

# Über die didaktische Dimension kybernetischer Fahrmodelle

## Tierisches Verhalten und technische Modelle

Rolf Oberliesen

Bereits *Norbert Wiener* berichtet in seinem Buch „The Human Use Of Human Beings“<sup>1</sup> von „Kommunikationsmaschinen“ und beschreibt dort ein Demonstrationsgerät, einen kleinen dreirädrigen Wagen, der einmal positiv fototrope, das andere Mal negativ fototrope Aktionsweisen zeigte, der einmal „Motte“ (Lichtsucher), das andere Mal „Wanze“ (Lichtflüchter) sein konnte. Inzwischen weiß die Fachliteratur über eine ganze Reihe von „kybernetischen Tieren“ zu berichten (*Walter, Zemanek, Haseloff, Shannon* u. a.)<sup>2</sup>, die „auf den ersten Blick geistreiche Spielereien zu sein scheinen oder bestenfalls technische Kommentare zu einem philosophischen Text“<sup>3</sup>. Man kann diese „kybernetischen Spielzeuge“ aber nicht ohne weiteres der Kategorie der Roboter zuordnen<sup>4</sup>, die oft in ihrer rein mechanischen Tätigkeit karriert wurden.

Einmal können nämlich „kybernetische Spielzeuge“ komplizierte Verhalten von Organismen nachahmen, weil sie durch ihre kybernetische Konzeption in der Lage sind, sich veränderten Situationen sinnvoll anzupassen; zum andern verlieren diese Apparate den Spielzeugcharakter, indem sie zugleich der technischen und biologischen Forschung dienen<sup>5</sup>. Die Kybernetik übernimmt mit der Konstruktion informationsverarbeitender Maschinen die technische Verwirklichung von Organismen — was mit spielerischer Nachahmung nichts mehr zu tun hat — gleichzeitig wirken eben diese technischen Errungenschaften der Kybernetik, ausgehend von der technischen Nachahmung organischen Verhaltens, zurück auf die Erforschung der Bau- und Funktionsweisen von Organismen<sup>6</sup>.

In die Biologie dringen damit Begriffe, Denkweisen und Methoden ein, die in der Technik und Mathematik entwickelt wurden (etwa Hauptbegriffe wie Regelkreis und Information) und dazu beitragen, die Bereiche der Biologie weiter zu erschließen, deren

Gesetzmäßigkeiten denen von der Technik her bereits bekannten entsprechen<sup>7</sup>. Die Regelungslehre war zum Beispiel bis 1925 (Arbeiten von *R. Wagner*) praktisch nur für die Technik von Interesse, bis man entdeckte, daß auch im organischen Bereich zahlreiche Regelvorgänge existieren und damit neue Aspekte für viele bekannte biologische Prozesse eröffnet wurden. Unter anderem stellte sich heraus, daß viele Reflexe, so auch der Pupillenreflex, in Wirklichkeit Regelkreise darstellen. Technische und biologische Regelkreise zeigen dabei weitgehend Ähnlichkeit in der funktionellen Struktur bei weitgehender Verschiedenheit der einzelnen Bauelemente.

### 1. Strukturmomente des Unterrichts mit kybernetischen Fahrzeugen

Der Unterricht in den allgemeinbildenden Schulen sollte es zu seiner Aufgabe machen, die Sicht in diese übergeordneten Zusammenhänge anzubahnen und beispielsweise die Einsichten, die im Naturwissenschaftlichen oder Technikunterricht gewonnen werden, transferbereit zu halten für andere Diszi-

<sup>1</sup> Deutsche Übersetzung *Wiener*, Mensch und Menschmaschine, Kybernetik und Gesellschaft. Frankfurt 1966, S. 174 f.

<sup>2</sup> Hinweise dazu z. B. in *v. Cube*, Was ist Kybernetik?, dtv 4079, S. 116 f.; *Fuchs*, Knauts Buch der Denkmaschinen. München 1968, S. 332.

<sup>3</sup> *Wiener*, ebd., S. 177.

<sup>4</sup> Vgl. *v. Cube*, Was ist Kybernetik?, dtv 4079, S. 183 und die Darstellung über einen Stammbaum der Automaten bei *Gerwin*, Intelligente Automaten. Stuttgart 1964, S. 48/49.

<sup>5</sup> Beispiele u. a. auch bei *Wiener*, ebd., S. 177 f.

<sup>6</sup> *v. Cube*, ebd., S. 186.

<sup>7</sup> Zur Thematik „Kybernetik und Biologie“ vgl. *Frank* (Hrsg.), Kybernetik — Brücke zwischen den Wissenschaften. Frankfurt 1970; *Hassenstein*, Biologische Kybernetik — eine elementare Einführung. Heidelberg 1970; *Hassenstein*, Kybernetik und biologische Forschung. Frankfurt 1966.

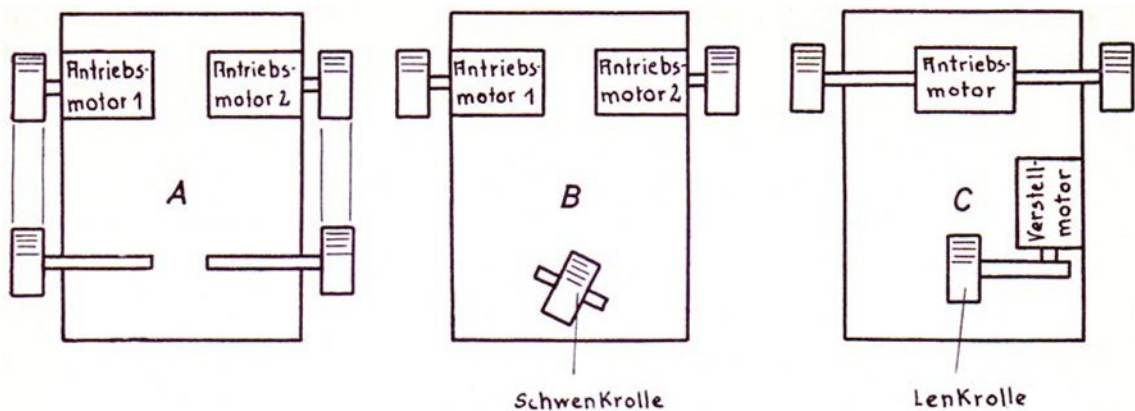


Abb. 1: Fahrzeugtypen

plinen wie Biologie, Medizin, Psychologie, Pädagogik, Soziologie, Ästhetik oder Philosophie, die in weiten Bereichen gleiche Strukturen aufweisen. Nachfolgend skizzierter Unterricht einer Arbeitsgemeinschaft des 9. Schuljahres einer Hauptschule versucht über den Bau von einfachen kybernetischen Fahrzeugen die Gültigkeit technischer Denkmodelle (Regelkreise) für biologische Systeme (Verhaltensformen von Tieren) erkennen zu lassen. Simuliert werden sollten Verhaltensmechanismen von verschiedenen Tieren, die fototaktisch ausgerichtet sind. Die aus der Literatur bekannten „kybernetischen Tiere“ arbeiten mit elektronischen Verstärkerelementen und vielfach verzweigten Stromkreisen und sind damit von vornherein für einen Schüler der Sekundarstufe I unzugänglich. Aus diesem Grund ist hier versucht worden, ohne elektronische Bauelemente wie Transistoren usw. in einfachen Steuerschaltungen zu arbeiten<sup>8</sup>.

Für die unterrichtliche Erschließung boten sich zwei methodische Möglichkeiten an:

I Über das Beobachten des Verhaltens von Wasserflöhen auf Lichteinwirkung wird in die Aufgabenstellung eingeführt, ein Fahrzeugmodell zu konstruieren, das sich in der Reaktion auf Licht ähnlich verhält wie diese Organismen.

II Es wird die Aufgabe gestellt, ein Fahrzeug zu bauen, das sich mit Licht steuern läßt; erst wenn die Selbststeuerung nach dem Licht im Modell verwirklicht ist, wird mit dem Hinweis auf ähnliche Phänomene bei Lebewesen übergeleitet zur eigentlichen Simulation von fototaktischen Verhaltensmechanismen bei verschiedenen Tieren.

Nachfolgend ist der unterrichtliche Weg nach dem methodischen Ansatz II beschrieben.

Seitens der Schüler konnte für diesen Unterricht als Voraussetzung gelten:

- Erfahrungen im Bau einfacher Fahrzeuge und deren Lenkung<sup>9</sup>,
- Kenntnisse über fotoelektrische Steuerung und Regelung<sup>10 11</sup>,
- Kenntnisse über fototaktisches Verhalten von Lebewesen<sup>12</sup>.

## 2. Zur Unterrichtsstrategie

### 2.1 Unterrichtsphase 1

Ausgangsüberlegung entsprechend dem methodischen Ansatz II ist die Aufgabe ein Fahrzeug zu bauen, das sich elektrisch fernlenken läßt („Mondauto“). Die Schüler schlugen drei verschiedene Fahrzeugtypen mit unterschiedlichen Lenkungsarten vor (vgl. Abb. 1), wobei der zweite Typ eigentlich nur eine Variante des ersten ist. Sie verwirklichten die Lösungsvorschläge und erprobten sie auf ihre Fernlenkbarkeit über elektrische Leitungen<sup>13</sup>.

Das Modell A zeigte eine Raupensteuerung, bei der über zwei Stromkreise das Fahrzeug durch einfaches wechselseitiges Einschalten des linken oder rechten

<sup>8</sup> Im Gegensatz beispielsweise zu den im Braun-Lektron-Experimentalkurs „Kybernetik“ angeführten Experimenten.

<sup>9</sup> Vgl. Lehrplan für die Arbeitslehre NRW, B 10/34.

<sup>10</sup> Vgl. Lehrplan für Physik/Chemie an Hauptschulen NRW, B 8/58.

<sup>11</sup> Zur unterrichtspraktischen Arbeit in diesem Bereich vgl. Mothes/Oberliesen, Physik I und Technik in Unterrichtsbeispielen. Köln 1971.

<sup>12</sup> Vgl. Stephan, Gedanken zur ‚Behandlung‘ der Verhaltensforschung im Biologieunterricht der Hauptschule. Zeitschrift für Naturlehre und Naturkunde, 1969, S. 312 ff.

<sup>13</sup> Als Material zur sachgerechten Verwirklichung dieser Lösungen – im nachfolgend dargestellten Unterricht wurden auch Modelle aus Holz und anderen Materialien gebaut – erwiesen sich die Lernbaukästen der Firma Fischer, Tumlingen, als recht gut geeignet. Verwendet wurde der Lernbaukasten u-t 1, u-t 2 und u-t 3. (Der Fotowiderstand ist aus u-t 4.)

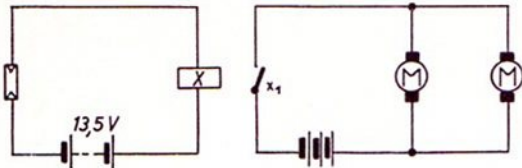


Abb. 2: Fotoelektrische Grundschaltung (Der Fotowiderstand ist nach vorn gerichtet.)

Antriebsmotors das Fahrzeug rechtsherum, links-herum oder geradeaus gelenkt werden konnte. Das Modell B wies eine ähnliche Funktionsstruktur auf, wohingegen Modell C, ständig angetrieben, lediglich über das Verstellen der Lenkrolle, über den Verstellmotor gesteuert wurde.

Die Fernsteuerung über Draht befriedigte die Schüler jedoch schon sehr bald nicht mehr, sie drängten darauf, „drahtlos“ fernzusteuern, um von dem Modell selbst und dem „Nachlaufen“ unabhängig zu sein. Da die fotoelektrische Steuerung aus der bisherigen Arbeit bekannt war, lag es nahe, das Fahrzeug mit Lichtsignalen zu steuern. Bei den Typen A und B wurde die Schaltung nach Abb. 2 verwirklicht. Um eine möglichst große Empfindlichkeit zu erreichen, wurden drei hintereinandergeschaltete Flachbatterien (13,5 V) verwendet<sup>14</sup>. Sobald das Modell, bzw. der Fotowiderstand mit der Taschenlampe beleuchtet wird, schaltet das Relais X mit seinem Kontakt X<sub>1</sub> die beiden Antriebsmotoren M<sub>1</sub> und M<sub>2</sub> ein, das Modell fährt – wenn beleuchtet – geradeaus und stoppt, sobald es nicht mehr angeleuchtet wird. Durch weitere Variationen dieser einfachen Grundschaltung ließ sich erreichen:

- Fahrzeug fährt im Dunkeln geradeaus und dreht sich – wenn es beleuchtet wird – rechtsherum (links-herum).
- Fahrzeug steht im Dunkeln und fährt – wenn es beleuchtet wird – linksherum (rechtsherum).

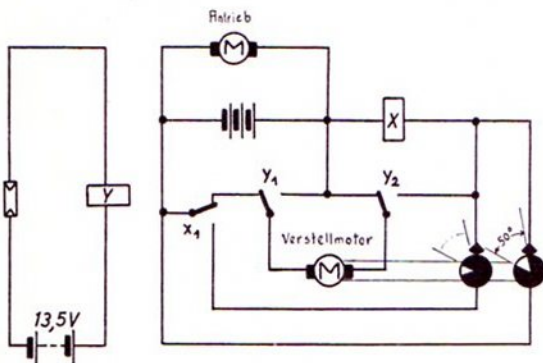


Abb. 3: Fotoelektrische Steuerschaltung für Fahrzeugtyp C (in Stellung Linklenkung gezeichnet)

- Fahrzeug fährt im Dunkeln rechtsherum (links-herum), bei Beleuchtung linksherum (rechtsherum).
- Fahrzeug fährt im Dunkeln rechtsherum (links-herum), bei Beleuchtung geradeaus.

Bei Verwendung von zwei Fotowiderständen und zwei Relais kann das Modell bei entsprechender Schaltung wahlweise, je nach Beleuchtung rechts-herum, linksherum oder geradeaus fahren oder stoppen.

Der Fahrzeugtyp C erwies sich für die Schüler für eine solche Steueraufgabe als nicht geeignet, da sich scheinbar unüberwindliche Schwierigkeiten bei der jeweiligen automatischen Einsteuerung der Lenkrolle durch den Stellmotor ergaben. Um zu zeigen, daß dennoch – wenn auch mit größerem technischem Aufwand – eine ähnliche Steuerung wie bei Typ A/B möglich ist, verwirklichte der Lehrer dieses Modell weiter, um es später den Schülern gleichsam als Black Box zur weiteren Erprobung zu übergeben. Die Schaltung ist in Abb. 3 dargestellt.

## 2.2 Unterrichtsphase 2

An dieser Stelle des Unterrichts erfolgte nun der Hinweis des Lehrers auf Beobachtungen, die die Schüler im Biologieunterricht oder außerhalb des Unterrichts bei Lebewesen gemacht haben, die sehr stark auf Lichtreize reagieren (Mauerasseln, Motten, Maikäfer, Nachtfalter, Wasserflöhe, Muscheln, Regenwürmer usw.).

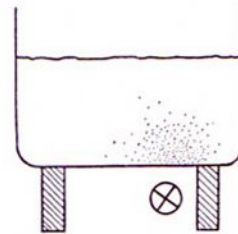


Abb. 4

Um eine gemeinsame Ausgangsbasis für weitere Überlegungen zu haben, wurde das Experiment zum fototaktischen Verhalten der Wasserflöhe (siehe Abb. 4) durchgeführt<sup>15</sup> und festgehalten, was beobachtet werden konnte:

<sup>14</sup> Die Empfindlichkeit läßt sich auch dadurch weiter erhöhen, daß zwei Fotowiderstände parallel geschaltet werden.

<sup>15</sup> Versuchsbeschreibungen bei Müller, Schulversuche zur Verhaltensforschung, Phywe-Nachrichten, Heft 47, S. 38 f. und in biologischen Experimentieranleitungen, z. B. bei Garms, Versuche zur Pflanzen-, Tier- und Menschenkunde, BIOGA-Versuchskartei K 9/10.

Die Wasserflöhe (*Daphnia spec.*) sind zunächst (bei abgedunkeltem Raum) regellos im Wasser verteilt. Wenn die Glühlampe neben dem Becken eingeschaltet wird, bewegen sich alle Wasserflöhe zum Licht hin. Das gleiche geschieht, wenn die Lampe unter dem Aquarium eingeschaltet wird. Verlöscht das Licht, verteilen sich die Flöhe wieder im Wasser. Offensichtlich ist der die Bewegung der Tiere auslösende und richtende Reiz die jeweilige Lichtquelle; der Wasserfloh reagiert positiv fototaktisch. Daß es sich dabei um ein Verhalten handelt, das zwangsläufig stattfindet, zeigten die Abwandlungen des Versuches<sup>16</sup>.

Die Schüler standen nun vor der Frage: Kann das Fahrmodell diese relativ starre und stereotype Reflexreaktion, ausgelöst durch einen äußeren Lichtreiz, nachahmen? Die Voraussetzungen waren ja gegeben: es reagierte auf den Lichtschein der Taschenlampe, bewegte sich vorwärts, fuhr nach links oder rechts und stoppte. Fahrzeug A/B (in der Schaltung nach Abb. 2) wurde daraufhin in die Versuchsanordnung Abb. 5 gebracht<sup>17</sup>. Standen die Fahrmodelle A/B in Richtung auf die Glühlampe, so fuhren beim Einschalten der Lampe beide Fahrzeuge geradeaus — auf die Lampe zu —, da der Fotowiderstand beleuchtet war und das Relais beide Antriebsmotoren einschaltete. Dieser Zustand hielt solange an, bis der Fotowiderstand nicht mehr beleuchtet war, das

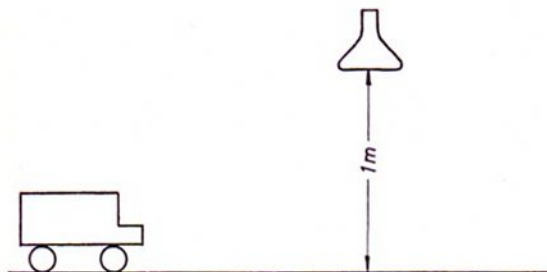


Abb. 5

konnte der Fall sein, wenn der Wagen unter die Lichtquelle gefahren oder durch ungleichen Lauf der Antriebsmotoren aus der Richtung gekommen war; das Modell blieb stehen. Natürlich reagierten die Modelle nur in einer bestimmten Entfernung von der Lichtquelle; außerhalb dieses Bereiches war die Beleuchtungsstärke für den Fotowiderstand nicht mehr ausreichend, das Relais konnte nicht geschaltet werden<sup>18</sup>. Um den Weg der Fahrzeuge genau verfolgen zu können, befestigten die Schüler einen Schreibstift (Filzschreiber) daran, der auf untergelegtem braunem Papier (Packpapier)<sup>19</sup> jeweils den ge-

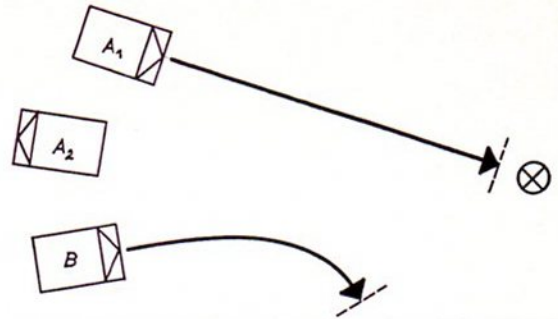


Abb. 6: Tatsächliche Fahrbahnen der Fahrmodelle A/B bei Ausrüstung nach Grundschialtung Abb. 2

nauen Fahrweg aufzeichnete. Es ergaben sich dabei Bahnbilder wie sie Abb. 6 zeigt.

Standen die Modelle in der der Lichtquelle abgewandten Richtung, bewegten sie sich natürlich nicht. Für die Schüler war einsichtig, daß die Modelle nur sehr mangelhaft die Bewegungsreaktionen der Wasserflöhe simulieren konnten, denn bei dieser Anordnung kann das Fahrzeug die Lichtquelle nur unter ganz bestimmten Bedingungen „bemerken“. Für die Lichtbewegung des Wasserfloh ist auch die Richtung des Lichtes von Bedeutung; er kann mehr als nur hell-dunkel sehen, er kann auch die Lichtrichtung erkennen. Den Modellen fehlt eine Einrichtung, die sie befähigt, die Lichtquelle zu suchen, die Lichtrichtung auszumachen. Damit ist eine neue Aufgabe gestellt.

### 2.3 Unterrichtsphase 3

Das Fahrzeug muß von sich aus Bewegungen ausführen, die es zu irgendeinem Zeitpunkt wahrscheinlich auch einmal die Richtung zur Lichtquelle finden läßt<sup>20</sup>. Bei den Überlegungen hinsichtlich der Suchbewegung schieden sehr bald das Zickzack-Suchen und das In-Zeilen-Abfahren aus, da hier mit einer

<sup>16</sup> Dieses Verhalten ist von seiner biologischen Bedeutung her verständlich. Auf diese Weise gelangen Wasserflöhe in unseren Gewässern, Teichen und Tümpeln immer an die obere, dem Licht zugekehrte Wasserschicht, wo der Sauerstoffgehalt am größten ist.

<sup>17</sup> Als Glühlampe wurde, um einen möglichst großen Aktionsradius der Fahrzeuge zu erreichen, eine 500-Watt-Fotolampe eingesetzt.

<sup>18</sup> Dieses Phänomen ist im biologischen Bereich mit der Reizschwelle vergleichbar. Erst, wenn der Reiz (hier: Licht) eine bestimmte Intensität erreicht hat, erfolgt die Auslösung einer Reaktion.

<sup>19</sup> Das Papier sollte einen niedrigen Reflexionsgrad haben, da sonst der Fotowiderstand zu stark durch Streulicht vom Boden beleuchtet wird.

<sup>20</sup> Vgl. die Suchstrategien von anderen kybernetischen Fahrzeugen, z. B. bei der Schildkröte von W. Grey Walter, beschrieben von Fuchs, ebd., S. 338. Verschiedene Suchstrategien sind auch dargestellt bei Steinbuch, Automat und Mensch. Berlin 1971, S. 140 f.

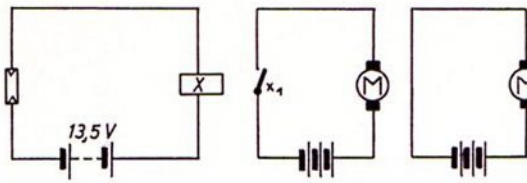


Abb. 7: Fotoelektrische Steuerschaltung für Fahrmodelle A/B mit Orientierungsfunktion (Die Schaltung ist der Übersichtlichkeit halber in Einzelstromkreisen gezeichnet.)

Kreisbewegung der ganze Raum auf einfache Weise systematisch abgetastet werden kann. Es bot sich die Schaltung an, wie sie unter 2.1 als Grundschaftungsvariation d) beschrieben ist; dabei ist eine feste Linksdrehung programmiert (vgl. Abb. 7).

Die so geschalteten Modelle A/B wurden nacheinander in der Versuchsanordnung nach Abb. 5 aufgesetzt – jetzt allerdings von der Lampe abgewandt. Nach dem Einschalten des Lichtes drehte sich das Fahrzeug auf der Stelle – es lief nur Motor 2 und zwar solange, bis der Fotowiderstand in einer bestimmten Position direkt vom Licht getroffen wurde;

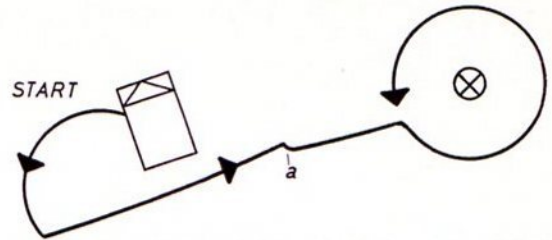


Abb. 8: Tatsächliche Fahrbahn der Fahrmodelle A/B bei Ausrüstung nach Schaltung Abb. 7

in diesem Augenblick schaltete das Relais den Antriebsmotor 1 zusätzlich ein und das Modell steuerte auf geradeaus und fuhr damit auf die Lichtquelle zu. Kam das Fahrzeug unterwegs aus der direkten Bahn (vgl. die von den Fahrzeugen aufgezeichnete Spur in Abb. 8 bei a), lenkte es sich immer wieder auf die exakte Richtung auf das Licht zu ein<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Eine solche exakte Steuerung ist natürlich nur zu erreichen, wenn die Führungsgröße (Richtung zur Lampe) möglichst genau definiert wird. Aus diesem Grund blendeten die Schüler den Fotowiderstand an ihren Fahrzeugen entsprechend gegenüber Lichteinfall von der Seite und von unten ab, vgl. Abb. 9, 12 und 14.

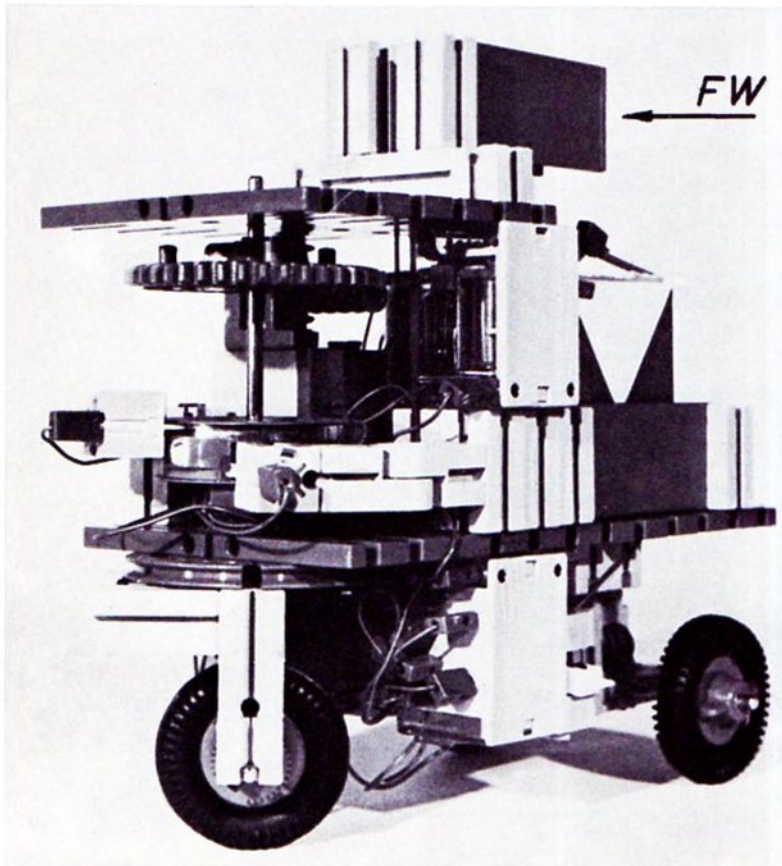


Abb. 9: Fahrmodell C (ausgerüstet nach Schaltung Abb. 3)

Das Fahrmodell C zeigte in dieser Versuchsanordnung gleiche Aktionsweisen, da es von vornherein auf eine Linksdrehung/Geradeauslenkung eingestellt war (fertiges Modell s. Abb. 9). Zu der Faszinanz, die von der Eigensteuerung der Modelle auf die Schüler ausgeht, kam eine weitere nicht erwartete interessante Beobachtung: das Modell fährt auf die Lichtquelle zu und steuert dann fast über eine Spiralbahn in eine Spur, die im Kreis um die Lampe führt. Das Fahrzeug bleibt auf dieser Kreisbahn (vgl. Abb. 8), es kommt ohne äußere Einflüsse aus dieser Steuerung nicht heraus. Es verhielt sich jetzt wie eine Motte, die die Lampe umkreist. Die Lichtquelle wurde dann – entsprechend der Versuchsanordnung bei dem Experiment mit den Wasserflöhen – in eine andere Position ( $L_2$ ) gebracht. Das Fahrmodell verließ die Kreisbahn (siehe Spurzeichnung Abb. 10), richtete sich auf die Position der neuen Lichtquelle aus, fuhr auf diese zu und kreiste dort erneut in einer stabilen Kreisbahn. Der Versuch konnte beliebig oft in dieser Weise verändert werden, immer fand das Modell mit Hilfe seiner Orientierungsfunktion (vorprogrammierte Linksdrehung) selbst die Richtung zur Lampe, auch dann, wenn die Lampe vorübergehend abgedunkelt wurde, die Lampe ihre Position veränderte oder die Motoren ungleichmäßig liefen.

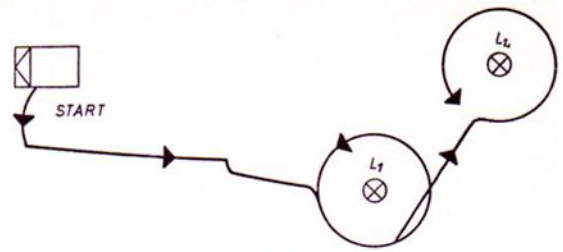


Abb. 10: Tatsächliche Fahrbahn der Fahrmodelle A/B mit Orientierungsfunktion bei Veränderung der Lichtquelle von  $L_1$  nach  $L_2$

Das Verhalten der Modelle war dem der Wasserflöhe sehr ähnlich, darüber waren sich die Schüler einig. In einem Schaubild (vgl. Abb. 11) wurden noch einmal die Einzelfunktionen dargestellt: Das Modell fährt mit Hilfe seiner festprogrammierten Orientierungsfunktion im Kreis. Der Fotowiderstand meldet an das Relais, ob die tatsächliche Fahrtrichtung zum Licht (Istwert) mit der gewünschten Richtung zum Licht (Sollwert) übereinstimmt oder von ihr abweicht. Stimmen Istwert und Sollwert überein, schaltet das Relais den Motor 1 ein, das Modell steuert auf die Lampe zu. Die tatsächliche Fahrtrichtung wird dabei immer wieder vom Fotowiderstand überwacht, sobald Störungen auftreten wie Ver-

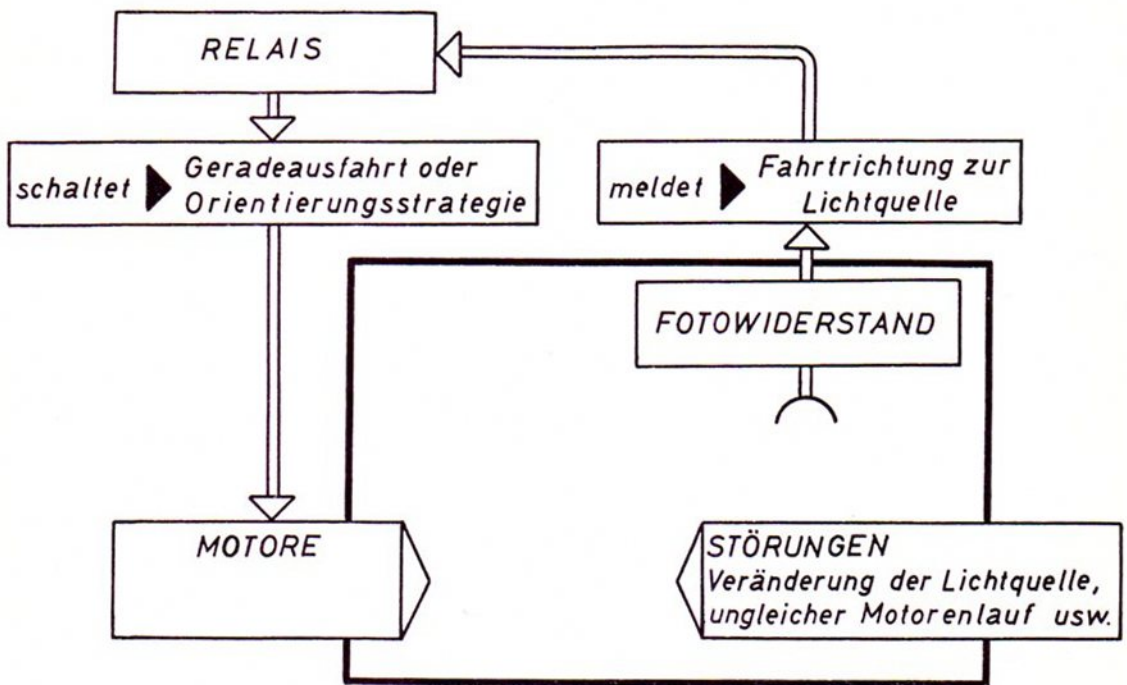


Abb. 11: Blockschaltbild des Regelkreises der Fahrzeuge A/B/C mit Orientierungsfunktion

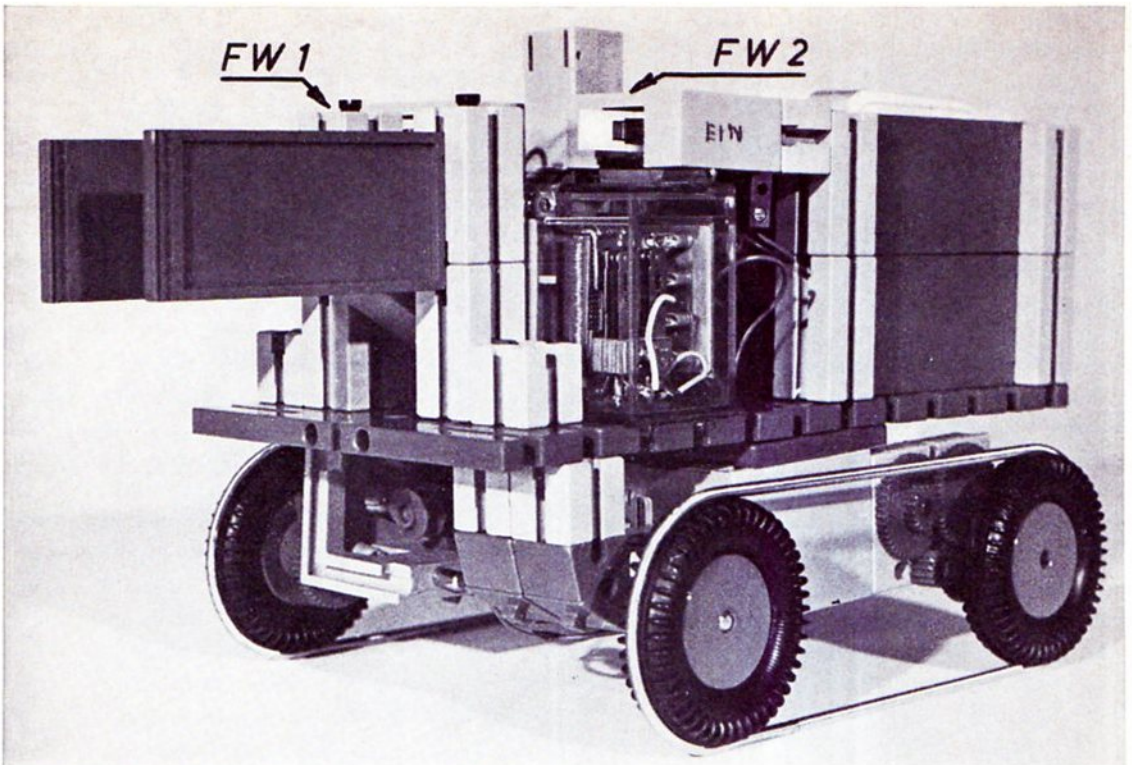


Abb. 12: Fahrmodell A (ausgerüstet nach Schaltung Abb. 13)

änderung der Lichtquelle oder ungleicher Motorenlauf, meldet der Fotowiderstand die Abweichungen an das Relais, das seinerseits auf die Orientierungsstrategie umschaltet. Die Schüler erkannten das bekannte Regelkreisphänomen, das auf die Reflexreaktion der Wasserflöhe, bzw. der Motte übertragen werden konnte. Der Reflex des Wasserfloh, bzw. der der Motte, muß nach den gleichen Gesetzmäßig-

keiten, wie sie exakt einzeln an diesen technischen Fahrmodellen wahrzunehmen sind, funktionieren<sup>22</sup>. Der Reflex des Wasserfloh ist ein geschlossener Regelkreis, ein Regelkreis mit Rückkoppelfunktion.

#### 2.4 Unterrichtsphase 4

Einzelne Schülergruppen – alle bisher besprochenen Modelle wurden in Partnerarbeit erstellt – versuchten nun, ihre Fahrmodelle zu vervollkommen und weitere fototaktische Verhaltensweisen von Tieren zu simulieren<sup>23</sup>.

a) Der Wasserfloh verharrt in der Nähe der Lampe, wenn er die größte Lichtintensität erreicht hat. Das Fahrmodell verhielt sich aber, wie die letzten Versuche zeigten, wie eine Motte, die um das Licht kreist. Um das Verhalten des Flohs zu simulieren, wurde dem Modell ein zweiter Fotowiderstand aufgesetzt, der über ein Relais jeden Antrieb unterbin-

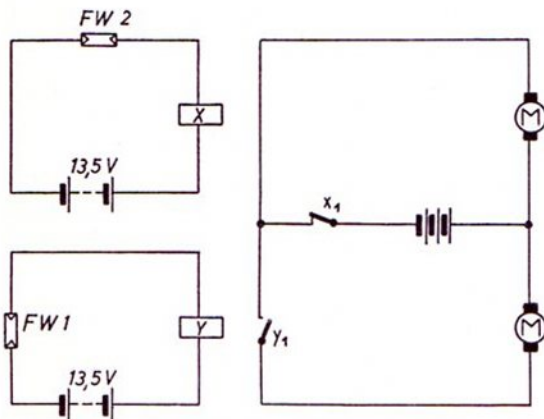


Abb. 13: Fotoelektrische Steuerschaltung für Fahrmodelle A/B mit Orientierungsfunktion und automatischem Ausschalter bei zu großer Lichtintensität

<sup>22</sup> Eine Ausdehnung auf Regelkreisstrukturen bei anderen Taxien (Geotaxis, Hydrotaxis, Therमतaxis usw.), aber auch auf soziologische und psychologische Wirklichkeitsbereiche scheint hier möglich.

<sup>23</sup> Weitere Anregungen zu Experimenten über negative Fototaxien, Menotaxien, „Überlebensreflexe“ können u. a. auch dem Braunschweiger Elektron-Experimentalkurs „Kybernetik“ entnommen werden.

det, wenn sich das Fahrzeug der Lampe bis auf ein Minimum genähert hat. Das fertige Modell – Fahrzeugtyp A – zeigt Abb. 12 (vgl. die Schaltung Abb. 13).

b) Negativ fototaktische Organismen (Lichtflüchter) wie Wanze, Mauerassel, Küchenschabe wurden von einer anderen Schülergruppe simuliert. Sie polten bei dem Typ B die Antriebsmotoren mit einem Polwendeschalter um. Die eine Schalterstellung wurde mit „Motte“, die andere mit „Wanze“ bezeichnet. In der Schalterstellung „Wanze“ zeigte das Modell negativ fototaktische Reaktion; es versuchte, aus dem Licht herauszufahren und kreiste in einer dunklen Ecke. Das fertige Fahrmodell – Fahrzeugtyp B – zeigt Abb. 14.

c) Da die bisher erstellten Modelle auch im Dunkeln ständig ihre Orientierungsstrategie eingeschaltet ließen, veränderten einige Schüler ihr Modell durch zusätzlich aufgesetzte parallel geschaltete Fotowiderstände und einem weiteren Relais so weit, daß alle Funktionen im Dunkeln ausgeschaltet sind, sich aber automatisch einschalten, wenn der Raum nur schwach beleuchtet wird.

d) Wieder eine andere Schülergruppe experimentierte daran, das Modell so einzurichten, daß auf die Auslösung von Berührungsreizen hin Hindernisse umfahren werden konnten. Für eine kurze Zeitdauer sollte auf diesen Berührungsreiz hin über Schaltkontakte der Rückwärtsgang bei gleichzeitiger Linkssteuerung eingeschaltet werden. In immer neuen Ansätzen kann das Modell mit Hilfe dieser Orientierungsfunktion das Hindernis umfahren und dann in der bekannten Weise das Licht ansteuern.

Abschließend wurde festgestellt, daß sich alle diese Modelle in den oft wiederholten Situationen immer gleich verhalten, sie konnten also nicht „dazulernen“. Um das Fahrmodell „lernfähig“ zu machen, müßte es mit einer Vorrichtung versehen werden, die es ihm ermöglicht, die aufgenommenen Informationen zu speichern, um sie in späteren neuen, aber ähnlichen Situationen benutzen zu können.

Aus dieser Unterrichtsarbeit mag deutlich werden daß es durchaus möglich ist – wenn auch nur in bescheidenen Ansätzen –, Schülern der Sekundarstufe I kybernetische Denkweisen und Methoden nahezubringen.

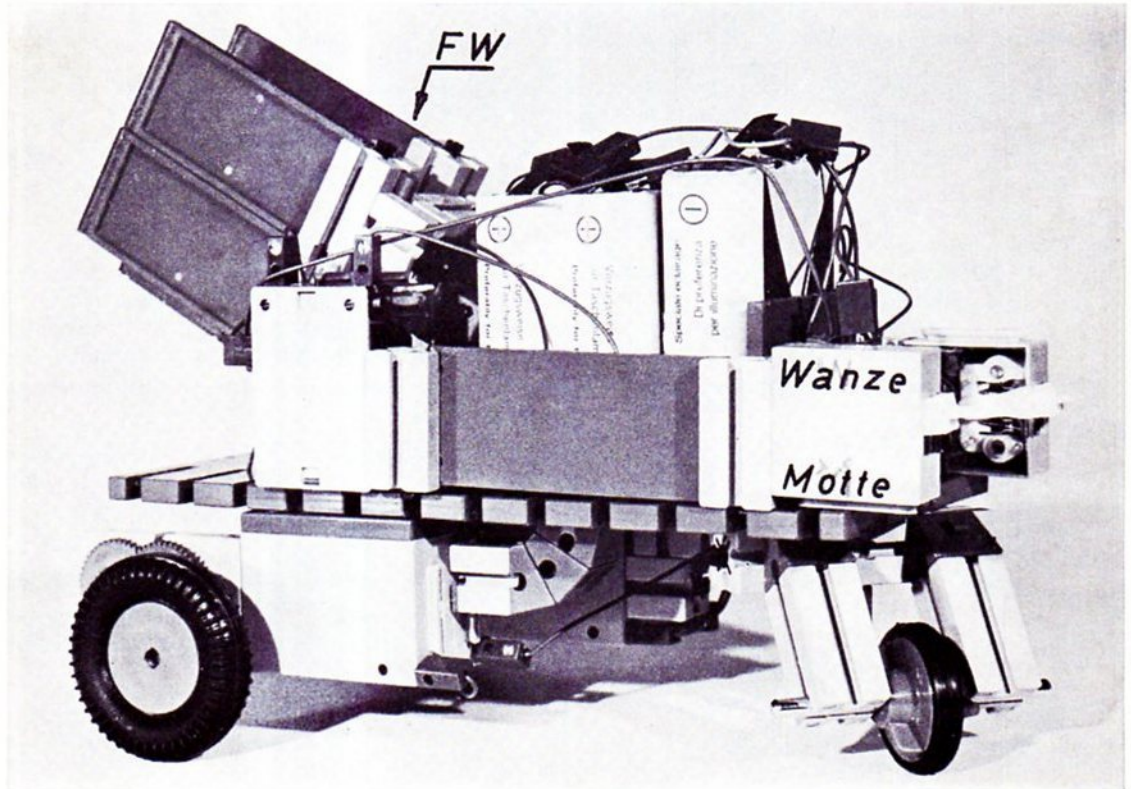


Abb. 14: Fahrmodell B mit Orientierungsfunktion, umschaltbar von positive („Motte“) auf negative („Wanze“) Fototaxis