

# 1 Einführung

## 1.1 Balancieren eines Besenstiels

Jeder von uns wird schon einmal einen Besenstiel oder etwas Ähnliches auf der Hand balanciert haben. Nach kurzem Training können wir ihn nahezu mühelos vor dem Umfallen bewahren. Selbst Kinder lernen dies in der Regel recht schnell. Wenn man sie fragt, wie sie beim Balancieren vorgehen, geben sie meist zwei Regeln an, nach denen sie sich richten:

Wenn der Besenstiel nach vorne kippt, dann muss man schnell mit der Hand nach vorne gehen; wenn er nach hinten kippt, dann muss man die Hand rasch zu sich nach hinten ziehen.

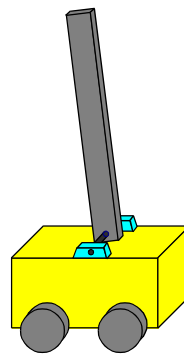
Es handelt sich hier also um einen typischen Regelungsprozess: Das Auge kontrolliert die Neigung des Besenstiels und das Gehirn teilt den Muskeln des Arms dementsprechend mit, wie dieser sich bewegen soll. Dies muss in rascher Folge geschehen, sonst erreicht der Stiel eine solche Schräglage, dass sie auch nicht durch eine noch so starke Bewegung der Hand ausgeglichen werden kann.

Kann man diesen Regelungsprozess auch von einer Maschine übernehmen lassen? Das ist die Frage, der wir uns hier zuwenden wollen. Damit das Problem nicht zu kompliziert wird, wollen wir uns auf das Balancieren in einer Richtung beschränken. Dazu wird der Stiel an seinem unteren Ende auf einer Achse drehbar gelagert. Es handelt sich hier also um ein auf dem Kopf stehendes Pendel; man spricht auch von einem *invertierten Pendel*.

Die Funktion der balancierenden Hand wird von einem kleinen Auto mit Motor übernommen. Am einfachsten greift man hier zunächst auf ein Baukastensystem wie z.B. LEGO oder Fischertechnik zurück. Die Achse mit dem Stiel wird quer zur Bewegungsrichtung des Fahrzeugs montiert (Abb. 1.1). Das obere Stielende bewegt sich beim Pendeln also in (oder gegen) die jeweilige Fahrtrichtung.

Noch ist unsere Maschine nicht fertig: Es fehlen die Sensoren, die erst die Lage des Pendels erfassen und dementsprechende Maßnahmen ermöglichen. Vielleicht können wir mit unseren Sinnen aushelfen? Greifen wir also selbst zu dem Batteriekasten mit den Steuerknöpfen für den Vorwärts- bzw. Rückwärtslauf. Ein Helfer bringt das Pendel in die vertikale Position und lässt es auf unser Kommando los. Wir bemerken, wie es beginnt, sich nach vorn zu neigen; also betätigen wir schnell den Knopf für den Vorwärtslauf und... nach wenigen Augenblicken liegt das Pendel am Boden. Zahlreiche Versuche folgen. Manchmal kommt es noch zu einigen wenigen hektischen Hin- und Herbewegungen, aber kein einziges Mal gelingt es, das Pendel auch nur für mehrere Sekunden oben zu halten.

Ist unsere Reaktion beim direkten Kontakt mit dem Pendel besser? Wir versuchen, den Wagen mit der Hand zu bewegen, und siehe da, manchmal gelingt es tatsächlich, auf diese Weise das Ziel zu erreichen: das Pendel kann für einige Zeit oben gehalten werden.



1.1 Das invertierte Pendel

## 1.2 Elektronische Schaltung zum Balancieren

Schnelligkeit ist keine Hexerei, das trifft zumindest für elektronische Schaltungen zu. Daher soll die träge manuelle Bedienung des Motors nun durch eine elektronische Vorrichtung ersetzt werden. Als Sensor benutzen wir eine Lichtschranke, die oberhalb der Drehachse angebracht wird. Dabei wird sie so montiert, dass sie vom Pendel nur unterbrochen wird, wenn es sich nach vorn neigt (Abb. 1.2).

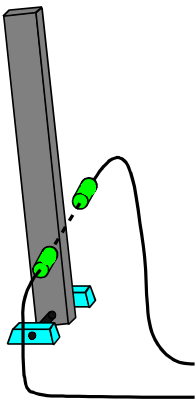
Die zugehörige elektronische Schaltung in Abb. 1.3 sorgt dafür, dass der Wagen sich bei einer Unterbrechung der Lichtschranke nach vorne bewegt, andernfalls nach hinten. Einen Stillstand des Wagens kennt die Schaltung also nicht. Dies stört uns nicht sehr, da das Pendel sich beim Balancieren sowieso nur für ganz kurze Zeitintervalle in einer nahezu vertikalen Lage befindet.

Das Umschalten der Polung wird in unserer Schaltung von dem Relais übernommen. Man könnte es auch durch eine Gegentakt-Endstufe ersetzen. Zum Betrieb des Relais sind Stromstärken im Bereich von ca. 100 mA erforderlich. Der Fototransistor der Lichtschranke liefert jedoch nur erheblich geringere Ströme. Deswegen findet man zwischen Fototransistor und Relais eine einfache Verstärkerschaltung.

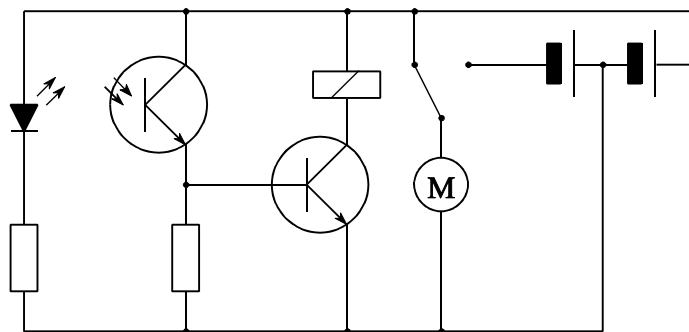
Schon die ersten Versuche zeigen: Unsere elektronische Schaltung steuert den Motor keinesfalls schlechter als ein Mensch. Immerhin erreichen wir - wenn wir das Getriebe besser auf die Situation abstimmen - Zeiten von einigen Sekunden! Dabei bewegt sich der Wagen aber hektisch hin und her.

Auch wenn wir andere Baukastensysteme mit anderen Motoren und anderen Getrieben verwenden, so erzielen wir keine wesentliche Verbesserung. Offensichtlich ist unsere Regelung zu grob! Wünschenswert wäre eine feinere Regelung, die sich nach den oben genannten Regeln richtet. *Fuzzy*, unter dieser Bezeichnung findet man in letzter Zeit immer häufiger Regelsysteme, die gerade dies leisten sollen: Weiche Regelungen nach umgangssprachlich formulierten Angaben. Worum handelt es sich eigentlich bei Fuzzy? Hier und da sieht man es als Werbeetikett auf Kameras oder in Hochglanzprospekten von Waschmaschinen. Aber fragt man die Verkäufer danach, zucken sie nur mit den Schultern. Kann Fuzzy wirklich bei unserem Problem helfen? Das sollen die nächsten Kapitel zeigen.

Steigen wir ein in eine neue Art des Denkens!



1.2 Lichtschranke



1.3 Schaltung zur Regelung des invertierten Pendels