

LVAs 384.996 & 384.174  
'Mikrocomputer LU'  
'Mikrocomputer für Informatiker\_innen'

Nofretete  
v1.4

2025

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Allgemeines</b>	<b>2</b>
1.1 Laboraufbau . . . . .	2
1.2 Inbetriebnahme . . . . .	3
1.3 Logic Analyzer . . . . .	3
<b>2 Hardware</b>	<b>3</b>
2.1 A-Seite . . . . .	3
2.1.1 Linearantrieb . . . . .	4
2.1.2 Rollenantrieb . . . . .	6
2.2 B-Seite . . . . .	7
2.2.1 Linearantrieb . . . . .	7
2.2.2 Bremse . . . . .	7
2.3 Kommunikation . . . . .	8
2.3.1 GPIOs . . . . .	8
2.3.2 USART . . . . .	9
2.4 STM32 Pinbelegung . . . . .	9
<b>3 Empfohlener Übungsablauf</b>	<b>13</b>
3.1 Aufbau des Programms . . . . .	13
3.2 Benotung . . . . .	13

**Hinweis zur Laborübung:** Bitte machen Sie sich *vor der Übung* mit folgenden Dokumenten vertraut:

- Diese Angabe (*Nofretete.pdf*).
- Die entsprechenden Abschnitte der im TISS hochgeladenen Unterlagen zum verwendeten NUCLEO-Board, konkret:
  - RCC
  - GPIO (inkl. der 'Alternate Functions')
  - USART\*
  - TIMER\*
  - Interrupts (von Peripherieeinheiten)
  - EXTI\* (inkl. SYSCFG)
  - ADC

\*) Überlegen Sie, welche der gekennzeichneten Peripherieeinheiten (z.B. welcher Timer, welche USART) für die Anwendung in Frage kommen (das ergibt sich auch aus der Pinbelegung, siehe Tabelle 7).

Bei auftretenden Fragen während Ihrer Vorbereitungen wenden Sie sich *vor* Ihrem Übungstermin an die Tutoren.

## 1 Allgemeines

Ziel dieser Aufgabe ist es, den Umgang mit externer Peripherie zu erlernen.

Der Aufbau der Nofretete besteht aus mehreren Rollen, über die eine Last einen Höhenunterschied überwinden soll, ohne dabei zurückzurollen. 13 dieser Rollen können dabei einzeln angetrieben oder gebremst werden. Die Steuerung erfolgt über USART-Befehle und über einzelne GPIO-Signale.

### 1.1 Laboraufbau

Der Übungsaufbau setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- STM32F334R8-Mikrocontrollerboard
- Nofretete

## 1.2 Inbetriebnahme

Schließen Sie das NUCLEO-Board an den Laborrechner an. Versorgen Sie Nofretete anschließend mit Strom, indem Sie den Netzstecker anstecken. Sobald eine Stromversorgung besteht, führt Nofretete einen Selbsttest durch, bei dem die Schlitten die Endschalter anfahren und anschließend in der mittleren Position stehen bleiben.

## 1.3 Logic Analyzer

Es sind einige relevante digitale Pins an einem fix verbauten 8-Kanal Logic Analyzer angeschlossen. Mit dessen Hilfe kann das zeitliche Ein-/ Ausgangsverhalten der Pins überprüft und zur Fehlerbehebung genutzt werden. Eine kurze Anleitung zum Umgang mit dem Logic Analyzer wird es zu Beginn des Labors geben, außerdem finden Sie eine ausführliche Dokumentation in den hochgeladenen Unterlagen. Die Zuteilung der angeschlossenen Pins zu den acht Kanälen (LA CH0 .. CH7) ist in den Folgekapiteln und in Tabelle 7 ersichtlich.

# 2 Hardware

Die Aufgabe besteht darin, eine Last (z.B. einen Stein) mit den einzelnen Rollen aufwärts zu transportieren, ohne dass die Last zurückrollt. Dafür müssen die Rollen in geeigneter Weise abwechselnd gedreht und gebremst werden. Um eine Rolle zu drehen, wird der Schlitten auf der rechten Seite (A-Seite, Antriebs-Seite) benötigt; um eine Rolle zu bremsen, wird der Schlitten auf der linken Seite (B-Seite, Brems-Seite) benötigt. In Abbildung 1 sind einige wesentliche Komponenten von Nofretete beschriftet.

## 2.1 A-Seite

Auf der A-Seite (Antriebs-Seite, rechts) der Nofretete befindet sich der Linearantrieb A, mit dem ein Schlitten gezielt zu einer der Rollen bewegt werden kann, um die zugehörige Rolle mit dem Rollenantrieb zu drehen.

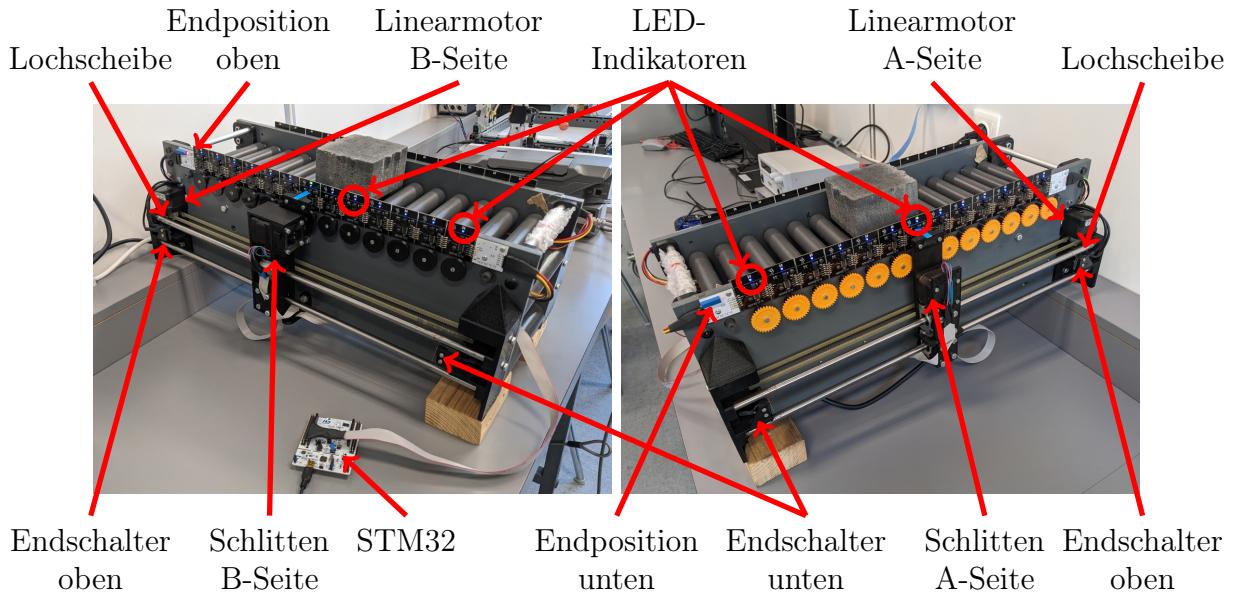


Abbildung 1: Übungsaufbau Nofretete, B-Seite (links) und A-Seite (rechts)

### 2.1.1 Linearantrieb

Der Linearantrieb A setzt sich zusammen aus

- dem Linearmotor: dieser kann mittels zweier GPIO-Pins (siehe Tabelle 1) aufwärts oder abwärts bewegt werden,
- den beiden Endschaltern am oberen und unteren Anschlag der Linearschiene: diese können mittels USART ausgelesen werden (siehe Tabelle 4) und
- einer Lochscheibe mit Lichtschranke, mit der die Impulse am GPIO PB6 als Interrupts gezählt werden können, um den Schlitten A exakt zu positionieren.

Die jeweiligen LED-Indikatoren leuchten grün auf, wenn sich der Schlitten an einer gültigen Position befindet. Wenn der Schlitten auf der A-Seite den unteren Endschalter auslöst, so befindet er sich gleichzeitig auch in der untersten gültigen Position (siehe Abbildung 2).

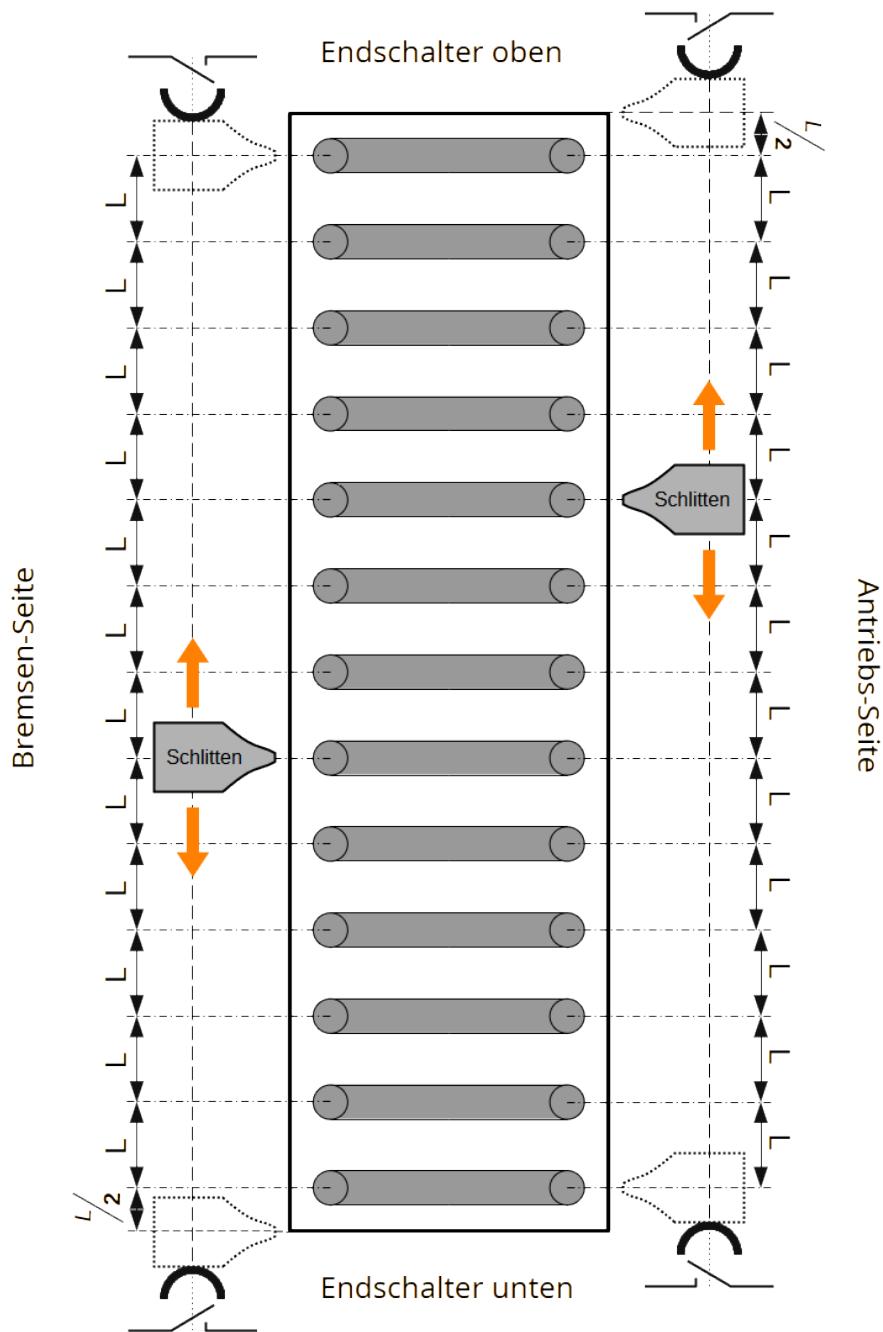


Abbildung 2: Geometrie von Nofretete

### 2.1.2 Rollenantrieb

Um die Last zu bewegen, müssen die Rollen über den Rollenantrieb angetrieben werden. Weil dabei zwei Zahnräder ineinander greifen, ist es wichtig, dass der Schlitten genau positioniert wird, bevor der Rollenantrieb gedreht wird. Die zugehörigen LED-Indikatoren leuchten grün auf, wenn sich der Schlitten an einer gültigen Position befindet. Wenn der Schlitten nicht korrekt positioniert ist oder wenn die zu drehende Rolle gerade von der Bremsseite (siehe Abschnitt 2.2) gebremst wird, kann der Rollenantrieb nicht gedreht werden!

Der Rollenantrieb auf dem Schlitten A wird über USART-Befehle gesteuert (siehe Tabelle 2) und kann entweder

- stromlos geschaltet werden (= kein Haltemoment),
- ohne Drehung bestromt werden (= Haltemoment) oder
- zwischen einem und 62 Schritte in die eine bzw. andere Richtung gedreht werden, um die entsprechende Rolle anzutreiben. Im Leerlauf (ohne Last) entsprechen 49 Schritte einer vollständigen Umdrehung.

Wenn der Rollenantrieb gedreht wird bzw. ein Haltemoment aufbringt, so leuchtet der LED-Indikator an der zugehörigen Position rot. Ist die Drehung abgeschlossen sowie der Rollenantrieb stromlos geschalten (kein Haltemoment), so wechselt der LED-Indikator wieder zurück auf grün.

Jeder USART-Befehl an den Rollenantrieb erzeugt eine entsprechende Antwort. Beachten Sie, dass Antworten nicht unmittelbar nach dem Senden eines Befehls anfallen müssen. Außerdem kann der Status jedes Teils der Antriebsseite abgefragt werden.

**Achtung:** Der Linearantrieb A darf nur bewegt werden, wenn der Rollenantrieb stromlos ist und umgekehrt darf auch der Rollenantrieb nur aktiviert werden, wenn der Linearantrieb A sich nicht bewegt! Andernfalls wird eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben (siehe Fehlermeldungen in Tabelle 5).

## 2.2 B-Seite

Auf der B-Seite (Brems-Seite, links) der Nofretete befindet sich der Linearantrieb B, mit dem ein Schlitten gezielt zu einer der Rollen bewegt werden kann, um diese mit einer Scheibenbremse zu blockieren.

### 2.2.1 Linearantrieb

Der Linearantrieb B setzt sich zusammen aus

- dem Linearmotor: dieser kann mittels zweier GPIO-Pins (siehe Tabelle 1) aufwärts oder abwärts bewegt werden,
- den beiden Endschaltern am oberen und unteren Anschlag der Linearschiene: diese können mittels USART ausgelesen werden (siehe Tabelle 4) und
- einer Lochscheibe mit Lichtschranke, mit der die Impulse am GPIO PC7 als Interrupts gezählt werden können, um den Schlitten B exakt zu positionieren.

Es ist wichtig, dass der Schlitten genau positioniert wird, andernfalls kann die Bremse nicht angezogen werden. Ebenso darf die Bremse nicht angezogen werden, wenn die selbe Rolle auf der Antriebseite (siehe Abschnitt 2.1) gerade angetrieben wird.

Die jeweiligen LED-Indikatoren leuchten grün auf, wenn sich der Schlitten an einer gültigen Position befindet. Wenn der Schlitten auf der B-Seite den oberen Endschalter auslöst, so befindet er sich gleichzeitig auch in der obersten gültigen Position (siehe Abbildung 2).

### 2.2.2 Bremse

Der Bremse auf dem Schlitten B wird über USART-Befehle gesteuert (siehe Tabelle 3) und kann entweder

- angezogen werden (= Rolle wird blockiert) oder
- gelöst werden (= Rolle ist frei beweglich).

Wenn die Bremse angezogen wird, so leuchtet der LED-Indikator an der zugehörigen Position rot. Sobald die Bremse gelöst wurde, wechselt der LED-Indikator wieder zurück auf grün.

Jeder USART-Befehl an die Bremse erzeugt eine entsprechende Antwort. Beachten Sie, dass Antworten nicht unmittelbar nach dem Senden eines Befehls anfallen müssen. Außerdem kann der Status jedes Teils der Bremsseite abgefragt werden.

**Achtung:** Der Linearantrieb B darf nur bewegt werden, wenn die Bremse nicht angezogen ist und umgekehrt darf die Bremse nur angezogen werden, wenn der Linearantrieb B sich nicht bewegt! Andernfalls wird eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben (siehe Fehlermeldungen in Tabelle 5).

## 2.3 Kommunikation

Für die Ansteuerung werden einerseits USART-Befehle und andererseits GPIO-Signale verwendet.

### 2.3.1 GPIOs

Folgende Funktionen werden über GPIO-Pins gesteuert:

- Bewegung der Linearmotoren auf der A- und B-Seite (siehe Tabelle 1)
- Zählen der Impulse auf der Lochscheibe an den Linearmotoren (mit den GPIOs PB6 und PC7)

Pin\_AUF Pin\_AB Linearantrieb bewegt sich...

0	0	...nicht
0	1	...abwärts (außer der untere Anschlag ist erreicht)
1	0	...aufwärts (außer der obere Anschlag ist erreicht)
1	1	...nicht

Tabelle 1: Bewegung der Linearantriebe

**Hinweis:** Um den Linearantrieb auf der A- bzw. B-Seite exakt positionieren zu können, muss pro Seite einmalig eine Referenzfahrt von einem

Endschalter zum anderen durchgeführt und dabei die Anzahl der Impulse, die durch die Lochscheibe ausgelöst werden, (interruptgesteuert) mitgezählt werden. Mittels der geometrischen Verhältnisse (siehe Abbildung 2) kann dann die notwendige exakte Anzahl von Impulsen ermittelt werden, die von einer Position (z.B. einem Endschalter) zu einer anderen Position (z.B. einer Rolle) erforderlich sind.

### 2.3.2 USART

Die restliche Kommunikation erfolgt über eine Reihe von USART-Befehlen und -Antworten:

- Steuern des Rollenmotors auf der A-Seite (siehe Tabelle 2)
- Steuern der Bremse auf der B-Seite (siehe Tabelle 3)
- Statusabfrage der Anschläge der Linearantriebe (siehe Tabelle 4)
- Statusabfragen für Rollenantrieb und Bremse (siehe Tabelle 6)
- Fehlermeldungen (siehe Tabelle 5)

Die USART-Schnittstelle ist dabei wie folgt zu konfigurieren: 9600 baud, 8 Bit Wortlänge, ein Stopbit, keine Parität.

Zusätzlich zu den von Nofretete über USART gesendeten Fehlermeldungen, blinken bei einer ungültigen Aktion alle LED-Indikatoren der betreffenden Seite. Wird beispielsweise versucht den Rollenantrieb zu drehen, obwohl sich der Schlitten A nicht in einer gültigen Position befindet, so blinken alle LED-Indikatoren der A-Seite vier mal rot.

## 2.4 STM32 Pinbelegung

Tabelle 7 zeigt die Pinbelegung aus der Sicht des STM32.

Die Pins PB6 und PC7 (Impulszählung der Lochscheiben) müssen als Eingänge konfiguriert werden!

Daten AN

Nofretete

<b>0x00</b>	Haltemoment Abschalten (Rolle ist frei beweglich)
<b>0x01...0x3E</b>	1...62 Schritte abwärts drehen
<b>0x41...0x7E</b>	1...62 Schritte aufwärts drehen
<b>0x7F</b>	Haltemoment EINschalten (Rolle wird gehalten)

Daten VON

Nofretete

(...als Antwort auf 0x00 bis 0x7F)

0x04	Aktion des Rollenantriebes ist abgeschlossen
0x05	Rollenantrieb befindet sich bereits in diesem Zustand
0x10	Fehler: ungültige Position des Schlittens
0x11	Fehler: Rolle wird von B-Seite gebremst
0x12	Fehler: Rolle dreht noch

Tabelle 2: Rollenantrieb

Daten AN

Nofretete

<b>0x80</b>	Bremse lösen (Rolle ist frei beweglich)
<b>0x81</b>	Bremse anziehen (Rolle wird gebremst)

Daten VON

Nofretete

(...als Antwort auf 0x80 bis 0x81)

0x24	Aktion der Bremse ist abgeschlossen
0x25	Bremse befindet sich bereits in diesem Zustand
0x30	Fehler: ungültige Position des Schlittens
0x31	Fehler: Rolle wird von A-Seite gedreht
0x32	Fehler: Bremse ist noch in Bewegung

Tabelle 3: Bremse

Daten AN Nofretete	Daten VON Nofretete	
(keine)	0x0C	unterer Anschlag A-Seite wurde ausgelöst (ohne vorherige Statusabfrage)
(keine)	0x0D	oberer Anschlag A-Seite wurde ausgelöst (ohne vorherige Statusabfrage)
(keine)	0x2C	unterer Anschlag B-Seite wurde ausgelöst (ohne vorherige Statusabfrage)
(keine)	0x2D	oberer Anschlag B-Seite wurde ausgelöst (ohne vorherige Statusabfrage)
<b>0x90</b>	0x08/0x09	Statusabfrage unterer Anschlag A-Seite Antwort: ist nicht ausgelöst / ist ausgelöst
<b>0x91</b>	0x0A/0x0B	Statusabfrage oberer Anschlag A-Seite Antwort: ist nicht ausgelöst / ist ausgelöst
<b>0x92</b>	0x28/0x29	Statusabfrage unterer Anschlag B-Seite Antwort: ist nicht ausgelöst / ist ausgelöst
<b>0x93</b>	0x2A/0x2B	Statusabfrage oberer Anschlag B-Seite Antwort: ist nicht ausgelöst / ist ausgelöst

Tabelle 4: Anschläge der Linearantriebe

Daten VON  
Nofretete

0x13	Fehler: Linearschiene A darf nicht bewegt werden Ursache: Rollenantrieb ist nicht stromlos
0x14	Fehler: Linearschiene A kann nicht abwärts bewegt werden Ursache: unterer Anschlag ist erreicht
0x15	Fehler: Linearschiene A kann nicht aufwärts bewegt werden Ursache: oberer Anschlag ist erreicht
0x33	Fehler: Linearschiene B darf nicht bewegt werden Ursache: Bremse ist angezogen
0x34	Fehler: Linearschiene B kann nicht abwärts bewegt werden Ursache: unterer Anschlag ist erreicht
0x35	Fehler: Linearschiene B kann nicht aufwärts bewegt werden Ursache: oberer Anschlag ist erreicht
0xFF	Fehler: ungültiger Befehl

Tabelle 5: Fehlermeldungen

Daten AN Nofretete	Daten VON Nofretete	
<b>0x82</b>	0x01 0x02 0x03	Statusabfrage Rollenantrieb Antwort: Rollenantrieb dreht gerade Antwort: Haltemoment ist ABgeschaltet Antwort: Haltemoment ist EINGeschaltet
<b>0x83</b>	0x21 0x22 0x23	Statusabfrage Bremse Antwort: Bremse bewegt sich gerade Antwort: Bremse ist gelöst Antwort: Bremse ist angezogen

Tabelle 6: Statusmeldungen

Signal	Pin STM32	Beschreibung	Logic Analyzer
USART3 RX	PB8	VON Nofretete	LA CH7
USART3 TX	PB9	AN Nofretete	LA CH6
Lochscheibe A	PB6	Impulszählung und	LA CH2
Pin_AUF A	PA5	Linearmotor-Steuerung	LA CH5
Pin_AB A	PA9	auf <b>Antriebs</b> -Seite	LA CH0
Lochscheibe B	PC7	Impulszählung und	LA CH1
Pin_AUF B	PA8	Linearmotor-Steuerung	LA CH3
Pin_AB B	PA6	auf <b>Brems</b> -Seite	LA CH4
ADC Eingang	PA7	Potentiometer "P"	

Tabelle 7: Pinbelegung

## 3 Empfohlener Übungsablauf

### 3.1 Aufbau des Programms

Bauen Sie Ihr Programm modular auf! Implementieren und testen Sie die Teilaufgaben so weit wie möglich separat und führen Sie diese erst dann zur Gesamtlösung zusammen. Ein *Vorschlag* für die Herangehensweise und Separierung der Teilaufgaben:

- Ansteuern der Linearantriebe
- Auslesen der Lochscheiben-Lichtschranken
- Implementierung der USART-Schnittstelle
- gezieltes Positionieren der Schlitten
- Implementierung einer Steuerlogik
- Optimierung der Steuerlogik

### 3.2 Benotung

Die Note für das Labor setzt sich aus dem Abgabegespräch sowie den Funktionalitäten, die Sie implementiert haben, zusammen. Im Folgenden befindet sich ein Richtwert, welche Funktionalitäten zum Erreichen einer bestimmten Note erfolgreich implementiert werden müssen. Dabei ist die Erfüllung aller Minimalanforderungen für die 'schlechteren' Noten die Voraussetzung für eine 'bessere' Note. Die Gesamtnote hängt jedoch zusätzlich von dem Abgabegespräch ab, d.h. wie gut Sie den Code erklären können und ob Sie in der Lage sind, kleine Änderungen vorzunehmen.

Die gesamte Steuerung soll über Interrupts erfolgen, wenn Sie glauben, an irgendeiner Stelle eine Warteschleife zu benötigen, fragen Sie bei den Tuto ren nach, ob Sie das dürfen. Unnötige Warteschleifen führen zu Punkteabzügen.

Genügend: Ihr Programm muss nach einem Reset an zumindest einer Seite (A/B) mit dem Linearantrieb eine Referenzfahrt machen, und danach durch Zählung der Impulse von der Lochscheibe gezielt eine bestimmte Rolle exakt anfahren.

Befriedigend: A- und B-Seite arbeiten zusammen:

Die Last (=der Stein) wird von der untersten Position kontrolliert wegbewegt (A-Seite) und in der ersten Position durch die Bremse (B-Seite) gehalten bzw. wieder losgelassen - je nach Stellung des Potentiometers "P" (Linksanschlag: Stein wird losgelassen, Mittenstellung: Stein wird gehalten, Rechtsanschlag, Stein wird zur ersten Position bewegt).

Gut:

Ablaufsteuerung:

Die Last (=der Stein) wird nach oben transportiert, ohne dazwischen zurückzurollen, d.h. es erfolgt ein sinnvoller Ablauf zwischen Drehen und Bremsen der einzelnen Rollen. Mit dem Potentiometer "P" kann bestimmt werden, wie weit (d.h. bis zu welcher Position) der Stein transportiert wird.

Sehr gut:

Optimierung:

Die Last (= der Stein) wird zügig (mit den minimal notwendigen Drehbewegungen) zur Zielposition bewegt. Mit dem Potentiometer "P" kann bestimmt werden, wohin (d.h. auf welche Position) der Stein transportiert wird. Nach Erreichen der Zielposition kann eine neue Position mittels Potentiometer eingegeben werden und diese wird auf direktem Weg vom Stein angefahren.