

Touchscreen – Computer reagieren auf Berührung

Mit Hilfe des berührungsempfindlichen Bildschirms haben Computer den Sprung ins Laufgitter geschafft und faszinieren unsere Kleinsten mehr als uns lieb ist. Das Prinzip dieser intuitiven Eingabe bei Tablets und Handys sind Kapazitätsbrücken, die durch Berührung eines durchsichtigen Sensors mit einem Finger entstehen.

Der Ingenieur Eric Johnson arbeitete im Royal Radar Establishment in Malvern (England) an Luftraum-Überwachungsanlagen. Er erkannte, dass die Flugleiter hauptsächlich Auswahl-Entscheidungen betreffend Darstellungen auf Bildschirmen treffen müssen, die durch Antippen mit einem Finger viel schneller und sicherer ausgeführt werden könnten als dies mit Hilfe der üblichen Tastenfelder möglich war. Er publizierte seine Idee 1965 unter dem Titel «Touch Display – A novel input/output device for computers».

Johnsons ins Glas von Kathodenstrahlröhren eingeschmolzene, in Abb. 1 sichtbaren Drahtklammern bedurften noch vieler Entwicklungsschritte, bis schliesslich anfangs 2007 kurz nacheinander die

ersten Handys LG Prada (Kollaboration der LG Electronics in Südkorea mit dem italienischen Designer Prada) und iPhone (Apple, USA) auf den Markt kamen.

Blick in ein Handy der 1. Generation

Nach vorsichtiger Öffnung des in Abb. 2 gezeigten Handys blieb dieses funktionsfähig, so dass die elektrischen Signale in den Leiterbahnen des Tastfeldes untersucht werden konnten. Für den Aufbau der Anzeigeeinheit sei auf den Artikel «Flüssige Kristalle – von Cholesterin zum Flachbildschirm» verwiesen (VJS 1|2017, S.18-20).

Unter einer Lupe sind die Leiterbahnen bei guter Beleuchtung sichtbar wie in Abb. 3 wiedergegeben. Die Matrix der Strukturen mit 11 Kolonnen und 18 Reihen auf der Oberfläche des Tastfeldes ist derart transparent, dass nur die Kreuzungspunkte von Reihen und Kolonnen gesehen werden konnten. Die unsichtbaren kapazitiven Sensorflächen dürften etwa so angeordnet sein wie die eingezeichneten blauen und orangen Quadrate.

Die blauen Kolonnen werden vom Controller der Firma Synaptics (USA) mit Rechtecksignalen einer Amplitude von 3 Volt und einer Frequenz von

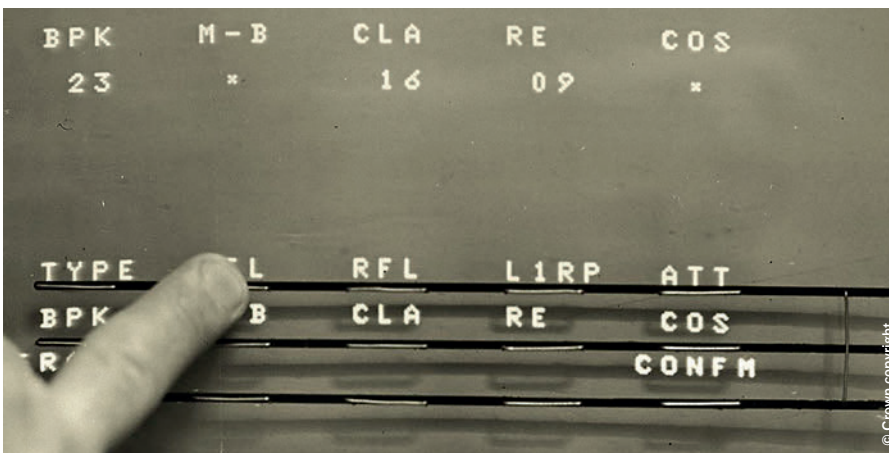


Abb. 1: Das erste Touch Display von Eric Johnson 1965. Im unteren Teil einer Bildröhre wurden Drahtklammern als Sensoren eingeschmolzen, die mit dem Computer verbunden wurden. Eine Berührung einer dieser Klammern löste die darüber angegebene Aktion aus. Da die Aktionen durch das Computerprogramm definiert wurden, konnten die Bedeutungen der „Soft-Keys“ dem aktuellen Programmschritt laufend angepasst werden.

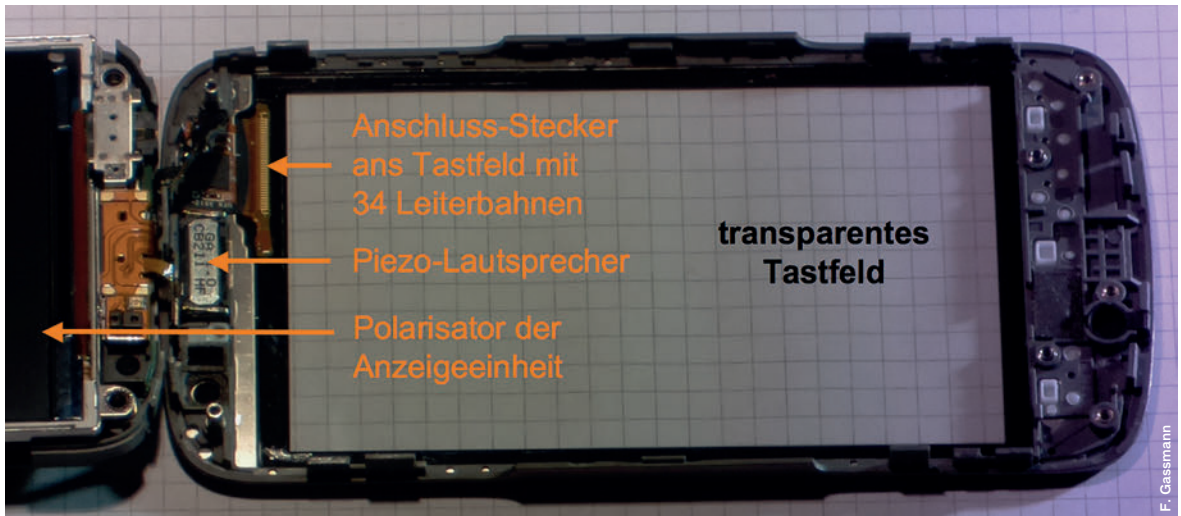


Abb. 2: Blick in ein geöffnetes HUAWEI-Handy der durch Swisscom 2020 ausser Betrieb genommenen Netzwerk-Generation G2. Das transparente Tastfeld liegt auf einem 4 Millimeter Raster.

140 Kilohertz versorgt (diese Frequenz entspricht etwa einem Langwellensender). Die orangen Zeilen-Quadrate empfangen das Rechtecksignal, sobald eine kapazitive Brücke zu einem blauen Senderquadrat besteht.

Ein Experiment zeigt das Prinzip des kapazitiven Tastfeldes

Widerstände (Ohm'sches Gesetz), Spulen (Induktivitäten) und Kondensatoren (Ladungsspeicher, Kapazitäten) sind die grundlegenden passiven Bauelemente aller elektronischen Geräte.

Der einfachste Kondensator besteht aus zwei parallelen Metallplatten, die durch eine Isolationsschicht voneinander getrennt sind. Es ist klar, dass kein Strom fließen kann, wenn eine Batterie über einen Kondensator mit einem Lämpchen verbunden wird, da die Isolationsschicht einen sehr grossen Widerstand (mehrere Gigaohm) besitzt. Wenn jedoch die Gleichstrombatterie durch eine Wechselstromquelle ersetzt wird, kann das Lämpchen zum Leuchten gebracht werden, weil die im Kondensator gespeicherte Ladung (in Form von Elektronen) abwechselnd durch das Lämpchen und den Generator hindurch von der einen Kondensatorplatte auf die andere transportiert wird.

Aus dieser Überlegung wird klar, dass ein Kondensator Wechselstrom leitet und dass der im Stromkreis fließende mittlere Strom um so grösser wird, je höher die Frequenz des Generators und je grösser die Kapazität des Kondensators sind. Die Frequenz wird in Hertz gemessen, wobei 1 Hz eine

Schwingung pro Sekunde entsprechend zwei Umlagerungen der Kondensatorladung bedeutet.

Die Kapazität eines Kondensators wird in Farad angegeben, wobei 1 F bedeutet, dass sich die Spannung an einem Kondensator bei einem Umladungsstrom von 1 Ampère in 1 Sekunde um 1 Volt ändert. Beispielsweise bezieht das Blitzlicht bei Kameras seine Energie aus einem zuvor aufgeladenen Kondensator, der über die Blitzlampe sehr schnell entladen wird, wobei kurzzeitig ein grosser Strom fließt.

Zur Demonstration der kapazitiven Brücke zwischen nebeneinanderliegenden Plättchen habe ich zwei Elemente der in Abb. 3 dargestellten Matrix stark vergrössert mit Hilfe von Alufolie nachgebildet, die ich mit Scotchtape auf eine Glasplatte geklebt und mit Anschlussdrähten versehen habe. Abb. 4 zeigt die Anordnung sowie die gemessenen Send- und Empfangssignale.

Deckt man die beiden Quadrate mit dem Handballen ab, entsteht dasselbe Empfangssignal wie bei Verwendung einer Metallplatte, die beide Quadrate überdeckt. Ohne Abdeckung oder mit einer isolierenden Abdeckung (z.B. Plexiglas) war das Empfangssignal hingegen 5 bis 6 mal kleiner.

Das Ersatzschema des Stromkreises verdeutlicht, dass eine leitende Abdeckung zwei in Serie geschaltete Kondensatoren erzeugt (Grün in Abb. 4), die umso mehr Ladung auf die Eingangskapazität des Oszilloskops schaufeln können, je grösser sie sind. So erzeugt eine Berührung des Tastfeldes eine



Abb. 3: Das berührungsempfindliche Feld besteht aus einer Glasscheibe, auf deren Aussenseite zwei gegeneinander isolierte transparente Leiterfolien aufgeklebt sind. Darüber ist eine isolierende Schutzschicht angebracht. Die blauen Sendeflächen (11 Kolonnen) und die orangefarbenen Empfangsflächen (18 Zeilen) geben einen Eindruck vom unsichtbaren Raster, dessen Form nicht festgestellt werden konnte. Der Ausschnitt zeigt nur 3 der 11 Anker, die für den Kontakt mit den blauen Flächen sorgen. 9 der 10 Leiterbahnen am oberen Bildrand führen zu analogen Ankerstrukturen für die orangefarbenen Flächen ausserhalb des Bildausschnittes. Die 10. Bahn führt zu 3 Bedienungselementen am unteren Rand des Handys. 9 weitere Leiterbahnen längs des gegenüberliegenden Randes des Tastfeldes (ausserhalb des Bildausschnittes) führen via Anker zu den abgebildeten orangefarbenen Flächen. Eine typische Berührungsfläche eines Fingers zeigt, dass mehrere Kolonnen und Reihen involviert werden: Die Software im links unten sichtbaren Chip der Firma Synaptics (San Jose, California, USA) bestimmt Millimeter-genau den Schwerpunkt der Berührung.

Vergrosserung der Kapazitätsbrücken und damit grössere Signale in den entsprechenden Empfangsleitungen.

Probleme bei der Bedienung eines Tastfeldes

Aus der oben gezeigten Funktionsweise lassen sich folgende eigenartig anmutende Effekte erklären:

- *Warum funktioniert das Tastfeld nicht mit Handschuhen?*
Handschuhe wirken wie eine zusätzliche dicke Isolationsschicht. Dadurch wird die Kapazität der durch den Finger entstehenden Kondensatorbrücke je nach Dicke der Handschuhe um einen Faktor 10 bis 100 kleiner und die Empfangselektronik reagiert nicht mehr auf die um denselben Faktor kleineren Signale.
- *Warum funktioniert das Tastfeld nicht mit einer Bleistiftspitze?*
Graphit ist zwar leitend, aber die Berührungsflä-

che einer Spitze ist zu klein, um eine Kapazitätsbrücke zu bilden.

- *Warum ist ein Tastfeld empfindlich auf Kratzer?*
Die sehr dünnen und durchsichtigen Leiterbahnen befinden sich auf der äusseren Oberfläche einer Glasplatte und sind nur mit einer dünnen Schutzschicht überdeckt. Kratzer können diese Schutzschicht verletzen und die Leiterbahnen durchtrennen. Um das Tastfeld besser zu schützen, sind im Handel spezielle aufklebbare Folien erhältlich.
- *Warum funktioniert das Tastfeld nicht besser, wenn stärker gedrückt wird?*
Bei stärkerem Druck wird die Fingerbeere flach gepresst und die Berührungsfläche (vgl. Abb. 3) wird grösser. Deshalb sprechen mehr Sensoren an und es wird für die Software schwieriger herauszufinden, welche Taste angesprochen werden sollte. Je nach der Software reagiert der Computer gar nicht oder «versteht» allenfalls ein falsches Zeichen.

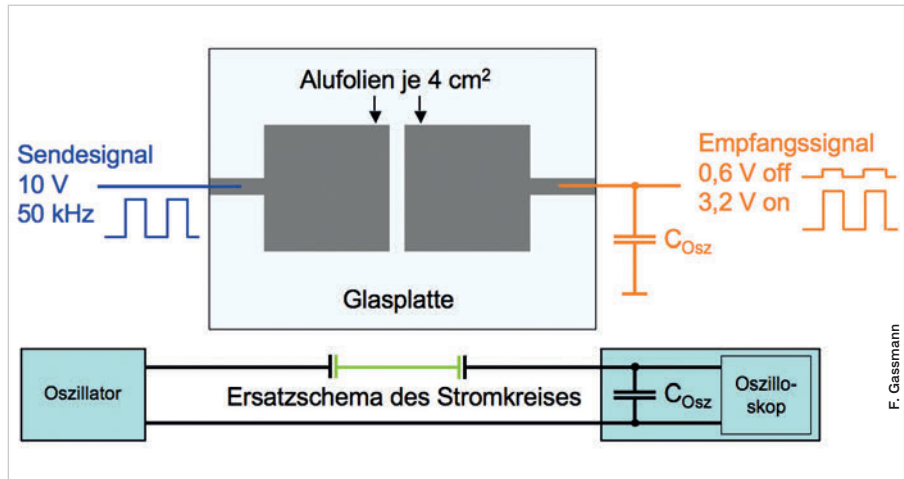


Abb. 4: Demonstration des Prinzips des kapazitiven Tastfeldes mit Hilfe eines Rechteckgenerators (Oszillator) und eines Oszilloskops. Die Messung der Seriekapazität zwischen Sende- und Empfangsseite mit leitender Abdeckung (als «on» bezeichnet) ergab 12 Picofarad und stimmte mit entsprechenden Berechnungsformeln überein (Plattenabstand mit 3 Scotchtape-Lagen betrug 0,16 mm, Dielektrizitätskonstante des Scotchtape als 1,2 angenommen). Die Messung der Kapazität ohne leitende Abdeckung («off») ergab rund 1,5 Picofarad und ein fünf- bis sechsmal kleineres Signal. Das Ersatzschema macht deutlich, dass eine leitende Abdeckung der Aluflächen (Metallplatte, Handballen) zwei in Serie geschaltete Kondensatoren ergibt (Grün), die Ladungen auf die Eingangskapazität des Oszilloskops C_{Osz} von 25 Picofarad schaufeln.

- *Warum reagiert der Computer manchmal, bevor das Tastfeld berührt wird?*
Wenn sich unbeabsichtigt ein Finger näher als etwa einen Millimeter über dem Tastfeld befindet kann es vorkommen, dass eine dadurch entstehende Kapazitätsbrücke gerade ausreicht, um die Elektronik ansprechen zu lassen.
- *Warum funktioniert ein verschmutztes Tastfeld nicht mehr richtig?*
Falls sich dünne, elektrisch leitende Schichten (z.B. Salzwasser) auf dem Tastfeld befinden, kann es vorkommen, dass der Computer dadurch falsche Signale erhält.

Touchscreens sind kaum zu überbieten

Für Menschen ist die Kommunikation mit Hilfe eines Fingerzeigs in ihrer Einfachheit und Direktheit kaum zu überbieten. Ohne Vorkenntnisse über das Betriebssystem, ohne Schlüsselwörter und selbst ohne Sprache klappt die Kommunikation mit einem unbekanntem Gerät weitgehend auf Anhieb, falls eine einfach zu verstehende Bildsprache verwendet wird. Der Beweis dafür sind Kleinkinder, die die Bedienung geeigneter Tablets sehr schnell begreifen können. Es erstaunt deshalb nicht, dass heute

Bedienungselemente elektronischer Geräte zur Steuerung von Anlagen mit Touchscreens ausgerüstet sind. Selbst wenn alphanumerische Eingaben notwendig sind, ist es praktisch, ein Touchscreen-Tastaturfeld zu benutzen, weil durch die Sprachwahl das Tastaturfeld auf die Bedienperson abgestimmt werden kann, ohne die Hardware zu ändern. Da Informatiker eine Denkstruktur erlernt haben, die den meisten Menschen fremd ist, müssen jedoch die potenziellen Anwenderinnen und Anwender bei der Softwareentwicklung bereits in einer frühen Phase einbezogen werden, um ein Gerät wirklich bedienungsfreundlich zu gestalten.

Fritz Gassmann

Der Autor ist Physiker und arbeitete früher am Paul Scherrer Institut PSI in Villigen.

Literatur

Johnson E. A. 1965. Touch Display – A novel input/output device for computers. Electronics Letters 1 (8): 219-220.