das Übersetzungsverhältnis. Die verwendeten Roboterdaten aus Tabelle 4.1 wurden im Catia V5 Modell ermittelt.

Bezeichnung	Formelzeichen	Wert	Einheit
Motordaten			
Nenn Drehzahl	n	6910	U/min
Nennmoment	M_A	0,0933	Nm
Rotorträgheitsmoment	I_M	78,7	$g \cdot cm^2$
Getriebedaten			
Übersetzungsverhältnis	i	15 : 1	-
Roboterdaten			
Masse des Roboters	m	10	kg
Masse des Rades	m_{RA}	0,9	kg
Radius des Rades	r	0,04	m

Tabelle 4.1: Roboterdaten

Aus Tabelle 4.1 können nun die Werte in Gleichung 4.4 eingesetzt werden. Daraus ergibt sich eine reduzierte Masse von $m_r = 11,04kg$.

In Gleichung 4.13 werden nun die Roboterdaten aus Tabelle 4.1 eingesetzt.

$$a = \ddot{x} = \frac{0,0933Nm \cdot 15}{11,04kg \cdot 0,04m} \quad (4.13)$$

Durch das Übersetzungsverhältnis des Getriebes kann eine Beschleunigung von $a = 3,16 \frac{m}{s^2}$ erreicht werden.

Um zu überprüfen ob es sich bei einer Beschleunigung von $a = 3,16 \frac{m}{s^2}$ noch um eine Haftreibung handelt, wird in Gleichung 4.6 eingesetzt. Daraus ergibt sich eine Reibkraft von $F_R = 17,44N$. Durch einsetzen in Gleichung 4.8 ist sofort ersichtlich ob es zu einem durchdrehen der Räder

kommt. Der Haftreibungskoeffizient $\mu_h = 0,5$ wurde aus [WKH97] ermittelt. Die Werte zur Berechnung der Normalkraft $F_N = 11,8kg \cdot 9,81\frac{m}{s^2}$ wurden aus Tabelle 4.1 entnommen.

$$17,44N \leq 115,76N \cdot 0,5 \quad (4.14)$$

Aus Gleichung 4.14 ist ersichtlich, dass bei einer Beschleunigung von $a = 3,16\frac{m}{s^2}$ die Antriebsräder des Roboters nicht durchdrehen.

Die maximal erreichbare Geschwindigkeit kann durch Gleichung 4.15 errechnet werden.

$$v_{max} = \frac{2 \cdot \Pi \cdot r \cdot n}{60 \cdot i} \quad (4.15)$$

Durch einsetzen der Werte aus der Tabelle 4.1 ergibt sich eine maximale Geschwindigkeit von $1,93\frac{m}{s}$.

4.2 Berechnung der aufzubringenden Kraft, um die Haftreibung zu überwinden

In diesem Abschnitt soll die Kraft berechnet werden die aufgebracht werden muss, um den Roboter in Bewegung zu versetzen, wenn dieser beladen ist. In Abbildung 4.2 ist ersichtlich, dass maximal ein Bauer vorne und zwei Türme hinten am Boden aufliegen. Das Gewicht eines Bauern wurde mit 400g und die eines Königs oder einer Dame mit 600g festgelegt.

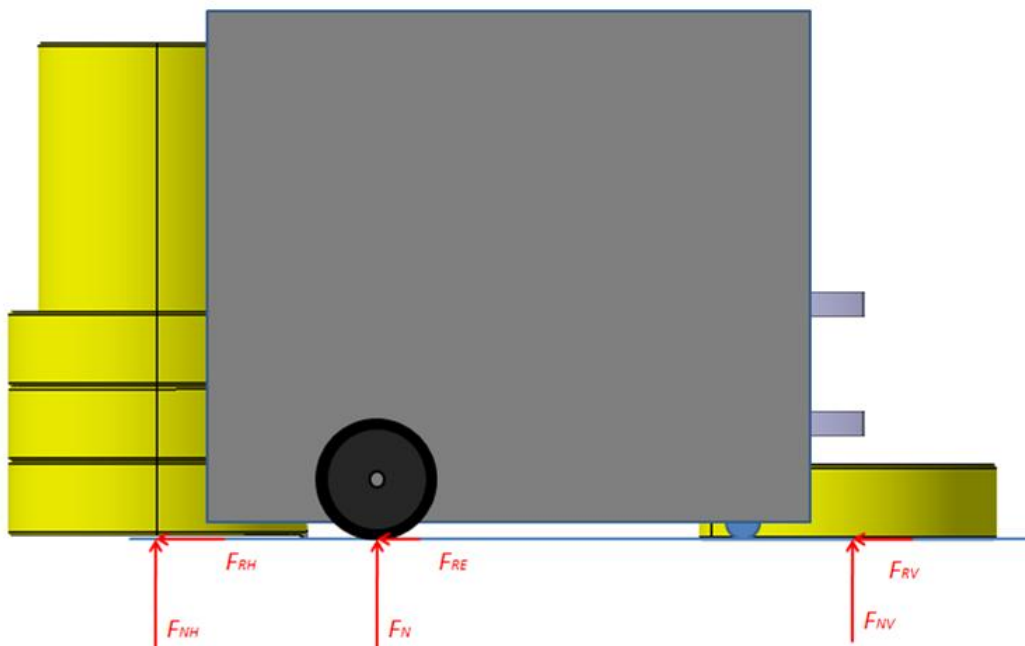


Abbildung 4.2: Reibungsmodell des Roboters

Da die Haftreibung überwunden werden muss gilt[[TM04](#)]:

$$F_R = F_N \cdot \mu_H \quad (4.16)$$

Wie in Unterabschnitt [3.2.2](#) beschrieben, ist es möglich hinten zwei Türme zu ziehen, daher folgt:

$$F_R = 2 \cdot F_{RH} + F_{RV} + F_{RE} \quad (4.17)$$

$$F_R = 2 \cdot F_{NH} \cdot \mu_H + F_{NV} \cdot \mu_H + F_N \cdot \mu_R \quad (4.18)$$

Aus [[WKH97](#)] wurde der Haftreibungskoeffizient zwischen Spielelement und Spieltisch ermittelt. Beide Elemente sind aus Holz, daher ergibt sich ein Haftreibungskoeffizient von $\mu_H = 0,5$. Die Rollreibung wurde aus Erfahrung der letzten Jahre mit $\mu_R = 0,025$ angenommen. Das Gewicht des Roboters wurde aus [Tabelle 4.2](#) entnommen.

Daraus ergibt sich, dass der Roboter bei voller Beladung in Bewegung versetzt werden kann, wenn eine Kraft von $F_R = 18,15N$ aufgebracht wird.

4.3 Last und Schwerpunktberechnungen

In diesem Abschnitt wird der Schwerpunkt des Roboters und der Last herangezogen, um die Kräfte auf ein Antriebsrad und auf eine Kugelrolle zu analysieren. Alle Werte, die in diesem Abschnitt verwendet werden, wurden im Catia V5 Modell ermittelt. Dazu wurde den gesamten Komponenten von „Checkmate 2011“ ein Material zugeordnet, um auch den tatsächlichen Massenschwerpunkt zu ermitteln. In [Tabelle 4.1](#) sind alle Schwerpunktkoordinaten eingetragen. Der Achsenursprung ist, wie in [Abbildung 4.3](#) ersichtlich, im Mittelpunkt des Antriebsrades.

Bezeichnung	Formelzeichen	Schwerpunkt-Koordinate	Kraft	Einheit
halbe Roboterkraft	F_R	12,6	57,9	N
halbe Lastkraft	F_L	176,2	4,9	N
halbe Gesamtkraft	F_G	25,36	62,8	N
Kraft auf Antriebsrad	F_A	0	-	N
Kraft auf Kugelrolle	F_K	135	-	N

Tabelle 4.2: Schwerpunktkoordinaten und Kräfte

Um die Berechnungen leichter nachzuvollziehen zu können, ist in [Abbildung 4.3](#) ein Schwerpunktmodell ersichtlich. Es werden im Modell dieselben Formelzeichen verwendet wie in [Tabelle 4.2](#).

4.3.2 Berechnung des Gesamtschwerpunktes bei Volllast

Da der Roboter maximal einen König und einen Bauern hochheben kann, gilt dies wie in Tabelle 4.2 ersichtlich, als halbe Lastkraft. Da das Gewicht des Bauern zwischen 200g und 500g liegt und das Gewicht des Königs oder der Dame zwischen 300g und 700g liegt, wurde eine Gesamtlast von 1kg gewählt.

Zur Berechnung des Schwerpunktes [M.E09] wird Formel 4.23 verwendet.

$$x_s = \frac{\sum F_x \cdot r}{\sum F_x} \quad (4.23)$$

Durch Einsetzen aus Tabelle 4.2 folgt:

$$x_s = \frac{57,9N \cdot 12,6 + 4,9N \cdot 176,2}{57,9N + 4,9N} = 25,36 \quad (4.24)$$

Der Gesamtschwerpunkt verschiebt sich durch die Last von 12,6 auf 25,36. Das bedeutet, dass sich der Schwerpunkt um 12,76mm weiter vom Antrieb weg bewegt.

4.3.3 Belastungen auf die Antriebsräder und Kugelrollen bei Volllast

Wie in Abschnitt 4.3.1 wurden die Grundformeln der Statik und Festigkeitslehre [M.E09] verwendet.

Auch hier muss die Summe aller Teilkräfte in y-Richtung Null ergeben:

$$\sum F_y = F_A + F_K - F_G = 0 \quad (4.25)$$

Die Summe aller Momente um die z-Achse ergibt wiederum Null:

$$\sum M_o = -F_K \cdot x_{AK} + F_G \cdot x_G = 0 \quad (4.26)$$

Durch Umformen der Gleichung 4.26 erhält man die Kraft F_K , die auf eine Kugelrolle wirkt:

$$F_K = \frac{F_G \cdot x_G}{x_{AK}} = 11,80N \quad (4.27)$$

Die Kraft F_A kann nun aus Gleichung 4.25 errechnet werden:

$$F_A = -F_K + F_G = 51,00N \quad (4.28)$$

Auf jedes Antriebsrad wirkt bei Volllast eine Kraft von $F_A = 51,00N$, wobei jede Kugelrolle mit einer Kraft von $F_K = 11,80N$ belastet wird.

In Unterabschnitt 4.3.1 und in Unterabschnitt 4.3.3 ist ersichtlich, dass die Last auf eine Kugelrolle von $F_K = 5,40N$ auf $F_K = 11,80N$ ansteigt. Die Belastung wird um den Faktor 2,2 erhöht. Die Last auf eine Kugelrolle entspricht bei Volllast einem Gewicht von 1,2kg.

4.4 Analyse der dynamischen Belastungen auf die Kugelrollen

In diesem Abschnitt werden die dynamischen Belastungen auf Antriebsräder und Kugelrollen, bei negativer Beschleunigung, analysiert. Die unten angeführten Berechnungen beziehen sich auf einen voll beladenen Roboter. Das heißt er hebt an der Vorderseite eine Gesamtlast von 1kg.

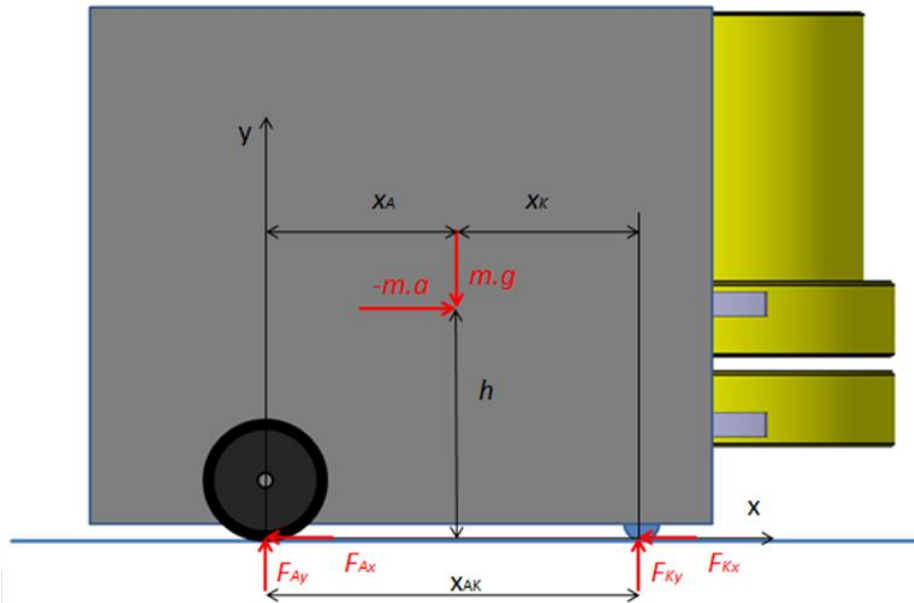


Abbildung 4.4: Modell zur Analyse der dynamischen Belastungen

Zur Berechnung der dynamischen Lasten wurden die Formelzeichen aus Abbildung 4.4 und die unten angeführten Formeln [Mat07] verwendet.

Formel zur Berechnung der dynamisch wirkenden Kraft auf ein Antriebsrad:

$$F_{Ay} = \frac{m \cdot g \cdot x_K}{x_{AK}} + \frac{m \cdot a \cdot h}{x_{AK}} \quad (4.29)$$

Formel zur Berechnung der dynamisch wirkenden Kraft auf eine Kugelrolle:

$$F_{Ky} = \frac{m \cdot g \cdot x_A}{x_{AK}} - \frac{m \cdot a \cdot h}{x_{AK}} \quad (4.30)$$

Bezeichnung	Formelzeichen	Schwerpunkt-Koordinate	Kraft	Einheit
halbe Masse des Roboters	m	25,36	6,4	kg
Höhe	h	164,63	-	-
Abstand zur Kugelrolle	x_{AK}	135	-	-

Tabelle 4.3: Schwerpunktkoordinaten des Roboters bei Vollast

In Tabelle 4.4 werden die Belastungen auf Kugelrolle und Antriebsrad berechnet, dabei wird die negative Beschleunigung stufenweise von $a = 0 \frac{m}{s^2}$ auf $a = -3 \frac{m}{s^2}$ erhöht.

$a[\frac{m}{s^2}]$	$F_{Ay}[N]$	$F_{Ky}[N]$
0	50,99	11,79
-0,5	47,39	15,39
-1	43,79	18,99
-1,5	40,20	22,59
-2	36,60	26,18
-2,5	33,00	29,78
-3	29,41	33,38

Tabelle 4.4: dynamische Belastungen auf Antriebsräder und Kugelrollen

Aus Tabelle 4.4 ist ersichtlich, dass bei einer negativen Beschleunigung von $a = -3 \frac{m}{s^2}$ die Last auf eine Kugelrolle bereits höher ist, als bei einem Antriebsrad. Bei einer negativen Beschleunigung von $a = -3 \frac{m}{s^2}$ wirkt eine Gewichtskraft von $3,4kg$ auf eine Kugelrolle.

4.5 Berechnung der Kippsicherheit

In diesem Abschnitt wird die Kippsicherheit des Roboters berechnet. Die verwendeten Werte beziehen sich auf Abbildung 4.5 und wurden aus Tabelle 4.5 entnommen.

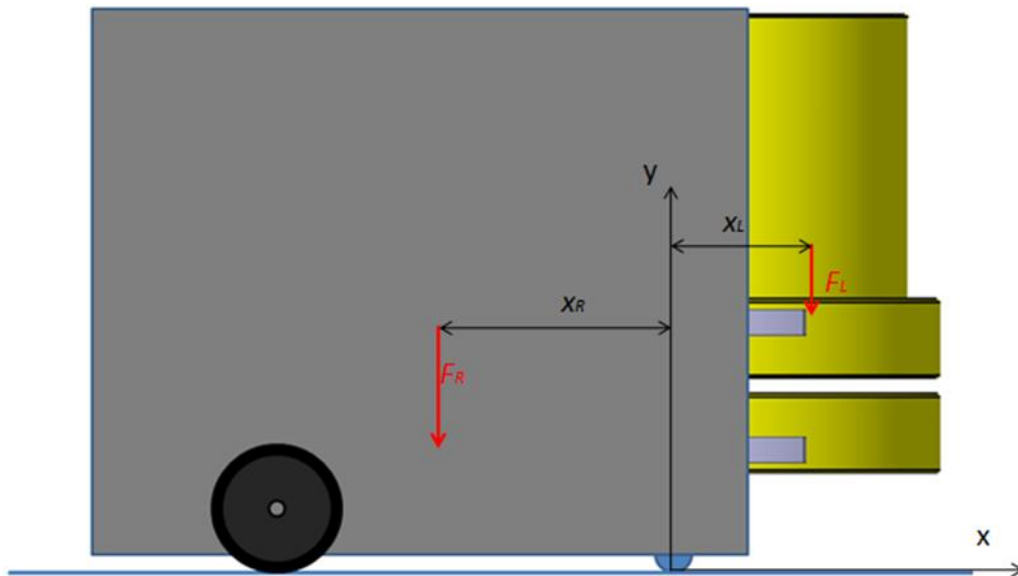


Abbildung 4.5: Modell zur Berechnung der Kippsicherheit

Bezeichnung	Formelzeichen	Schwerpunkt-Koordinate	Kraft	Einheit
halbe Roboterkraft	F_R	12,6	57,9	N
halbe Lastkraft	F_L	176,2	4,9	N

Tabelle 4.5: Schwerpunktdaten zur Berechnung der Kippsicherheit

Die Kippsicherheit ist ein Faktor der Standsicherheit eines Gegenstandes. Diese Sicherheit berechnet sich aus dem Quotienten der haltenden Drehmomente M_h , und der der treibenden Drehmomente M_t .

$$\mu = \frac{M_h}{M_t} \quad (4.31)$$

In Gleichung 4.31 werden nun die Werte aus Tabelle 4.5 eingesetzt.

$$\mu = \frac{57,9N \cdot 122,4mm}{4,9 \cdot 41,2mm} \quad (4.32)$$

Aus dieser Berechnung ergibt sich eine Kippsicherheit von $\mu = 35,10$. Wäre die Kippsicherheit $\mu \leq 1$ würde der Roboter umkippen.

Kapitel 5

Vergleich mit einem anderen Konzept

An der FH-Wels wurden zwei Roboter gebaut um an der Eurobot 2011 teilzunehmen. Dabei unterscheidet sich der Aufbau beider Roboter. Um die Unterschiede anzuzeigen, werden beide Roboter in Tabelle 5.1 direkt gegenübergestellt.

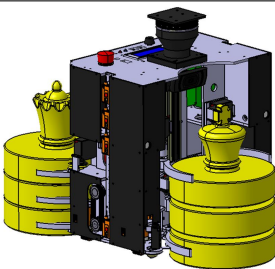
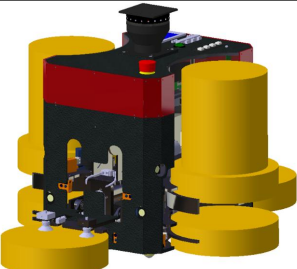
Roboter	Checkmate 2011	Chessy 2011
Ansicht		
Aufbau	unsymmetrisch	symmetrisch
max. Spielelementanzahl	3 Türme	2 Türme + 2 Bauern
Stapeleinrichtungen	eine vorne	eine vorne und eine hinten

Tabelle 5.1: Gegenüberstellung beider Roboter

Das Konzept der beiden Roboter, ist wie in Tabelle 5.1 ersichtlich, sehr unterschiedlich. „Chessy 2011“ wurde symmetrisch aufgebaut, um hinten und vorne Türme zu bauen. „Checkmate 2011“ hingegen kann vorne Türme bauen und auf der Rückseite zwei Türme mitziehen. Der Vorteil von „Chessy 2011“ ist, dass er sehr schnell Türme bauen kann, da er zwei Stapeleinrichtungen besitzt. Daher ist er klar im Vorteil, falls es dem Gegner nicht gelingt, in 90 Sekunden Spielzeit zwei Türme zu bauen. „Checkmate 2011“ hingegen kann einen dritten Turm aufnehmen und diese am Ende des Spiels günstig platzieren. Der bessere Roboter wird also jener sein, der die beste Strategie entwickelt.

Kapitel 6

Fazit und Dank

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Anforderungen des Roboters und die Spielelemente beschrieben. Auf diesen Informationen aufbauend, wurden die wichtigsten Einheiten des mobilen Roboters beschrieben. Er zeichnet sich durch die hohe Ladekapazität der Spielelemente aus. Das erworbene Wissen, über den Aufbau eines mobilen Roboters, kann genutzt werden um in den nächsten Jahren den Kollegen wichtige Tipps zum Aufbau eines mobilen Roboters zu geben.

Besonderen Dank gilt Herrn Prof. (FH) PD DI Dr. Martin Egger der meine Bachelorarbeit betreut hat. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Ing. Michael Zauner BSc, der meine Kollegen und mich hervorragend durch das Projekt begleitet hat. Dank gilt auch meiner Freundin Daniela Hofer und ihrer Schwester Claudia Hofer, für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Kapitel 7

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

2.1	Isometrische Ansicht des Spieltisches 2011	3
3.1	Antriebseinheit	4
3.2	vordere Greifeinheit	5
3.3	hintere Greifeinheit	6
3.4	pneumatische Einrichtung	7
4.1	mechanisches Model des Antriebrades	9
4.2	Reibungsmodell des Roboters	11
4.3	Last und Schwerpunktmodell	13
4.4	Modell zur Analyse der dynamischen Belastungen	15
4.5	Modell zur Berechnung der Kippsicherheit	16

Tabellenverzeichnis

- 4.1 Roboterdaten 10
- 4.2 Schwerpunktkoordinaten und Kräfte 12
- 4.3 Schwerpunktkoordinaten des Roboters bei Vollast 15
- 4.4 dynamische Belastungen auf Antriebsräder und Kugelrollen 16
- 4.5 Schwerpunktdaten zur Berechnung der Kippsicherheit 16

- 5.1 Gegenüberstellung beider Roboter 18

Literaturverzeichnis

- [Dyn09] *Dynamik 1 , Teil 4, Kinetik des starren Körper*. 2009. – S.11
- [eur11] EUROBOT.ORG: *Rules*. http://www.eurobot.org/commonfiles/docs/2011/E2011_Rules-EN.pdf. Version: Februar 2011
- [Mat07] MATSCHINSKY, Wolfgang (Hrsg.): *Radführungen der Straßenfahrzeuge*. Springer, 2007. – S.131
- [M.E09] M.EGGER: *Grundlagen in Statik und Festigkeitslehre*. 2008/09. – S.18, S.24
- [mot11] MOTORLEXIKON.DE: *Beschleunigungswiderstand*. <http://www.motorlexikon.de/?I=9585&R=T>. Version: April 2011
- [sho11] SHOP.MAXONMOTOR.COM: *Getriebedatenblatt*. http://shop.maxonmotor.com/maxon/assets_external/Katalog_neu/eshop/Downloads/42-C-203113_10_DE_238-239.pdf. Version: Februar 2011
- [TM04] TIPLER, Paul A. ; MOSCA, Gene: *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*. Spektrum, 2004. – S. 106
- [tra11] TRACEPARTSONLINE.NET: *Motordatenblatt*. http://www.tracepartsonline.net/PartsDefs//Production/MAXON_MOTOR/10-01122009-065946/documents/RE-35-273752_09_EN_081.pdf. Version: Februar 2011
- [WKH97] W.BEITZ (Hrsg.) ; K.-H.GROTE (Hrsg.): *Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau*. Springer, 1997. – S.B15