

Eine kurze Einführung in die Wahrnehmungskontrolltheorie

von William T. Powers in der Übersetzung von Stefan Balke

-Anmerkungen des Übersetzers sind durch eckige Klammern [] gekennzeichnet-

Die Wahrnehmungskontrolltheorie, oder PCT (perceptual control theory) ist eine Theorie über das Verhalten von Menschen und Tieren. Sie basiert auf den Prinzipien der allgemeinen Kontrolltheorie, die in den Arbeiten der frühen Kybernetiker Wiener und Ashby dargestellt wurden. Ihre Entstehung geht zurück auf das Jahr 1953.

Andere Theorien über menschliches Verhalten beruhen hauptsächlich auf zwei verschiedenen gedanklichen Ansätzen:

1. Verhalten wird verstanden als Reaktion auf äußere Ereignisse und Umstände. Diese äußeren Ereignisse werden oft auch als Reize und Verstärker bezeichnet. [Lerntheorien]
2. Verhalten wird verstanden als Folge von (inneren) kognitiven Plänen und Berechnungen. [Kognitive Theorien]

Die Wahrnehmungskontrolltheorie schließt die Lücke zwischen diesen beiden Ansätzen. Sie beschreibt eine wesentliche Eigenschaft des Verhaltens, die Aspekte beider Ansätze beinhaltet. Diese Eigenschaft des Verhaltens wird als Kontrollfunktion des Verhaltens beschrieben.

Die meisten Menschen haben eine Vorstellung von dem Begriff der Kontrolle. Allerdings ist dieser Begriff eher eine

informelle Idee und das Wort Kontrolle kann sich auf ganz unterschiedliche Zusammenhänge beziehen.

Innerhalb der Wahrnehmungskontrolltheorie hat der Begriff der Kontrolle jedoch eine genau festgelegte Bedeutung, die von der alltagsprachlichen Bedeutung zum Teil unterschieden werden muss. Eine solche Begriffsfestlegung ist z. B. auch aus der Physik bekannt, wenn der allgemein gebräuchliche Begriff Arbeit eine definierte Bedeutung bekommt: $\text{Arbeit} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$.

Die folgende Definition des Begriffs Kontrolle ist zwar noch nicht umfassend, enthält aber bereits alle wesentlichen Bestandteile:

A kontrolliert B, wenn für jeden störenden Einfluss, der auf B einwirkt, A eine Handlung durchführt, die dem Einfluss dieser Störung auf B direkt entgegenwirkt.

Es ist ganz wesentlich gleich von Anfang an zu verstehen, dass diese Definition mit einer Reihe der üblichen alltagsprachlichen Anwendungen des Begriffs Kontrolle nicht übereinstimmt. Im Bereich der Chemie wird z. B. gesagt, dass die Temperatur die Rate der chemischen Reaktion kontrolliert. Dies passt aber nicht zu der oben genannten Definition: wenn irgendein unabhängiger Einfluss die chemische Reaktionsrate beeinflusst (z. B. das Umrühren der Substanzen), dann wird die Temperatur sich nicht in der Weise verändern, dass sie den Einfluss des Umrührens auf die chemische Reaktionsrate aus-

gleich. Welche Wirkung die Temperatur auf die Reaktionsrate auch immer haben mag, sie "kontrolliert" die Reaktionsrate nicht im Sinne der Wahrnehmungskontrolltheorie. Es kann sein, dass die Temperatur die Reaktionsrate beeinflusst, aber kein PCT'ler würde sagen, dass sie die Reaktionsrate kontrolliert.

Andererseits gibt es viele alltags-sprachliche Anwendungen des Begriffs Kontrolle, die genau dem Sinne der oben genannten Definition entsprechen. Wir sagen ein Autofahrer behält die Kontrolle darüber, dass er mit seinem Auto nicht von der Fahrbahn abkommt. Dieser Sachverhalt lässt sich exakt in die oben genannte Definition bringen:

Der Fahrer (A) kontrolliert die Fahrbahnposition des Autos (B), wenn für jeden störenden Einfluss, der auf diese Position (B) einwirkt (z. B. Seitenwind), der Fahrer (A) eine Handlung durchführt (z. B. gegenlenken), die dem Einfluss dieser Störung auf die Fahrbahnposition des Autos (B) entgegenwirkt.

In diesem Sinn ist die PCT-Definition des Begriffs der Kontrolle zu verstehen. [Im Deutschen ist der Begriff "kontrollieren" im PCT-Sinn ähnlich zu verwenden, wie die Begriffe "auf etwas aufpassen", "auf etwas achten".] Es macht keinen Sinn zu sagen, dass die Temperatur auf die chemische Reaktionsrate achtet, es macht aber Sinn zu sagen, dass der Autofahrer auf die Fahrbahnposition des Autos achtet.

Es gibt noch einen weiteren Aspekt der Kontrolle, der über das Phänomen der Gegensteuerung bei Störungen im Sinne der oben genannten Definition hinausgeht. Der Autofahrer gleicht nicht nur den Einfluss des Seitenwinds auf

die Fahrzeugposition aus, um das Auto in der richtigen Richtung zu halten, der Fahrer bestimmt auch, was die "richtige Richtung" ist. Wenn der Seitenwind von rechts kommt, lenkt der Fahrer mit einer konstanten Intensität nach rechts, um zu verhindern, dass der Wind das Auto von der Fahrbahn abdrängt. Aber irgendwann kann man auch beobachten, dass der Fahrer das Lenkrad so dreht, dass der Wagen die bisherige Fahrbahn erkennbar verlässt, die Gegenfahrbahn überquert und in eine Seitenstraße einbiegt. Solange wie der Seitenwind anhielt, musste der Fahrer nur so stark lenken, wie es nötig war, um den Seitenwind auszugleichen. Jetzt aber ist eine zusätzliche Handlung sichtbar, der Fahrer lenkt stärker als es zum Ausgleichen des Seitenwinds notwendig wäre, er lenkt das Fahrzeug um die Kurve.

Wodurch lässt sich diese zusätzliche Lenkbewegung erklären. Bevor wir die Erklärung aus der Sicht der Wahrnehmungskontrolltheorie entwickeln, sollten wir unterbrechen, um anzuschauen, wie traditionelle Verhaltenstheorien diese Beobachtung erklären. Zu erklären ist die folgende Beobachtung: wir sehen, dass ein Auto für eine Zeit lang geradeaus in seiner Fahrbahn fährt. Dann sehen wir, wie das Auto links in eine Straße einbiegt, auf dessen Straßenschild "Lincoln Street" steht. Was hat dazu geführt, dass der Fahrer nach links in die "Lincoln Street" eingebogen ist?

Lassen Sie uns zunächst die Theorie bedenken, der zufolge Verhalten verursacht wird durch äußere Ereignisse, die auf das Nervensystem einwirken und Muskelreaktionen verursachen. Die Theorie des operanten [spontan auftretenden] Konditionierens würde z. B. sagen, dass das Straßenschild mit sei-

ner Aufschrift "Lincoln Street" als diskriminativer [unterscheidender] Reiz dient. Der Fahrer biegt in die Lincoln Street ein, weil dieses Verhalten in der Vergangenheit verstärkt wurde. Jedes Mal, wenn der Fahrer das Schild "Lincoln Street" gesehen hat und nach links eingebogen war, passierte etwas, was die Wahrscheinlichkeit vergrößerte, dass die gleiche Kurve gemacht werden würde, wenn der Fahrer diesen diskriminativen Reiz wieder sehen würde. Vielleicht wohnt die Freundin des Fahrers in der Lincoln Street. Natürlich sind auch andere Verstärker möglich und andere diskriminative Reize, so dass der Fahrer nicht immer an der Lincoln Street einbiegt. Aber wenn dies geschieht, dann wäre die gerade gegebene Erklärung zutreffend.

Was ist falsch an dieser Theorie? Der Haupteinwand ist, dass diese Theorie nicht erklären kann, wie es funktioniert, dass der Fahrer die Kurve fährt. Der Seitenwind kann mehr oder weniger vorhanden sein, so dass die gleiche "Links-abbiege-Reaktion" an einem Tag dazu führen würde, dass das Auto um die Kurve fährt, an einem anderen Tag jedoch dazu führen würde, dass das Auto mit dem Bordstein kollidiert. Offensichtlich ist es so, wenn der Seitenwind von rechts kommt, ist eine andere Lenkbewegung notwendig, als wenn der Seitenwind von links kommt oder wenn es gar keinen Seitenwind gibt. Es ergibt sich nun also irgendwie die Vermutung, dass der diskriminative Reiz (welcher in allen Fällen der gleiche ist) zu unterschiedlichen Reaktionen führen muss, je nachdem welchen Einfluss der Seitenwind ausübt. Weiterhin muss es genau die richtige Art der Unterschiedlichkeit sein, weil das um-die-Kurve-lenken ein genau richtiges Maß an Lenkbewegung erfordert und nicht nur bedeutet, das Lenkrad

irgendwie zu drehen. Lenken ist ein quantitativer Prozess. Es bestehen noch weitere Probleme mit der Theorie des operanten Konditionieren, aber dieser Einwand soll zunächst ausreichen.

Nun, was ist mit den Theorien, die davon ausgehen, dass das Verhalten aufgrund von inneren kognitiven Plänen und Berechnungen produziert wird. Ein wesentliches praktisches Problem dieser Theorien besteht darin, dass sie ein schwindelerregendes Ausmaß an Wissen im Gehirn des Fahrers voraussetzt. Der Fahrer, der in die Lincoln Street einbiegt, müsste die Geschwindigkeit seines Wagens kennen, er müsste auch die Masse und die Fliehkraft des Wagens kennen und den Zustand der Reifen und der Straße, die Eigenschaften der physikalischen Gesetze im Bezug auf Masse und Bewegung. Weiterhin müsste er die Eigenschaften seiner Muskeln und die der Autolenkung kennen, die für die Umsetzung der neuronalen Kommandos in physikalische Ergebnisse wesentlich sind. Der Fahrer müsste auf dieses gesamte Wissen zurückgreifen, um aus der erforderlichen Lenkbewegung die neuronalen Signale zu berechnen, die erforderlich sein würden, um diese Lenkbewegung auszuführen. Technisch gesprochen müsste das Gehirn des Fahrers die inverse Kinematik und die Dynamik des physikalischen Systems berechnen, welches durch die neuronalen Signale beeinflusst wird. Zur Bestimmung der erforderlichen Nervensignale und Signalmuster müssten multiple nichtlineare Differentialgleichungen gelöst werden. Und dann müssten diese Signale und Signalmuster erzeugt werden und zu den Muskeln geschickt werden.

Zu allem dem kommt der ärgerliche Seitenwind. Ein Fahrer in einem geschlos-

senen Fahrzeug hat keine Möglichkeit den Seitenwind zu fühlen. Wenn er ein Blatt Papier sehen würde, welches vom Seitenwind über die Straße geweht wird, wäre diese Information nicht ausreichend, um daraus die Zusatzlenkbewegung zu berechnen, die notwendig ist, um den Einfluss des Seitenwinds auf das Auto auszugleichen. Es gibt tatsächlich überhaupt keine Möglichkeit das Ausmaß der Lenkbewegung zu berechnen, die notwendig wäre, um die Störung auszugleichen. Um dieses Problem zu lösen, müsste man noch zusätzliche komplexe Rechenoperationen im Gehirn vermuten, zum Beispiel durch die Benutzung von adaptiven Kalman-Filtern und ähnlichen Berechnungen. Solche Prozeduren mögen vielleicht für Mathematiker eine Herausforderung darstellen, aber schon jeder Ingenieur würde davor zurückschrecken. Das Gehirn ist ein wunderbarer Computer, aber es ist keine exakte Rechenmaschine und auch die Ausstattung, mit der es arbeitet, arbeitet nicht exakt. Ebenso gut könnte man von einem Ingenieur verlangen, mit einem Korb voll Taschenrechnern für \$4,95 eine 20-dimensionale nichtlineare differential Gleichung zu lösen. Das würde wirklich nicht funktionieren.

Es ist also festzustellen, dass beide Erklärungsansätze für dieses einfache und auch für alles andere Verhalten, ernsthafte Schwierigkeiten haben, wenn man sie auf einer Ebene anwendet, bei der es um die Frage geht, wie das Verhalten tatsächlich ausgeführt wird. Die Probleme liegen dabei in den Grundannahmen dieser Theorien. Wenn man zur Untersuchung von Detailfragen kommt, erkennt man, dass die Theorien zu der Annahme von unmöglichen Kunststücken führen.

Es gibt jedoch ein System, welches das

scheinbar unmögliche in einer recht einfachen Art bewerkstelligen kann. Dieses System wird "Kontrollsystem (control system)" genannt. Ein Kontrollsystem kann das Auto um die Kurve steuern, selbst wenn unvorhersehbarer Seitenwind bläst, wenn ein Reifen zu wenig Druck hat, wenn die Straße regennass ist oder wenn die Lenkung etwas ausgeschlagen ist. Es schafft diese Aufgabe, wenn die Muskeln ausgeruht oder ermüdet sind und selbst wenn die Nerven, die die Muskeln innervieren etwas ermüdet sind oder bei einige Nervenfasern die Verbindungen zu den Muskeln unterbrochen ist. Es schafft diese Aufgabe auch dann, wenn der Fahrer durch den Verkehr in eine falsche Fahrspur abgedrängt wurde und deshalb eine weitere Kurve lenken muss als normalerweise.

Das wesentliche Kennzeichen eines Kontrollsystems besteht darin, dass es mit variablen Mitteln reproduzierbare Ergebnisse erzeugen kann. Und genau so hat William James [ein Hauptbegründer der Psychologie] bereits vor 100 Jahren lebende Organismen beschrieben. Lebende Organismen produzieren keine wiederholbaren Handlungen, sondern wiederholbare Ergebnisse.

Wenn Sie Verhalten als einfache Verknüpfung von Ursache und Wirkungsbeziehungen verstehen, ist es schwierig zu erklären, wie ein System in zuverlässiger Weise ein bestimmtes Endresultat produzieren kann, wenn der Prozess, der zu diesem Endresultat führt, eine Menge von unvorhersehbaren Variablen enthält. Wenn Sie für gewöhnlich an einem bestimmten Platz stehen, wenn Sie die Kühlschranktür öffnen, wie können Sie die Tür öffnen, wenn etwas im Wege steht und Sie die Tür von einem anderen Platz aus öff-

nen müssen in einer anderen Körperhaltung? Wenn eine Tür normalerweise mit einer bestimmten Kraftanstrengung geöffnet werden kann, wie können Sie die Tür öffnen, wenn sie klemmt und eine größere Anstrengung zur Öffnung notwendig ist? Wenn ihr rechter Vorderreifen Luft verliert, wie können Sie es schaffen, das Auto geradeaus zu lenken, wenn Sie noch nicht einmal wissen, dass der Reifen einen zu niedrigen Luftdruck hat?

Wenn Sie ganz gewöhnliche Handlungen aufmerksam betrachten, werden Sie feststellen, dass irgendetwas bei jedem Mal immer ein ganz klein wenig anders ist. Entweder Sie beginnen die Handlung von einem unterschiedlichen Startpunkt oder die Umgebung hat sich ein wenig verändert, manchmal sind die Unterschiede aber auch sehr groß. Warum verfehlen Sie nicht immer die Gegenstände, wenn Sie ihre Hände danach ausstrecken, oder rempeln gegen Möbel und Türen oder verfehlen den Stuhl beim hinsetzen, weil irgend jemand den Stuhl ein Stück weiter weggestellt hat? Ein Griechischer Philosoph hat einmal gesagt, dass man nicht zweimal in den gleichen Fluss steigen kann. Was er damit gemeint hat, lässt sich mit unseren Worten so beschreiben: die Welt erscheint wiederholbar, wenn man sie aus der Distanz betrachtet, aber die Details ändern sich fortwährend. Und wenn wir tatsächlich etwas machen, stoßen wir immer auf diese sich verändernden Details.

Wie kann es nun ein Verhaltenssystem überhaupt schaffen immer und immer wieder die gleichen Resultate zu erzeugen, in einer Welt, die nicht still steht. Wenn die anderen Theorien eine Erklärung anbieten würden (sie ignorieren dieses Problem grundsätzlich), könnte sie nur darin bestehen, dass

jeder Mensch durch Versuch und Irrtum erlernen müsste, jede neue Veränderung zu handhaben, oder aber dadurch, dass er seine Berechnungen verbessern müsste. Aber ein Kontrollsystem muss dies nicht für jede kleine Veränderung tun. Es kann recht große Veränderungen in der Umwelt tolerieren und sogar große Störungen, die das Ergebnis der Handlung stark verändern würden, wenn es keine Gegensteuerung gäbe. Natürlich haben Kontrollsysteme, wie alle physikalischen und biologischen Systeme, auch Begrenzungen, aber diese Begrenzungen sind bei weitem nicht so eng, wie diejenigen der anderen beiden Vorschläge über die Verhaltensorganisation.

Die Theorie über Kontrollsysteme zeigt uns, wie ein relativ einfaches System es schafft, zuverlässige und wiederholbare Ergebnisse zu erreichen, in einer Umgebung, die ein großes Ausmaß an Unvorhersehbarkeit hat. Diese Umgebung ist, mit anderen Worten, die wirkliche Welt.

Wenn Sie mit der Idee beginnen, dass ein Verhaltenssystem Ergebnisse kontrolliert und nicht die Handlungen, die zu den Ergebnissen führen, dann können Sie die Kontrolltheorie von Anfang an begreifen. Das erste, was Sie sich klar machen müssen ist, dass ein Kontrollsystem nicht dadurch funktionieren kann, dass es wiederholbare Handlungen ausführt. Die gleiche Handlung wird zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, je nachdem was in der Umgebung noch alles passiert. Was man erreichen will ist ein grundsätzlicher, einfacher Weg ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen, unabhängig davon, ob man jede genaue Handlung vorhersagen kann, die notwendig sein wird, um das Ergebnis zu erreichen.

Fragen Sie sich selbst, wie Sie es machen. Sie fahren in einem Auto und versuchen das Auto bei böigem Seitenwind in der Fahrspur zu halten. Sie wissen nicht wann die nächste Böe kommen wird und Sie wissen auch nicht genau welche Haftung die Reifen auf der Fahrbahn haben. Und tatsächlich, wenn Sie anfangen allzu sehr über solche Fragen nachzudenken, wird ihre Aufmerksamkeit abgleiten und ihr Wagen aus der Spur geraten. Also noch mal, was tun Sie wirklich? Die Antwort lautet: Sie beobachten das Ergebnis, das Sie kontrollieren wollen.

Durch die Windschutzscheibe sehen Sie die Straße und Teile des Autos. Das ist es, was Sie beobachten. Wenn die Straße in einer bestimmten Art im Verhältnis zum Auto zu sehen ist, dann wissen Sie, dass Sie richtig in der Fahrbahn sind. Sie wollen, dass diese Szene durch die Windschutzscheibe weiterhin bestehen bleibt. Das ist das Ergebnis, welches Sie durch ihre Lenkbewegungen erreichen wollen. Wenn die Szene sich verändert, dann müssen Sie etwas unternehmen, um die richtige Ansicht wieder herzustellen. Sie müssen ihre Lenkbewegungen nach rechts oder links anpassen. Wenn sich das Bild der Straße zu sehr nach rechts bewegt im Verhältnis zum Auto, dann bewegen Sie das Lenkrad ein wenig nach rechts. Die Sicht auf die Straße gleicht sich wieder der richtigen Sicht an (oder das Bild des Autos erscheint wieder auf der richtigen Position auf der Straße, es ist unerheblich auf welche Art sie die Sache betrachten) und Sie hören mit der Lenkbewegung auf, bis endgültig alles wieder in Ordnung ist.

Es ist nicht schwer zu begreifen, wie die Lenkbewegungen sich verändern, wenn die Sicht durch die Windschutz-

scheibe sich verändert. Wenn Sie sich selbst zu sehr rechts sehen, dann werden Sie nach links lenken. Je weiter Sie sich nach links sehen, desto größer wird die Änderung der Lenkbewegung nach rechts sein. Es wird eine einfache Regel benutzt: Egal zu welcher Seite das Auto zu weit von der Fahrbahn abgewichen ist, die Lenkbewegung wird in die jeweils entgegengesetzte Richtung ausgeführt.

Es bleibt lediglich ein Punkt zu klären: **wo ist die "richtige Position" auf der Straße?** Wenn Sie sorgfältig auf die Straße schauen, so wie sie durch die Windschutzscheibe erscheint, dann werden Sie dort nirgendwo die "richtige Position" sehen. Sie werden sehen, wo sich das Auto auf der Straße befindet, aber das ist alles. Es ist dort auf der Straße nichts zu sehen, was die richtige Position markiert. Wenn es draußen nichts gibt, was die richtige Position markiert, dann muss die richtige Position innen drin definiert sein, in ihrem Kopf. Irgendwie haben Sie ein Bild im Kopf wie die Szene aussehen muss, wenn das Auto in seiner Fahrbahn ist. Und Sie vergleichen diese "Referenz-Bedingung" in Ihrem Kopf mit der tatsächlichen Szene, die Sie durch die Windschutzscheibe sehen, um zu beurteilen, ob das Auto links, rechts oder genau bei der "Referenz-Bedingung" ist. Wenn Sie irgendeine Abweichung bemerken, erhalten Sie durch die Abweichung eine genau Information darüber, nach welcher Seite Sie das Lenkrad bewegen müssen und wie stark.

Nun haben Sie es mit einigen Details, die noch fehlen, ein Kontrollsystem. Irgend jemand könnte es erfunden haben. Tatsächlich haben eine Menge Leute solche Systeme erfunden, das erste aufgezeichnete Beispiel stammt aus dem Jahr 240 vor Christus. Diese

Systeme wurden in den nächsten 2000 Jahren wiederholt neu erfunden, aber unglücklicherweise hatte niemand die grundlegenden Prinzipien erkannt, welche den verschiedenen Erfindungen gemeinsam waren. Diese wurden erst in den 1930er Jahren ausgearbeitet. Nun scheint alles ganz klar zu sein, außer für diejenigen, bei denen das, was die Ingenieure der 30er Jahre erreicht haben, noch nicht angekommen ist, oder für diejenigen, die hartnäckig in der Art und Weise weiterdenken wollen, wie die Leute vor ihnen.

Um diese Theorie anzuwenden, müssen wir sie zunächst verallgemeinern, um alle möglichen Beispiele einzuschließen. Der Prozess der Kontrolle kann jeden möglichen sensorischen Input benutzen, nicht nur visuelle Informationen. Er kann sich auf jeden variablen Aspekt der wahrnehmbaren Umwelt beziehen, nicht nur auf eine räumliche Position. Und da immer der Einsatz von Muskeln notwendig ist, schließt die Theorie eine große Vielzahl von unterschiedlichen Muskelaktivitäten ein. Lassen Sie uns ein einfaches Blockdiagramm (siehe Abbildung 1) zusammenstellen, welches für jedes beliebige Beispiel menschlichen Verhaltens benutzt werden kann.

Zuerst benötigen wir eine Möglichkeit die Ergebnisse, die kontrolliert werden sollen, wahrzunehmen. Dieses zu kontrollierende Ergebnis wird "kontrollierte Variable" genannt. Dazu benötigen wir irgendeine Art von Sensor, der den Zustand der kontrollierten Variable erkennen kann und ihn als Signal innerhalb des Kontrollsystems darstellen kann. Es ist nicht nötig an dieser Stelle weiter in die Details zu gehen; einige kontrollierte Variablen sind sehr einfach, wie z. B. die Helligkeit eines Lichts, andere beziehen komplexe Aspekte der Um-

welt mit ein, wie z. B. der Zustand ihrer Aktien an der Börse. Wir können diese Details später behandeln. Für jetzt reicht es aus eine kontrollierte Variable in der Umwelt zu bezeichnen, einen Kasten, der alle Vorgänge beinhaltet, die notwendig sind, um den Zustand der kontrollierten Variable zu erfassen und ein Signal, welches aus dem Kasten kommt und den Zustand der kontrollierten Variable repräsentiert. Wir bezeichnen diesen Kasten als "Wahrnehmung-Eingangsfunktion" und das herauskommende Signal als "Wahrnehmungssignal".

Das Wahrnehmungssignal ist nicht nur ein An-Aus Signal, welches anzeigt, ob etwas wahrgenommen wird oder nicht. Die kontrollierte Variable macht genau das, was ihr Name schon sagt, sie variiert. Wenn die Position des Autos auf der Fahrbahn die kontrollierte Variable ist, oder zumindest die Variable, die wir hoffen kontrollieren zu können, dann kann die Position stufenlos variieren von zu weit links bis zu weit rechts. So wie die kontrollierte Variable sich verändert, so verändert sich auch das Wahrnehmungssignal, welches die kontrollierte Variable repräsentiert. Wir brauchen nicht exakt zu sagen, wie das Wahrnehmungssignal sich verändert, es reicht aus zu sagen, dass seine Veränderungen die Veränderungen der kontrollierten Variable abbilden (bis es gelingt, die "kontrollierte" Variable wirklich zu kontrollieren, ist sie natürlich nur eine Variable).

Das Kontrollsystem muss Kenntnis darüber haben, wo das Auto sich auf der Fahrbahn befinden soll. Wie kann man die Kenntnis des Systems darüber, wo das Auto sich auf der Fahrbahn befinden sollte, abbilden? Die ersten Kontrollsystem-Ingenieure zerbrachen sich über diese Frage wahrscheinlich einige

Jahre lang den Kopf, bevor sie die offensichtliche Antwort erkannten. Die Referenz-Bedingung muss durch ein zweites Signal angezeigt werden.

Wir nennen dieses zweite Signal, welches die Referenz-Bedingung definiert, das "Referenz-Signal". Die clevere Lösung, die die Kontrollsystem-Ingenieure sahen, war folgende: wenn das Wahrnehmungssignal sich innerhalb eines bestimmten Wertebereichs verändern kann, dann würde einer dieser Werte dem erwünschten Zustand der zu kontrollierenden Variable entsprechen. Wenn ein zweites Signal hinzugefügt würde, genau wie das Wahrnehmungssignal, aber frei einstellbar oder wählbar für jeden einzelnen Wert, dann würde dieses Signal die Referenzbedingung für das Wahrnehmungssignal - und damit für die kontrollierte Variable, repräsentieren. Und besonders wichtig, wenn wir die beiden Werte irgendwie vergleichen könnten, dann würde die Differenz zwischen den beiden Werten durch das Vorzeichen angeben, in welche Richtung die Abweichung geht und durch die Größe, in welchem Ausmaß die Abweichung besteht. Weil Ingenieure mit elektronischen Systemen arbeiten, haben sie einen einfachen elektronischen Schaltkreis entwickelt, der ein Wahrnehmungs- und ein Referenzsignal empfängt und ein elektrisches Signal erzeugt, welches proportional ist zu der Differenz beider Signale und entweder positiv oder negativ ist, je nachdem wie das Vorzeichen der Differenz ist. Im Nervensystem wird genau diese Funktion durch hemmende und bahnende Nervenverbindungen erzeugt.

Das Referenzsignal beinhaltet nun, wie genau die Straße beim Blick durch die Windschutzscheibe aussehen sollte und das Wahrnehmungssignal beinhal-

tet, wie sie tatsächlich aussieht. Die Vergleichsfunktion (auch Komparator genannt), die wir nun gebaut haben, macht deutlich, wie man (nicht unbedingt bewusst) weiß, wie groß die Abweichung ist, die nun als Fehler (Error) bezeichnet wird. Die Vergleichsfunktion erzeugt tatsächlich ein physikalisches Signal, welches die Abweichung bzw. den Fehler repräsentiert. Ein Kasten, der diesen Komparator beinhaltet, ist Teil des Kontrollsystem-Diagramms.

Wir haben nun den Wahrnehmungs- und den Vergleichsteil des Systems. Nun brauchen nur noch zwei weitere Hauptbestandteile des Systems erklärt werden.

Lenkbewegungen benötigen Muskeln die Kraft anwenden, um das Lenkrad zu bewegen. Diese Muskeln können das Lenkrad nach rechts oder links bewegen. Wenn ein positives Fehlersignal bedeutet, dass das Auto zu weit rechts ist im Bezug zu seiner Referenzbedingung, dann sollte das Fehlersignal so mit dem motorischen Signal verbunden sein, dass die Armmuskeln eine Lenkbewegung ausführen mit der das Lenkrad nach links gedreht wird. Das Gegenteil soll für negative Fehlersignale gelten. Diese Verbindungen sollen, sobald sie einmal durchgeführt wurden, für immer richtig sein. Man wird niemals eine Lenkbewegung nach links ausführen, wenn das Auto sich schon zu weit links befindet. Daher können wir positive Fehlersignale mit einer bestimmten Gruppe von Muskeln verbinden und negative Fehlersignale mit der entgegengesetzten Muskelgruppe und wenn wir nicht die falschen Gruppen verbunden haben, dann werden die Muskeln immer so antworten, dass das Fehlersignal kleiner wird.

Angenommen das Auto ist zu weit links, dann bedeutet das, dass das Wahrnehmungssignal, welches die Position des Autos repräsentiert, in seiner Größe kleiner ist als das Referenzsignal. Daraus ergibt sich ein positives Fehlersignal, welches verbunden ist mit einer bestimmten Muskelgruppe, die das Lenkrad nach rechts dreht. Wenn das Lenkrad nach rechts gedreht wird, dann wird das Auto sich mehr nach rechts bewegen. Das Wahrnehmungssignal wird dadurch größer und die Differenz zum Referenzsignal wird dadurch kleiner. Das positive Fehlersignal wird dadurch kleiner und die Lenkbewegung wird geringer. Wenn das Auto schließlich die richtige Position erreicht, dann stimmt das Wahrnehmungssignal mit dem Referenzsignal überein. Das Fehlersignal bekommt den Wert Null und die Lenkbewegungen hören auf. Es lässt sich deshalb sagen, dass dieses System das Auto von jeder Startposition aus zu jeder Position, die durch das Referenzsignal vorbestimmt wird, hinführt und es dann dort behält. Um die Position eines Autos auf der Straße zu verändern, müssen wir nichts weiter tun, als die Einstellung des Referenzsignals zu ändern.

Wir fügen daher einen weiteren Kasten zu unserem Blockdiagramm dazu, der als "Ausgangsfunktion" bezeichnet wird. Diese Ausgangsfunktion wandelt das Fehlersignal in eine physikalische Wirkung auf die Umwelt um. Es gibt noch einen weiteren Kasten und eine weitere Variable, dann ist das Modell fertig.

Wir können das Auto nicht vergessen. Das Auto ist Teil der Umwelt des Fahrers. Wenn der Fahrer eine Lenkbewegung am Lenkrad ausführt, dann richten sich die vorderen Räder ein wenig

aus und zusätzlich zu der Vorwärtsbewegung des Autos wirkt eine seitwärtsgerichtete Kraft auf das Auto. Diese Kraft führt dazu, dass das Auto sich nach links oder rechts bewegt. Das verändert die Art, wie das Auto und die Straße durch die Windschutzscheibe gesehen werden und damit verändert sich das Wahrnehmungssignal. Die "Umweltfunktion" bezeichnet hier die physikalischen Eigenschaften des Autos. Sie verbindet die Handlung des Kontrollsystems mit der Wahrnehmung des Kontrollsystems. Es entsteht eine Rückkopplung. Die Umweltfunktion ist der letzte Kasten in unserem Block-Diagramm.

Natürlich gibt es eine Menge weiterer Einflussgrößen auf den Fahrer als nur diese Umweltfunktion (und natürlich gibt es eine Menge weiterer Kontrollsysteme innerhalb des Fahrers). Dieser Teil der Umwelt ist jedoch der einzige, der von Interesse ist, wenn wir über den Kontrollvorgang sprechen, da er den geschlossenen Kreislauf der Verursachung von der Wahrnehmung, zum Vergleich und über die Handlung wieder zur Wahrnehmung vervollständigt. Dieser geschlossene Kreislauf ist dasjenige, was den fundamentalen Unterschied in der Organisation ausmacht im Vergleich zu den beiden herkömmlichen Arten der Organisation, die wir oben diskutiert haben.

Das letzte Element des Blockdiagramms vervollständigt das Modell.

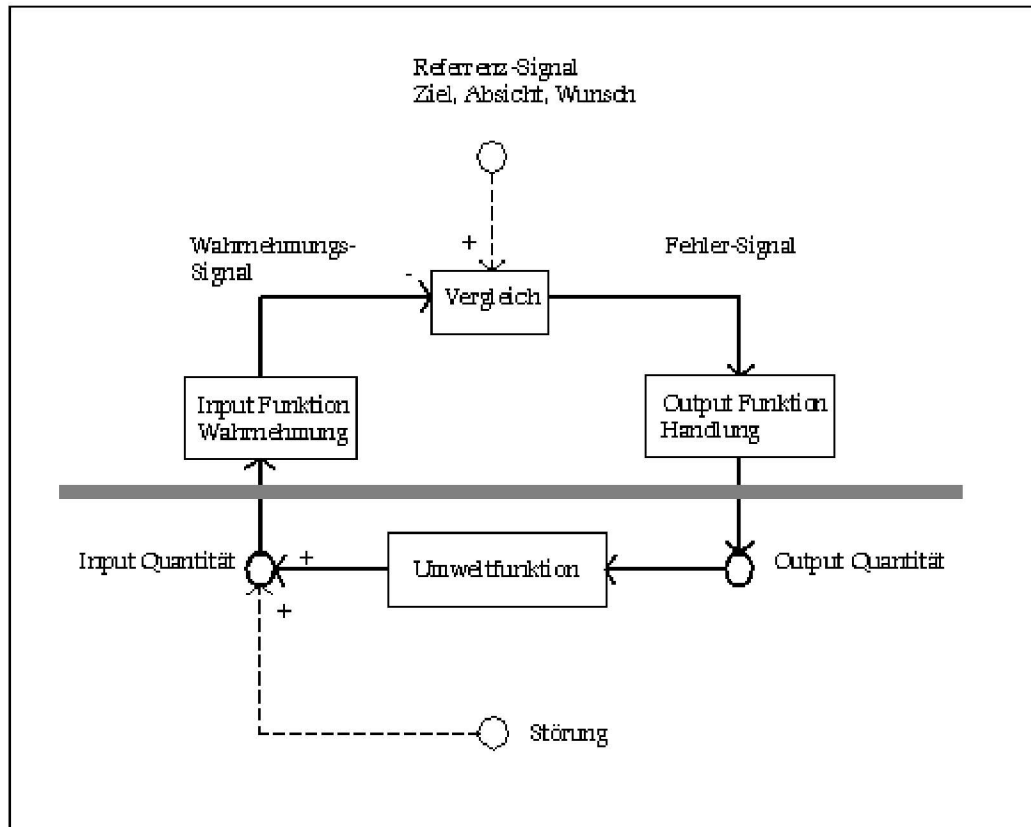


Abbildung 1: Das grundlegende PCT Kontrollsystem.

Aufgrund der geschlossenen Kreisverbindung, die wir gerade diskutiert haben, lässt sich sagen, dass die kontrollierte Variable ganz offensichtlich durch die Handlungen des Kontrollsystems beeinflusst wird. Aber in der realen Umwelt wird die kontrollierte Variable ebenfalls von anderen Einflüssen berührt, genauso wie die Position des Autos auf seiner Fahrbahn durch irgend etwas beeinflusst werden kann, was eine seitwärtsgerichtete Kraft auf das Auto anwenden kann, wie z. B. ein Seitenwind oder eine Unebenheit in der Straße. Wir fassen die Summe aller dieser unabhängigen Variablen zu einer einzigen Störung zusammen und addieren die Wirkungen direkt zu der

kontrollierten Variable dazu. Kein Modell eines Kontrollsystems ist vollständig, ohne eine Repräsentation der Störung, da es die Art ist, in der Handlungen als Reaktion auf die Störungen variieren, die einen strengen Beweis dafür liefern, dass wir es mit einem Kontrollsystem zu tun haben. Hier ist das vollständige Blockdiagramm (Abbildung 1): der graue Balken inmitten des Diagramms trennt das aktive Kontrollsystem (oberhalb) von der Umwelt (unterhalb). Die schwarzen Linien zeigen den geschlossenen Kreislauf der Kontrolle. Kleine Kreise in der Umwelt zeigen, wo physikalische Variablen gemessen werden können: eine Ausgangsgröße, eine Eingangsgröße und eine Störungsgröße.

ße. Die gestrichelten Linien zeigen Einflüsse unabhängiger Variablen an: das Referenzsignal und die Störungsgröße. Die Eingangsfunktion wandelt die in der Umwelt wahrgenommene Variable in ein Signal um, welches diese Variable innerhalb des Systems repräsentiert; die Ausgangsfunktion wandelt das Fehlersignal in eine physikalische Wirkung auf die Umwelt um.

Angenommen der Fahrer schafft es, seine Wahrnehmung der Position des Autos in enger Übereinstimmung mit dem Referenzsignal zu behalten. An einem Tag ohne Wind und auf einer ebenen und geraden Straße wird dazu kaum irgendeine Handlung notwendig sein. Aber wenn Seitenwind auftritt, dann wirkt eine seitwärtsgerichtete Kraft auf das Auto, die dazu führt, dass das Auto zu einer Seite abgedrängt wird. Das wird dazu führen, dass das Wahrnehmungssignal von dem Referenzsignal abweicht und ein Fehlersignal entsteht, welches dazu führt, dass eine Handlung ausgeführt wird, die den Fehler korrigiert. Wenn das Kontrollsystem sehr sensibel ist für kleine Fehler, dann wird kein großer Fehler notwendig sein, um eine Handlung zu produzieren, die wirkungsvoll genug ist, um ein weiteres seitliches Abdriften des Autos zu verhindern. Tatsächlich kann der vom Seitenwind verursachte Fehler zu klein sein, um von außen bemerkt werden zu können, wenn der Fahrer geschickt ist: die Abweichung des Autos wird sehr gering gehalten werden.

Was wir von außerhalb des Systems sehen können, ist, dass der Seitenwind seitlich auf das Auto drückt und dass die Vorderräder sich sofort in den Wind richten, um damit eine größere Abweichung des Autos von seinem Fahrweg zu verhindern. Es sieht so aus, als wenn das Auto auf den Reiz, der durch

von dem Wind ausgeht, mit der Reaktion antworten würde, die Vorderräder in die Windrichtung zu bewegen. Natürlich wissen wir, dass weder das Auto noch der Fahrer den Seitenwind wahrnehmen können; diese Erscheinung von Reiz und Reaktion ist eine Illusion. Die wahre Erklärung ist etwas komplizierter als es die Reiz-Reaktions Erklärung wäre, aber auch nicht besonders viel komplizierter.

Aber wir können nun sehen, wie der Eindruck entstehen kann, dass der Reiz (Seitenwind) die Reaktion (Bewegung der Vorderräder) hervorrufen kann, auch dann, wenn das fragliche System tatsächlich ein Kontrollsystem ist, das so funktioniert, wie es gerade beschrieben wurde.

Angenommen wir beobachten, dass der Fahrer einige Zeit damit verbringt in einer geraden Linie zu fahren, dann lenkt er das Auto in eine andere Straße, in noch eine und letztlich in eine Einfahrt vor einem Haus wo das Auto stoppt. Jedes Mal, wenn das Auto die Richtung ändert, können wir als äußere Beobachter sehen, dass das Auto die Richtung verändert, weil die Vorderräder des Autos für eine Zeit auslenken und dann wieder geradeaus gerichtet werden. Und wir können sehen, dass die Vorderräder auslenken, weil der Fahrer mit wechselnder Kraft das Lenkrad bewegt.

Wenn wir jetzt fragen, wie der Fahrer dies macht, können wir uns für die Annahme entscheiden, dass es im Gehirn des Fahrers höhere Stufen der Organisation gibt, die eine Abfolge von Handlungen planen, die das Auto dazu bringen, auf einer bekannten Straße zu der heimischen Einfahrt zu fahren. Nachdem wir ein bestimmtes Muster von Steuerungshandlungen gesehen ha-

ben, ist es naheliegend anzunehmen, dass diese höheren Zentren solche Muster planen und ausführen, die dann als Signale auf die Muskeln übertragen werden, die die Steuerhandlungen tatsächlich ausführen.

Das wäre eine sehr vernünftige Sicht, wenn es tatsächlich so wäre, dass die selben Handlungen immer wieder ausgeführt werden würden, wenn der selbe Weg genommen wird. Aber das ist nicht, was wirklich passiert. Um zu sehen, was wirklich passiert, müssen wir das Den-Weg-nach-Hause-finden-Verhalten sehr viel detaillierter betrachten als dies üblicherweise getan wird. Anstatt den Weg nur als Abfolge von Links und Rechts-Abbiegungen anzusehen, müssen wir ihn betrachten als andauernden sich verändernden Prozess in dem das Auto aufgrund der Einflüsse seiner eigenen Schwungkraft und anderer äußerer Größen, die ständig auf das Auto einwirken, immer ein wenig von links nach rechts schwankt. Wir müssen in Betracht ziehen, dass die Reifen immer etwas rutschen, dass die Wölbung der Straße dazu führt, dass das Auto etwas von seiner Richtung abkommt, und dass die Lenkbewegungen des Fahrers nicht immer genau an der gleichen Stelle ausgeführt werden. Und es gibt immer diesen ärgerlichen Seitenwind, der das Auto mal so oder so abdrängt und dann wieder ganz unerwartet aufhört.

In Wahrheit ist es so: wenn wir die Anspannung der Muskeln aufzeichnen könnten, die daran beteiligt waren das Auto nach Hause zu fahren und dann an der gleichen Stelle mit der gleichen Ausrichtung wieder anfangen könnte die Fahrt zu beginnen und die Muskelspannungen mit unendlicher Genauigkeit wiederholen könnten, dann würden wir das Auto in irgendeinem Vor-

garten finden oder verbeult an irgendeinem Telefonpfahl lange bevor es die Einfahrt erreicht hätte. Es kann keinen Handlungsplan geben, der genau genug wäre, um genau die Handlungen auszuführen, die ein Fahrer jeden Tag verwirklicht. Was wir wirklich sehen ist nicht eine Serie von wiederholten Handlungen, die zu den gleichen Ergebnissen führen, sondern eine Serie von unterschiedlichen Handlungen, die zu den gleichen Ergebnissen führen. Wenn die Handlungen nicht genauso verändert würden, wie sie es werden, dann gäbe es keine Möglichkeit dafür, dass das Ergebnis, in der Einfahrt anzukommen, wiederholt erreicht werden könnte.

Die Kontrolltheorie erklärt, wie es passiert, dass der Fahrer tatsächlich einen Plan erstellen kann, der dazu führt, dass die nach links und rechts gerichteten Lenkbewegungen jedes Mal dazu führen, dass er die heimische Einfahrt erreicht. Und gleichzeitig erklärt die Kontrolltheorie, warum es so ist, dass die Handlungen jedes Mal ein klein wenig unterschiedlich sind.

Die Erklärung besteht einfach darin, dass das Gehirn nicht Handlungen plant, sondern Wahrnehmungen. Das Gehirn des Fahrers empfängt auf dem Niveau, auf dem es die Bewegungen des Autos kontrolliert, Signale, die ihm mitteilen: "Nun nehme eine sanfte Kurve nach links wahr, wobei das Auto in seiner Fahrspur bleiben soll. Nun nehme wahr, fortwährend in einer geraden Linie auf deiner Fahrbahn zu fahren. Nun nehme wahr, dass eine Rechtskurve immer in der Mitte der Fahrbahn durchfahren wird und eine Linkskurve und eine weitere Linkskurve und dann ein letztes Abbiegen in die eigene Einfahrt."

Dies sind Anfragen für Wahrnehmungen und nicht Anweisungen für Handlungen. Es sind tatsächlich Referenzsignale. Das höhere System hat, nachdem es einmal bestimmt hat, was das Kontrollsystem wahrnehmen soll, nichts mehr damit zu tun, wie diese Wahrnehmung erschaffen werden soll. Der geschlossene Kausalkreis sorgt dafür, dass das Lenkrad so geführt wird, dass die aktuelle Wahrnehmung fortlaufend mit der Referenz-Wahrnehmung übereinstimmt, und zwar auch dann, wenn die Referenz-Wahrnehmung sich ändert. Zur gleichen Zeit ändert es die Handlungen, die notwendig sind, um die Einflüsse von egal welchen Störungen auszugleichen, die die Wahrnehmung von der Referenz-Wahrnehmung trennt.

Daher sehen wir natürlich, dass die Vorderräder genauso nach links und rechts bewegt werden, wie es notwendig ist, um dem richtigen Weg zu folgen. Aber wir sehen sie auch stets ein wenig mehr oder weniger lenken als im Durchschnitt und manchmal auch deutlich mehr oder deutlich weniger, weil in der realen Welt genau das erforderlich ist, um zu erreichen, dass die Wahrnehmungen den Änderungen entsprechen, die von einem höheren Kontrollsystem angefordert werden. Es gibt weit mehr über die Wahrnehmungskontrolltheorie zu sagen als es in dieser kurzen Einführung möglich ist. Es bestehen Ideen zu Hierarchien von Wahrnehmungen und Kontrolle [...].

Copyright Stefan Balke, 2004

<http://www.trainingsraum.de>

Mehr zur Wahrnehmungskontroll-Theorie auf der control-systems group homepage unter <http://www.ed.uiuc.edu/csg/> und zu William T. Powers unter <http://www.hyperkommunikation.ch/personen/powers.htm>

