

Grafikeingabegeräte: Was ist das? Wie funktionieren sie?

Viele, die einen Trackball, ein Grafiktablett oder einen Lichtgriffel besitzen, werden sich sicherlich schon einmal die Frage gestellt haben, wie solche Geräte, rein von der technischen Seite her, funktionieren.

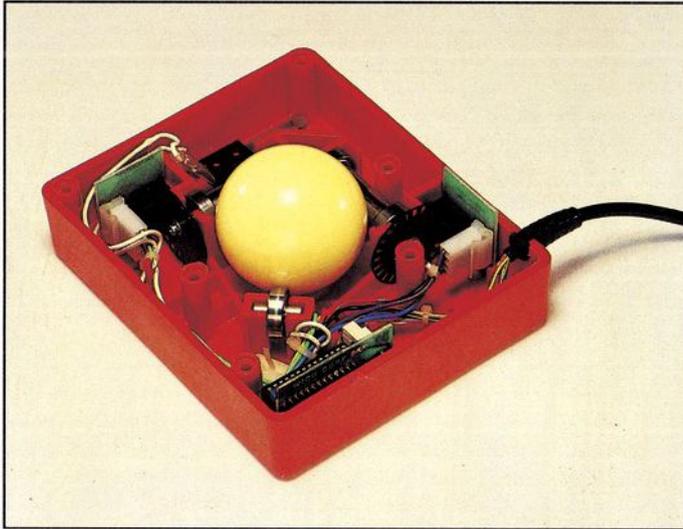


Bild 1. Grafische Darstellung des Innenlebens eines Trackballs.

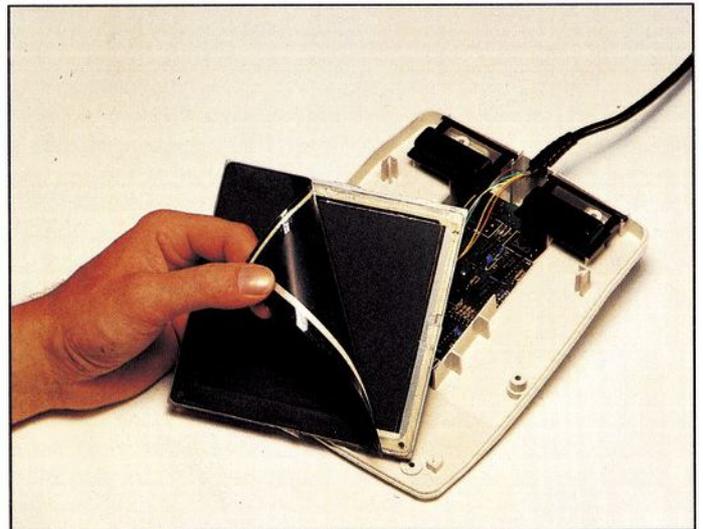


Bild 3. So sieht ein Grafiktablett von innen aus.

Es ist doch immer wieder erstaunlich, wie zum Beispiel ein Lichtgriffel in der Lage ist, Spuren auf dem Bildschirm zu hinterlassen, obwohl sich auf dem Schirm keinerlei Sensoren befinden. Auf diese und viele anderen Fragen soll hier eine Antwort gefunden werden. Der versierte Elektronikbastler ist nach dem Lesen dieses Artikels in der Lage, sich die hier beschriebenen Eingabegeräte selbst zu entwickeln. Es wird jedoch keine Bauanleitung geliefert, sondern nur die dafür erforderlichen Grundlagen.

Der Trackball – Ein Ersatz für den Joystick

Wir wollen mit dem Leichtesten anfangen, dem Trackball. Bei ihm handelt es sich um ein Eingabegerät, das die gleichen Aufgaben erfüllt wie ein Joystick. Im Computer werden die gleichen Register angesprochen. Der Unterschied liegt darin, daß man keinen »Knüppel« in der Hand hat, um Objekte über den Bildschirm zu bewegen, sondern an einer »Kugel« dreht. Das Erstaunliche und Unverständliche an diesem Eingabegerät dürfte wohl die Tatsa-

che sein, daß es in keiner Richtung einen »Anschlag« gibt, wie zum Beispiel ein Lautstärkereger am Radiogerät. Man kann die Kugel drehen und drehen und und kommt zu keinem Ende. Das Objekt bewegt sich wie erwartet kontinuierlich über den Bildschirm. Um die Funktionsweise eines solchen Trackballs zu verstehen, muß man ihn zerlegen (Bild 1).

Es ist zu erkennen, daß die Drehbewegung der Kugel auf drei Achsen übertragen wird. Eine dieser Achsen hat nur die Aufgabe eines Stabilisators. An den Enden der anderen beiden Achsen befinden sich zwei Schlitzscheiben. Da die beiden Achsen um 90 Grad versetzt sind, können Bewegungen in alle Richtungen erkannt werden, wobei jede Achse die Bewegungskomponenten in je zwei Hauptrichtungen feststellt. Die Schlitzscheiben regen beim Drehen je zwei Lichtschranken zu Impulsen an, die mit einem Schmitt-Trigger stabilisiert werden. Es stellt sich natürlich sofort die Frage, wodurch erkennt der Computer, ob die Kugel in positiver oder negativer Richtung gedreht wird? Denn die erzeugten Impulse sind in beiden

Fällen die gleichen. Genau aus diesem Grund befinden sich jeweils zwei Lichtschrankenpaare im Trackball. Jedes Paar erzeugt für x- oder y-Richtung beim Drehen zwei Rechteckschwingungen, die um 90 Grad versetzt sind (Bild 2). Bezieht man sich auf Schwingung 1, so überprüft die im Trackball eingebaute Elektronik bei jeder positiven Flanke (Anstieg der Spannung von Null auf Eins) der Schwingung 2. Wird die Trackball-Kugel in positive x-Richtung gedreht, so beträgt der Spannungspegel der Schwingung 2 bei jeder positiven Flanke der Schwingung 1 Null. Wird die Trackball-Kugel dagegen in negative x-Richtung gedreht, so beträgt der Spannungspegel der Schwingung 2 bei jeder positiven Flanke der Schwingung 1 Eins. Das liegt ganz einfach daran, daß die positive Flanke in positiver x-Richtung einer negativen Flanke in negativer x-Richtung entspricht und anders herum. Sie können es gleich selbst einmal ausprobieren. Nehmen Sie dazu einen Bleistift und schieben ihn parallel zur gestrichelten Linie horizontal über das Papier in die positive x-Richtung (Bild 2). Achten Sie dabei

nur auf Schwingung 1. Sobald der Bleistift eine positive Flanke berührt, sehen Sie sich die Schwingung 2 an. Der Spannungspegel beträgt wie erwartet Null. Nun schieben Sie den Bleistift in die negative Richtung und Sie werden feststellen, daß der Spannungspegel der Schwingung 2 Eins beträgt, wenn Sie auf eine positive Flanke der Schwingung 1 stoßen. Dieser Unterschied läßt sich elektronisch sehr leicht auswerten, indem jedesmal wenn eine positive Flanke der Schwingung 1 auftritt, zwei Flip-Flops in Abhängigkeit von Schwingung 2 gesetzt und bei einer negativen Flanke der Schwingung 1 gelöscht werden.

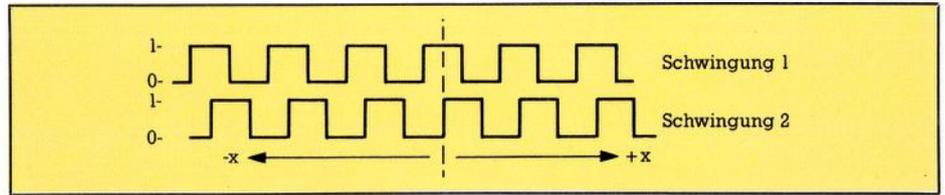
Die Ausgänge dieser beiden Flip-Flops werden unmittelbar auf die Porteingänge des Joysticks gelegt. Zu beachten ist allerdings, daß die Ausgänge der Flip-Flops in Ruhelage, das heißt wenn der Trackball nicht gedreht wird, positives Spannungspotential haben.

Das Grafiktablett — Ein analoges Eingabegerät

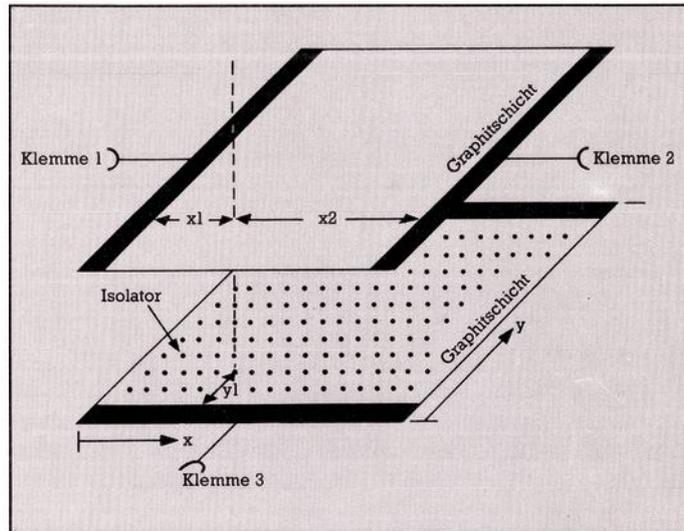
Außer dem Trackball, der wie schon erwähnt in seiner Funktion einem Joystick ähnelt und auch genauso angesprochen wird, gibt es noch das Grafiktablett. Hierbei handelt es sich, im Gegensatz zum Joystick oder Trackball, um ein analoges, also kontinuierliches Eingabegerät. Es existieren nicht mehr nur die beiden Zustände Null und Eins beziehungsweise 0 Volt und 5 Volt, sondern die Ausgangsspannung des Grafiktablets kann kontinuierliche Werte zwischen 0 Volt und 5 Volt annehmen. Ein Computer kann aber nur zwischen 5 Volt (gleich Eins) und 0 Volt (gleich Null) unterscheiden. Deshalb muß diese analoge Spannung in ein digitales Signal gewandelt werden. Eine solche Wandler-einheit, auch A-D-Wandler genannt, ist im C 64, genauer gesagt im Soundcontroller, gleich zweimal enthalten. Die Anschlüsse am Joystickport heißen Pot-x und Pot-y. Genau an diese beiden Eingänge wird das Grafiktablett angeschlossen. Eine A-D-Wandlung ist nicht erforderlich. Jeder Punkt auf dem Grafiktablett hat eine ganz bestimmte x- und y-Koordinate, denen analoge Spannungen zugeordnet werden. Auf den ersten Blick scheint ein Grafiktablett recht einfach zu funktionieren. Um aber die Problematik und die Funktionsweise zu verstehen, muß das Gerät auseinandergenommen werden (Bild 3).

Es lassen sich sehr deutlich zwei Graphitschichten (kontinuierliche Widerstandsschichten) erkennen, von denen eine mit »Pickeln« versehen ist, die in einem quadratischen Raster angeordnet sind. Bei den

Stelle $x_1 = 20$ Einheiten und $y_1 = 10$ Einheiten würde aber zum gleichen Ergebnis führen. Daraus folgt, daß es so nicht geht. Wir haben es hier nämlich mit »einer« Gleichung mit »zwei« Unbekannten zu tun. Eine sol-



▲ Bild 2. Impulsfolge der beiden Lichtschranken im Trackball.



◀ Bild 4. Schematische Darstellung eines Grafiktablets.

Pickeln handelt es sich um Isolatoren, die dafür sorgen, daß kein zufälliger Kontakt zwischen den Schichten entsteht. Jede dieser beiden Graphitschichten ist mit zwei Anschlüssen versehen, die genau gegenüber liegen (Bild 4) und so übereinander angeordnet sind, daß die Anschlußpaare einen Winkel von 90 Grad bilden. Eine Schicht repräsentiert die y-Koordinate, die andere die x-Koordinate. Durch einen Druck auf das Tablett werden beide Schichten miteinander verbunden.

Kohle als Widerstand

Es bleibt noch die Frage zu klären, wie sich x- und y-Koordinate ausschließlich aus diesem Kontakt ermitteln lassen. Häufig ist zu lesen, daß jedem Punkt auf dem Grafiktablett ein Widerstand zugeordnet ist. Diese Aussage ist aber falsch. Ein Beispiel dazu. Angenommen, wir drücken auf eine beliebige Stelle des Grafiktablets (gestrichelte Linie in Bild 4) und messen den Widerstand von Klemme 1 nach Klemme 3. Setzt man für x_1 und y_1 die Zahlenwerte 10- und 20-Einheiten ein, so erhält man als Ergebnis den Summenwiderstand $x_1 + y_1 = R_1 = 10 + 20 = 30$ Einheiten. Ein Druck auf die

che Gleichung ist nicht lösbar. Damit man zu einem eindeutigen Ergebnis kommt, ist noch eine zweite Gleichung (Widerstandsmessung von Klemme 2 nach Klemme 3) erforderlich und zwar $x_2 + y_1 = R_2$. Es ist jetzt noch eine weitere Unbekannte x_2 hinzugekommen, die noch eine dritte Gleichung erforderlich macht. Das macht aber nichts, denn der Widerstand einer Graphitschicht, der sich aus $x_1 + x_2 = R_{gr}$ zusammensetzt, ist bekannt. Löst man dieses Gleichungssystem nach x_1 und y_1 auf, so erhält man als Ergebnis:

$$x_1 = \frac{1}{2} (R_1 - (R_2 - R_{gr}))$$

$$y_1 = \frac{1}{2} (R_1 + (R_2 - R_{gr}))$$

Elektrotechnisch lassen sich R_1 und R_2 relativ einfach auswerten. Zu beachten ist allerdings, daß in dem mathematischen Modell die Stromverteilung in den Widerständen als konstant vorausgesetzt wurde. Eine solche konstante Stromverteilung läßt sich durch eine Konstantstromquelle erzielen. Die angeschlossene Meßelektronik, der zur Ermittlung der Werte x_1 und y_1 die Werte R_1 und R_2 zur Verfügung steht, sollte einen hohen Eingangswiderstand haben, um die Konstantstromquelle nicht unnötig zu belasten.

Der Lichtgriffel

Genug zum Grafiktablett. Wenden wir uns einem weiteren interessanten Eingabegerät zu, dem Lichtgriffel. Von außen sieht er recht unscheinbar aus und ähnelt in seiner Form eher einem Kugelschreiber. Im Innern jedoch verbirgt sich eine komplizierte Elektronik, die aber bei weitem nicht mit der des Grafiktablets verglichen werden kann. Außerdem ist ein großer Teil der Elektronik schon im Computer, genauer im Videoprozessor integriert, so daß sich die äußere Elektronik auf ein Minimum beschränkt.

Ein Pin des Videoprozessors Namens LP ist direkt mit dem Controll-Port 1 verbunden, an den der Lichtgriffel angeschlossen werden kann.

Lichtgriffel sind genauso wie Trackball oder Grafiktablett Eingabegeräte. Allerdings benötigen sie einen Fernseher oder Monitor, der im Zeilensprungverfahren arbeiten muß (Bild 5). An Monitoren oder Fernsehern, die mit einem anderen Verfahren arbeiten, kann kein Lichtgriffel angeschlossen werden. Dazu ein paar Worte zum Zeilensprungverfahren. Das Fernsehbild, so wie es gesehen wird, existiert nur für das menschliche Auge. In der Tat ist es aber zusammengesetzt aus 625 Zeilen und jede Zeile besteht aus 833 Bildpunkten. Genaugenommen leuchtet immer nur ein Bildpunkt, weil nur ein Kathodenstrahl vorhanden ist, der den Bildpunkt zum Leuchten anregt. Dieser Kathodenstrahl ist aber so schnell, daß er sich

in einer Sekunde 15625mal vom linken zum rechten Bildschirmrand bewegt. Um das Bild dem Betrachter sichtbar zu machen, wandert der so erzeugte Bildpunkt innerhalb von 40 ms (0,04 Sekunden) einmal über den gesamten Bildschirm.

Wird ein Lichtgriffel gegen den Bildschirm gehalten, so registriert ein lichtempfindliches Bauteil im Vorderteil des Griffels diesen vorbeihuschenden Leuchtfleck und sendet ihn als elektrischen Impuls zum Computer. Dieser wiederum weiß, da er den Bildschirm Punkt für Punkt aus dem Bildspeicher ausliest, an welcher Stelle er sich zur Zeit des ankommenden Impulses gerade befindet (Bild 5). Zwar treten zwischen gesendetem und ankommendem Signal Zeitverzögerungen auf, die aber im Videoprozessor kompensiert werden. Als lichtempfindliches Bauteil eignen sich aufgrund der extrem hohen Geschwindigkeit und der niedrigen Leuchtdichte des Kathodenstrahls nur Fototransistoren. Nur ein solches Bauteil ist in der Lage, innerhalb von 76 ns den Leuchtfleck zu erkennen und ausreichend zu verstärken. Um die erforderliche Flankensteilheit zu erreichen, wird das Signal auf einen Schmitt-Trigger geleitet, dessen Ausgang ab einer bestimmten Schaltschwelle schlagartig von Null auf Betriebsspannung springt (Bild 6). Das hat außerdem den Vorteil, daß der Lichtgriffel nicht so allergisch auf Helligkeitsschwankungen des Bildschirms reagiert. Zwischen Kollektor und Eingang des Schmitt-Triggers ist noch ein ausreichend kleiner Kondensator zu legen, der die Aufgabe hat, den Gleichspannungspegel von Lichtquellen wie zum Beispiel der Sonne, auszufiltern und die Wechselfspannung, die durch den Impuls des Leuchtfleckes entsteht, durchzulassen.

Da der Fototransistor aufgrund seiner schlechten Optik und des dicken Bildschirmglases (Bild 7) nicht nur einen Punkt, sondern eine ganze Schar von Punkten sieht, ist noch ein weiterer Baustein erforderlich. Ein Mono-Flop hat dafür zu sorgen, daß nach dem ersten Impuls eine gewisse Zeitspanne keine Impulse mehr an den Eingang des Computers gelangen. Die Dauer dieser Zeitspanne darf allerdings die Zeit, die der Kathodenstrahl für das Schreiben eines Bildes benötigt (40 ms) nicht überschreiten. Sonst könnte beim nächsten Durchgang keine neue Positionsbestimmung erfolgen.

(ah)

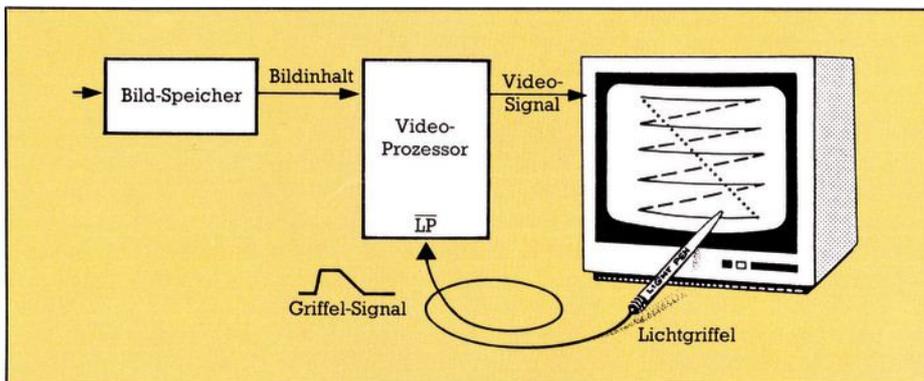


Bild 5. Einfaches Schaltungsschema eines Lichtgriffels

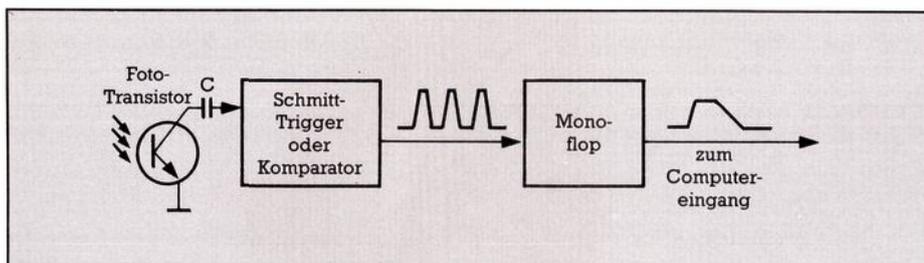


Bild 6. Schematische Darstellung zur Positionsbestimmung eines Lichtgriffels

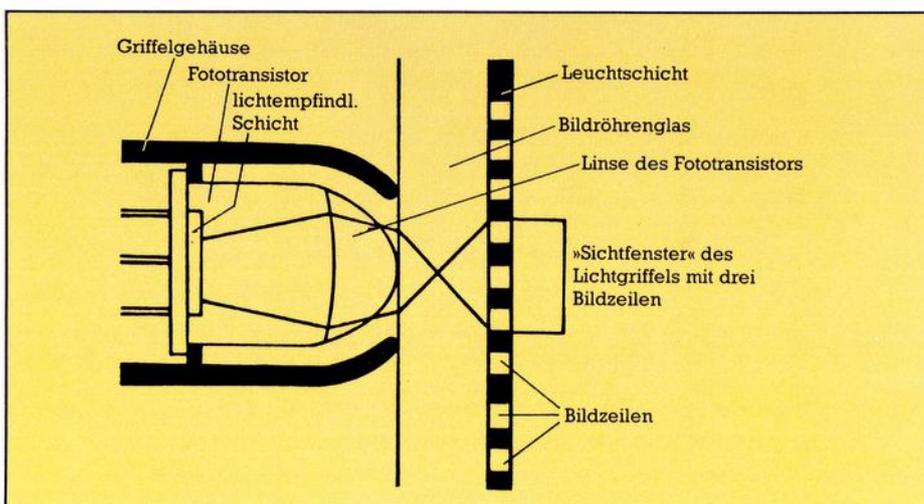


Bild 7. Trotz Linse »sieht« der Lichtgriffel mehr als nur eine Bildschirmzeile