

## CLUB APOLLO 13, 14. Wettbewerb Aufgabe 4

### Schlangenroboter für die Endoskopie

Diese Aufgabe wird vom Institut für Mechatronische Systeme aus der Fakultät für Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover gestellt.

Weitere Informationen zum Studiengang des Maschinenbaus findet ihr unter <http://www.maschinenbau.uni-hannover.de/>.

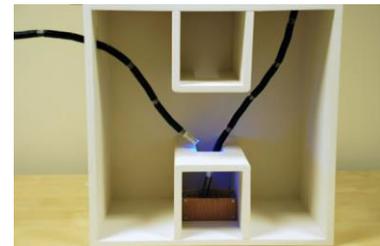
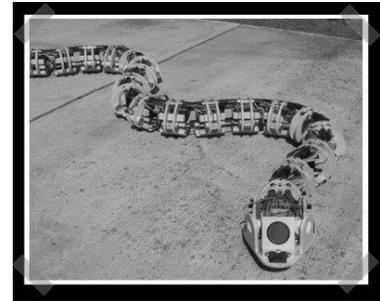
Roboter haben bereits in viele Bereiche unseres Alltags Einzug gehalten. Ihr werdet sicherlich schon einmal von Staubsaugrobotern oder Spielzeugrobotern gehört haben.

Ein Teilbereich der Robotik befasst sich mit schlangenartigen Robotern. Sie sehen nicht nur aus wie Schlangen, sondern bewegen sich auch wie diese. Videos zu verschiedensten schlangenartigen Robotern findet ihr z.B. hier:

<http://biorobotics.ri.cmu.edu/projects/modsnake/media.html>

Durch ihre Form bietet sich dieser Typ von Robotern auch für endoskopische Einsatzzwecke an: Bei der Endoskopie wird das Endoskop durch in der Regel sehr verwinkelte und enge Wege zu seinem Einsatzort geführt. Das können zum Beispiel Inspektionen von Flugzeugtriebwerken oder auch Eingriffe am menschlichen Körper sein. So sind manche Endoskope mit einer Kamera ausgestattet, um sich vor Ort umzusehen oder um mittels spezieller Instrumente Proben zu entnehmen.

Im Folgenden sollt ihr euch zunächst einmal mit den Grundlagen der Endoskopie befassen und im weiteren Verlauf eine Steuerung für die Aktorkette entwerfen. In der dritten Aufgabe könnt ihr euch dann noch anschauen, wie man die Position eines Aktors und eine kleine Aktorkette beschreiben kann.



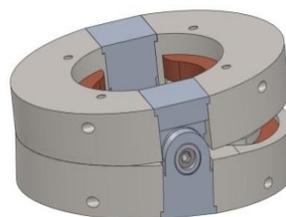
**Abbildung 1:** verschiedene schlangenförmige Roboter (Quellen: hacknmod.com, www.maxonmotor.ch, www.extremetech.com)

### Die Aufgaben

#### Aufgabe 1: Grundlagen (10 Punkte)

- a) Eine typische Anwendung für Endoskope ist die Darmspiegelung. Findet heraus, wie die heute verwendeten Endoskope aufgebaut sind und nennt zwei Nachteile flexibler Endoskope.
- b) Informiert euch über Schlangenroboter. Beschreibt in zwei bis drei Sätzen, worin ihr die Vorteile eines Schlangenroboters für die Endoskopie seht.

Am Institut für Mechatronische Systeme wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Antriebstechnik und Leistungselektronik ein neuartiger Schlangenroboter für die Endoskopie entwickelt. Dieser besteht aus vielen einzelnen Segmenten, sogenannten Aktoren. Diese Aktoren sind bistabil, das heißt, sie können nur nach rechts oder nach links kippen. Dabei wird das Prinzip des Elektromagnetismus verwendet:



**Abbildung 2:** Modell eines Aktors



**Abbildung 3:** Prototyp eines Aktors

Pro Seite werden zwei Spulen in einen Eisenkern eingelassen. Wenn man die Spulen gezielt ansteuert, kann man erreichen, dass sich die obere und die untere Hälfte gegenseitig anziehen und der Aktor dadurch in eine bestimmte Richtung kippt. Das Modell eines Aktors seht ihr in Abbildung 2 und ein Foto des aktuellen Prototyps ist in Abbildung 3 dargestellt.

Für das eigentliche Endoskop werden diese einzelnen Segmente zu einem schlangenartigen Roboter hintereinander gereiht. Da die Aktoren im Vergleich zum Endoskop sehr klein sind, kann man sogenannte quasi-kontinuierliche Bewegungen erreichen. Das heißt, obwohl jeder Aktor nur nach rechts oder links gekippt werden kann, kann sich die gesamte Kette im Idealfall fast ohne Einschränkungen im Raum bewegen. Dafür müssen die Aktoren aber nicht nur gestapelt, sondern auch um einen gewissen Winkel gegeneinander verdreht sein. Für die folgenden Aufgaben können wir dies aber vernachlässigen und gehen vereinfacht davon aus, dass die Aktoren nur aufeinander gestapelt sind.

Die Schlange kann dann zum Beispiel so aussehen:



Abbildung 4: Modell des schlangenartigen Roboters für die Endoskopie

- c) Schaut euch das Bild zum schlangenartigen Roboter für die Endoskopie genauer an. In welche Richtungen kann sich diese Aktorkette bewegen? Sind räumliche Bewegungen möglich, oder nur Bewegungen in einer Ebene? Begründet eure Antwort in zwei Sätzen.

Ein wichtiges Kriterium für ein Endoskop ist seine Wendigkeit, also die Frage, wie gut es um Kurven manövrieren kann. Dazu betrachten wir den sogenannten Biegeradius, der erreicht wird, wenn alle Aktoren in die gleiche Richtung gekippt werden. In diesem Fall ähnelt die Struktur der Schlange einem regelmäßigen  $n$ -Eck (siehe Abbildung 5).

- d) Welche Bedingung muss für den Kippwinkel  $q$  gelten, damit es sich tatsächlich um ein regelmäßiges  $n$ -Eck handelt?
- e) Bestimmt die Gleichung zur Beschreibung des Biegeradius  $r$  unter der Annahme, dass sich die Aktorkette durch ein regelmäßiges Polygon beschreiben lässt.
- f) Wodurch kann der Biegeradius verkleinert werden? Wie müssen die Aktorparameter (Höhe  $h$ , Kippwinkel  $q$ , Durchmesser  $d$ ) verändert werden, um einen kleineren Biegeradius zu erreichen?

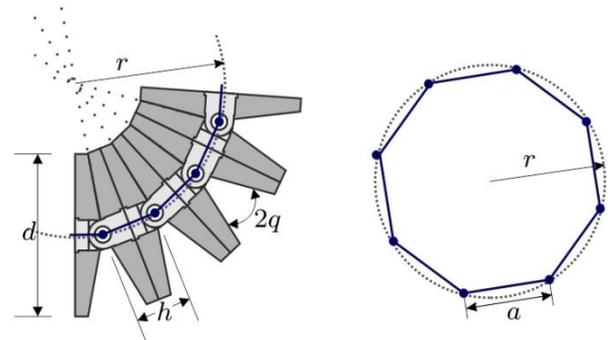
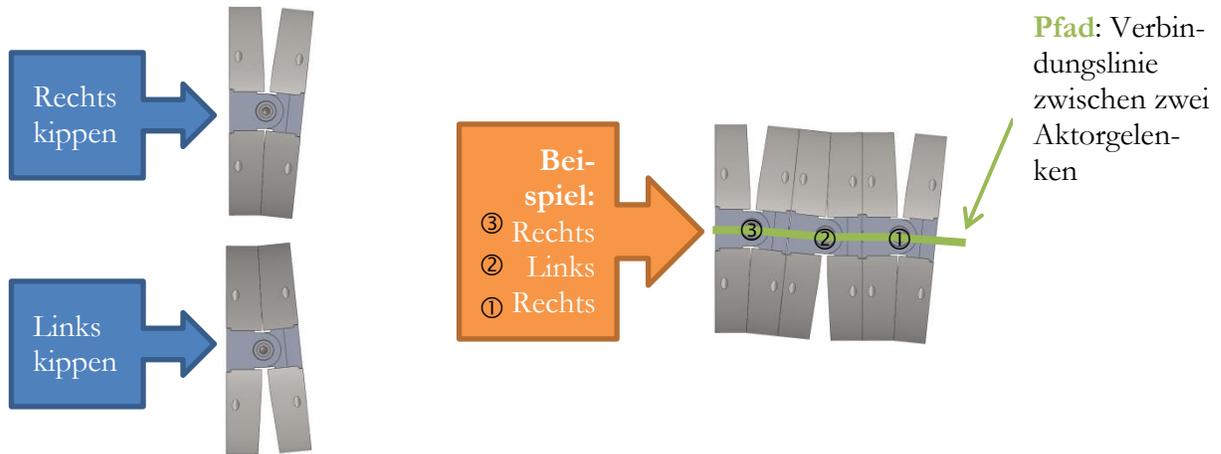


Abbildung 5: Aktorkette und regelmäßiges Polygon zur Bestimmung des Biegeradius

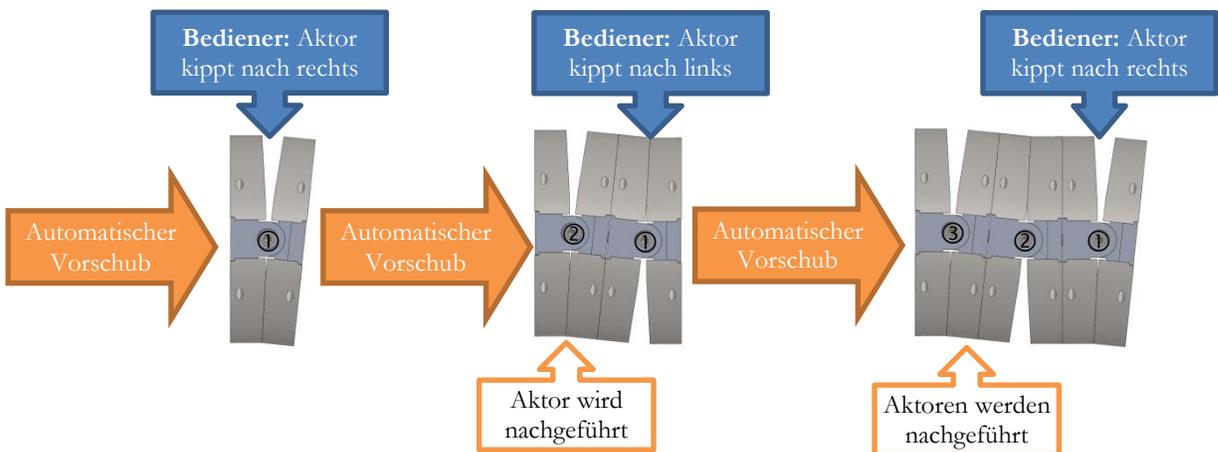
**Aufgabe 2: Steuerung der Aktorkette (10 Punkte)**

Die Konfiguration einer ganzen Aktorkette kann über die Kippzustände jedes einzelnen Aktors beschrieben werden. Im Folgenden ist die für die folgenden Aufgabenteile geltende Konvention festgelegt:



- a) Gegeben sei die Konfiguration „Rechts-Rechts-Links-Rechts-Links-Links-Links-Rechts-Rechts-Links“ für eine Aktorkette mit 10 Aktoren (Höhe 16 mm, Kippwinkel 10°). Zeichnet den Pfad, der sich als Verbindungslinie zwischen den einzelnen Aktorgelenken ergibt.

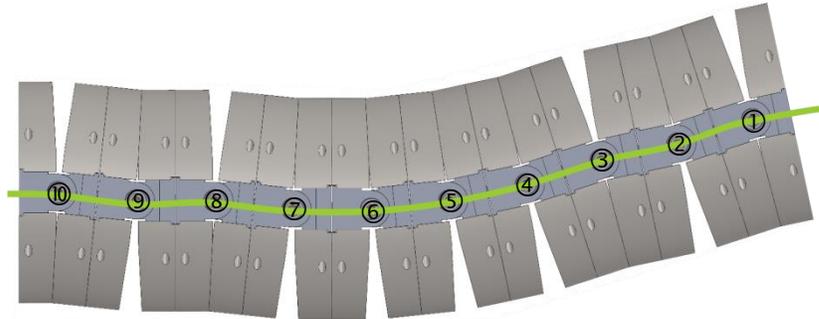
Der vorgestellte Schlangenroboter soll mit Hilfe eines „Follow-the-Leader“-Algorithmus gesteuert werden. Dieser ist für den Bediener sehr einfach zu benutzen: Er stellt für den ersten Aktor manuell ein, ob er nach rechts oder nach links gekippt sein soll und betätigt dann die Taste für den automatischen Vorschub. Dadurch wird die ganze Aktorkette um einen Aktor nach vorne geschoben und die nachfolgenden Aktoren nehmen automatisch die gleiche Position ein, wie sie der jeweils vorherige Aktor hatte. Zwei Schritte dieser „Follow-The-Leader“-Steuerung können beispielsweise so aussehen:



Ein Video zu diesem Vorgehen findet Ihr unter [http://www.imes.uni-hannover.de/fileadmin/institut/images/Forschung/FTL\\_CAD\\_gerendered.wmv](http://www.imes.uni-hannover.de/fileadmin/institut/images/Forschung/FTL_CAD_gerendered.wmv).

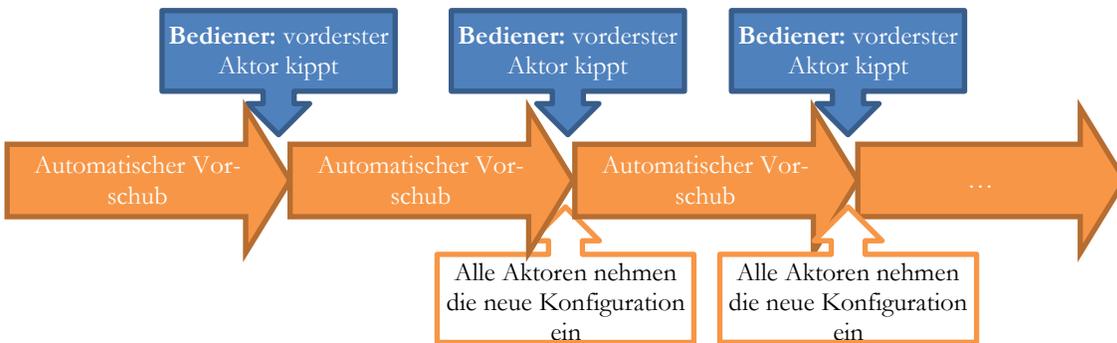
- b) Eine beliebige Endkonfiguration einer Schlange aus 10 Elementen soll binnen zwei Minuten erreicht werden. Auf welche Geschwindigkeit muss der konstante Vorschub eingestellt werden, wenn jeder Aktor 16mm hoch ist? Zeichnet einen Graphen für den getätigten Vorschub (in mm) über die Zeit (in s).

Betrachtet nun folgende Aktorkette mit 10 Elementen. Die Endkonfiguration sieht wie folgt aus:



c) Wie lauten die nötigen Kippungen der einzelnen Aktoren für diese Endkonfiguration?

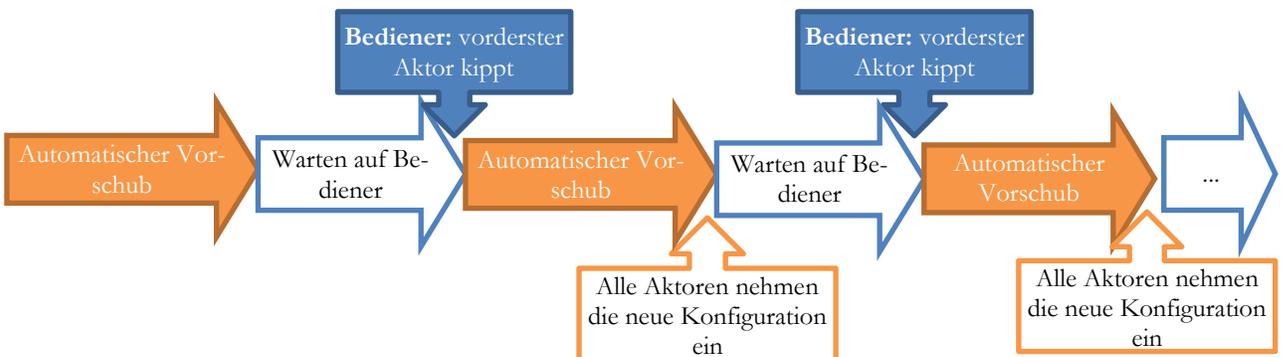
Für die Ansteuerung jedes Aktors benötigt ihr ein Steuersignal, das den Aktor entweder nach links (Signal = 1) oder nach rechts (Signal = -1) kippen lässt. Wenn der Aktor noch nicht „aktiv“ ist, dann sei das Signal = 0. Alle Aktoren schalten gleichzeitig, wenn die Vorschubphase beendet wird. Da die Kippzeit, die ein Aktor zum Umkippen benötigt, nur wenige Millisekunden beträgt, ist sie für diese Aufgabe zu vernachlässigen. Auch die Eingabezeit für den Bediener kann zunächst als Null angenommen werden. Dadurch ergibt sich folgender schematischer Ablauf:



d) Bestimmt das nötige Steuersignal für den ersten (vordersten) Aktor. Zeichnet dafür einen Graphen, bei dem ihr auf der x-Achse die Zeit und auf der y-Achse des Steuersignal festlegt.

e) Wie sieht der Verlauf für die Aktoren 5 und 10 aus? Zeichnet auch hierfür jeweils die Verläufe. Bedenkt dabei, dass der Bediener nur den ersten Aktor setzt und erst nach der Vorschubszeit alle weiteren Aktoren umgeschaltet werden.

In der Realität wird die Eingabezeit des Bedieners nicht zu vernachlässigen sein. Daher verändert sich der Ablauf wie folgt:

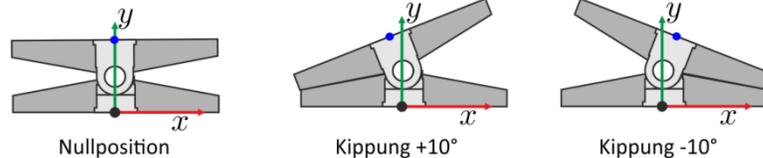


- f) Nun nehmt an, dass der Bediener immer 4 Sekunden pro Aktor zum Entscheiden braucht. Wie verändert sich der Vorschub? Zeichnet einen neuen Graphen!
- g) Zeichnet zusätzlich einen Graphen für das neue Ansteuerungssignal für den vordersten Aktor. Immer, wenn auf die Eingabe des Bedieners gewartet werden soll, ist das Steuerungssignal auf Null zu setzen. Markiert die Vorschubzeiten und die Entscheidungszeit des Bedieners.

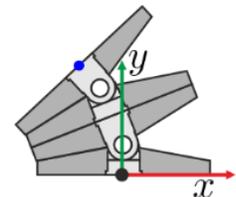
**Aufgabe 3: Kinematik (10 Punkte)**

Wenn man weiß, wie die einzelnen Elemente des Roboters gekippt sind (z.B. durch Messungen oder indem man sich die Zustände von der Steuerung merkt), kann man auch die Position der einzelnen Aktoren im Raum berechnen.

- a) Ein Aktor kann nur nach rechts oder nach links kippen, hat also nur zwei mögliche Positionen. Der Aktor selbst besteht aus zwei gleichen Teilen und ist insgesamt 16 mm hoch. Berechnet die beiden möglichen Positionen des blauen Punktes (mittig auf der Oberseite), der auch Endeffektor genannt wird, wenn der maximale Kippwinkel  $q = \pm 10^\circ$  beträgt. Wie lautet die allgemeine Formel für die Endeffektorlage in Abhängigkeit des Kippwinkel  $q$ ?



- b) Nun betrachten wir zwei Aktoren. Eine beispielhafte Konfiguration findet ihr im Bild rechts. Wie viele mögliche Konfigurationen gibt es insgesamt für diese kleine Aktorkette? Skizziert alle Möglichkeiten und gebt die allgemeine Beschreibung der Endeffektorkoordinaten  $(x_E, y_E)$  an.



- c) Die Menge aller möglichen Positionen einer Aktorkette mit  $n$  Elementen nennt man auch Arbeitsraum. Leitet eine Beziehung her: Wie viele Konfigurationen gibt es insgesamt, wenn eine beliebig lange Aktorkette mit  $n$  Elementen betrachtet wird?

Die hergeleitete Beschreibung der verschiedenen Aktorpositionen (Kinematik) kann insbesondere dazu verwendet werden, um die Lage der Aktoren und des Endeffektors bei bekannter Kippung auszurechnen.

- d) In der Zeichnung mit der Gesamtkette aus Aufgabe 2 ist in grün ein Pfad gegeben, dem die Schlange möglichst gut folgen soll. Wo liegen mögliche Probleme bei der „Follow-the-Leader“-Steuerung, wenn die Aktorkette möglichst genau dem Pfad folgen soll, aber die Aktoren immer zum gleichen Zeitpunkt schalten? (Tipp: Schaut euch dazu auch noch einmal das oben genannte Video an.) Habt ihr eine Idee, wie man die Kinematik zum Lösen des Problems verwenden kann?

Viel Erfolg bei der vierten und letzten Aufgabe in diesem Wettbewerb!

## Allgemeine Hinweise

**Einsendeschluss: Sonntag, 08. Februar 2015, 19:59 Uhr.**

Gebt eure Lösungen über das Portal von uniKIK ab: <http://www.unikik-portal.de/portal>

Zulässige Dateiformate sind: PDF für die zusammengeschriebene Lösung (mit eingebetteten Bildern), sowie unter Windows gängige Videoformate, die sich ohne Installation von zusätzlicher Software abspielen lassen, z. B. mp4, sowie STL-Daten. Sollten Schwierigkeiten mit der Ausgabe der STL-Daten auftreten, so bitten wir um eine kurze Rückmeldung, um ein anderes Datenformat abzusprechen.

Die Dateien sollten nicht größer als 7,5 MB sein (Die Dateien können gezippt sein)! Bitte gebt auch euren Teamnamen, die Namen der Gruppenmitglieder sowie deren Schulen an. Bitte benennt eure angehängten Dateien nach dem Gruppennamen.

**ACHTUNG bei Zip-Dateien!** Um sicher zu gehen, dass eure Dateien wirklich fehlerfrei und für die Korrektoren/-innen zu öffnen sind, solltet ihr eure Zip-Dateien etc. noch mal von eurem Account runterladen und öffnen. Dateien, die sich nicht öffnen lassen, können nicht bewertet werden!

Ihr könnt und solltet eure Lösung auch dann abgeben, wenn ihr nicht alle Fragen beantworten konntet, insbesondere wenn ihr die letzte Teilaufgabe nicht gelöst habt!

Die Teilnahmebedingungen und weitere Informationen findet ihr unter: <http://www.unikik.de/apollo13>

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.