

Schalten wie von Geisterhand

Die Zeit als Maßstab zur Bedientasten-Auswertung

Sensortasten - gleich nach welchem Funktionsprinzip sie arbeiten - können Schaltvorgänge auslösen, ohne dass eine mechanische Betätigung erfolgt. Kapazitive Sensoren genügt eine Annäherung oder leichte Berührung zum Auslösen. Sie lassen sich zudem unauffällig hinter verschiedenen Oberflächen verstecken und sind so auch besser vor Beschädigungen zu schützen.
Von Erich Dickfeld

Mechanische Taster und Schalter bilden häufig die Schnittstelle in der Mensch-Maschine-Kommunikation. Wegen Ihres mechanischen und elektrischen Verschleißes sind sie oft die Ursache für Fehlfunktionen in elektronischen Systemen. Beim Gerätedesign müssen Gehäusedurchbrüche für Gerätetasten berücksichtigt werden. Zusätzliche Anforderungen an die Wasser- und Staubdichtheit erhöhen die Kosten.

Kapazitiv wirkende, berührungslose und selbstabgleichende Sensortasten lassen sich hinter geschlossenen Wandungen platzieren und erlauben kostengünstige, elegante und wartungsfreie Lösungen - passend zu jedem Design. Die digitalen, kapazitiven Sensortasten der Firma EDISEN-electronic bieten genau diese Vorteile. Sie arbeiten nach einem neuartigen, patentierten Auswerte-Verfahren, das 1995 vom Fir-

mengründer Erich Dickfeld für kapazitive Sensoren entwickelt wurde. Eine Neuheit stellen die exportierbaren Sensortastflächen dar: Koaxialkabel als Anschlussleitungen zur Sensorelektronik ermöglichen Kabellängen bis zu 10 m. Diese Sensorelemente lassen sich als Folie ausführen (Bild 1). Unter Fliesen, Glas, Gipskarton oder anderen dielektrischen Stoffen verborgen, können sie einen Fingertipp dekodieren (Bild 2).

Das Grundprinzip

Zwei sich gegenüberstehende leitfähige Platten können eine elektrische Energie W speichern (Bild 3). Die Kapazität C , gemessen in Farad (F), hängt von der Plattenfläche A , dem Plattenabstand a und der Dielektrizitätszahl ϵ des Dielektrikums zwischen den Platten ab. Bei den EDISEN-Sensoren bildet die Sensorfläche die positive Platte des Kondensators. Als negative Platte wirkt der Fußboden (Erdpotential PE), auf dem eine Person herumläuft und die Funktion des Dielektrikums ausübt. Tippt sie mit einem Finger auf die positive Platte, dekodiert die angeschlossene Sensorelektronik eine Zunahme oder Abnahme der Kapazität C_s und gibt dann ein Tastenbediensignal ab.

Transformation in die Zeitebene

Die Erfassung der Kapazität C_s an einer Sensorfläche, deren elektrisches Feld

sich dabei auf Erdpotential ausrichtet (= PE aus Bild 3), erfolgt durch ihre wiederholte Umladung von einem definierten Gleichnungspotential zu einem anderen über eine Konstant-Stromquelle oder einen Widerstand (siehe auch Bild 5). Durch diese direkte Kapazitäts-Zeit-Wandlung über eine rein digitale Auswerte-Elektronik erfolgt eine Bewertung der benötigten Umladezeit t_u , indem diese mit einem

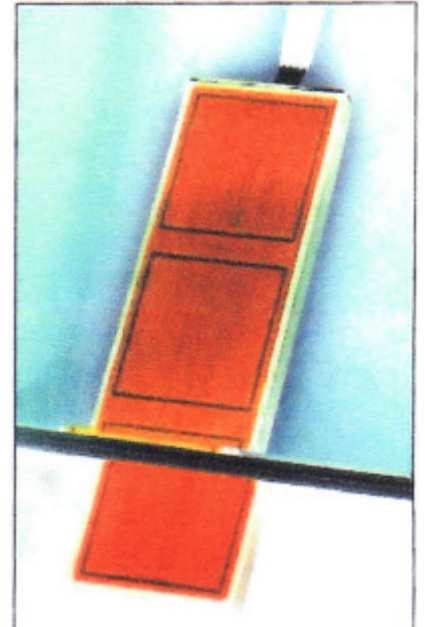


Bild 2. Der 3-fach-Tastenblock DT1 mit drei kapazitiv arbeitenden Sensortasten in einem Gehäuse demonstriert, wie dicht die einzelnen Sensorflächen nebeneinander angeordnet werden können.

internen, nachgeführten Referenzzeitraum t_{ref} verglichen wird. Als Bewertungsergebnis erhält man lediglich die rein qualitativen Aussagen $t_u < t_{ref} \Rightarrow$ „L“ oder $t_u > t_{ref} \Rightarrow$ „H“.

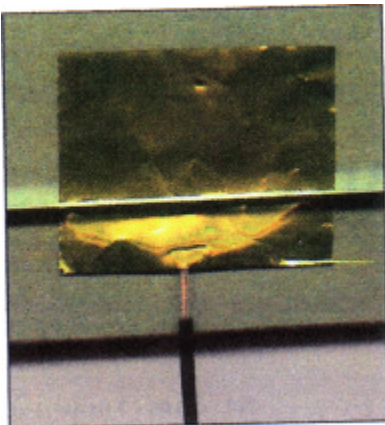
$$C_s * U_s(t) = I_E * t$$
$$t = C_s * U_s(t) / I_E$$

Hat $U_s(t)$ den Schwellwert U_{sw} erreicht, so dass gilt $U_s(t) = U_{sw}$, dann wird die Zeit t mit dem Referenzzeitraum t_{ref} verglichen:

$$t < t_{ref} = \text{Ausgabe „L“}$$
$$t > t_{ref} = \text{Ausgabe „H“}$$

Es erfolgt also keine absolute Messung der Umladezeit t_u , sondern nur ein Vergleich zweier Zeitintervalle. Diese rein digitale Vergleichsoperation besitzt eine Auflösung im Pikosekunden-

Bild 1. Eine dünne Metallfolie, die sich z.B. hinter Glas platzieren lässt, genügt als „Kondensatorplatte“ für den Sensor. Angeschlossen über ein koaxiales Kabel, kann sie bis zu 10 m von der Elektronik entfernt installiert werden.



denbereich, so dass bei Umladezeiten unter $2 \mu\text{s}$ Kapazitätsänderungen im Femtofaradbereich sicher detektiert werden können.

Für diese schnelle Umladung der Sensorflächenkapazität C_S sind relativ große Ströme I_E erforderlich - die Messstrecke wird damit niederohmig und wenig empfindlich für elektromagnetische Störungen. Der über eine Regelung nachgeführte Referenzzeitraum t_{ref} führt im Idealfall zum Regelungsziel „ $t_u = t_{ref}$ “. Dieser Idealfall wird praktisch allerdings nie erreicht, da die Sensorflächenkapazität C_S ständigen Veränderungen durch Umwelteinflüsse unterliegt. Im abgeglichenen Zustand des Sensors ergeben die aufeinanderfolgenden Vergleichsoperationen abwechselnd die beiden Ergebnisse „L“

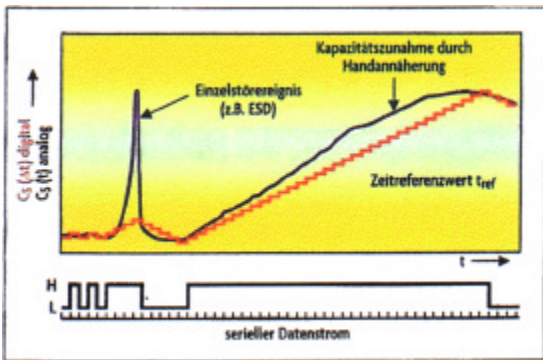


Bild 4. Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Kapazität: Änderungen im Dielektrikum bewirken eine Veränderung der Kapazität, was, in binärer Form als „L“ oder „H“ ausgegeben, den Schaltvorgang steuert.

bzw. „H“. Aus dieser Folge von qualitativen Vergleichsaussagen entsteht ein digitaler Datenstrom, der den zeitlichen Verlauf der Änderungen ΔC_S der Kapazität C_S an der Sensorfläche beschreibt. Er lässt sich problemlos speichern, wobei z.B. ein Mikrocontroller typische Bewegungsmuster eines Fingertipps als Kapazitätzunahme und -abnahme in einem Zeitintervall erfassen kann (Bild 4). Der gespeicherte aktuelle Referenzzeitraum t_{ref} ist ein direktes Abbild des Momentanwertes der Kapazität C_S . Er kann daher auch als statischer Messwert der Kapazität C_S ausgegeben werden.

Der Bewegungssensor

Begrenzt man nun die Regelungsdynamik, welche eine Funktion der Stellgröße dt_{ref} je Abtastung und der Anzahl

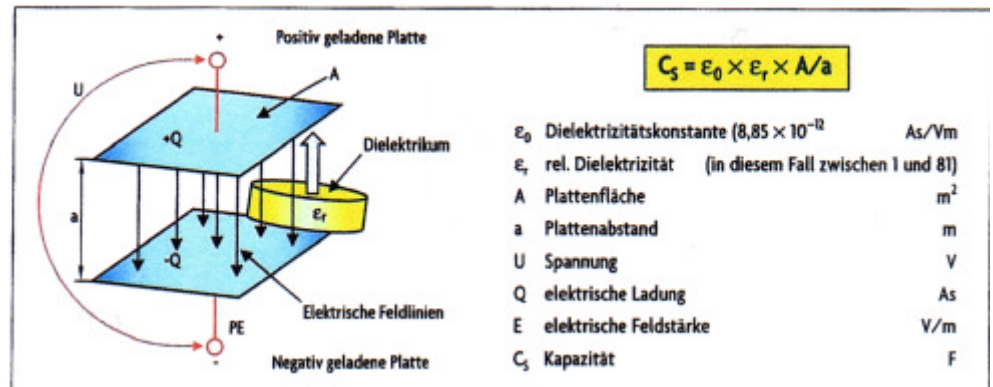


Bild 3. Schematische Darstellung eines Plattenkondensators. Die kapazitiven Sensoren arbeiten wie ein Kondensator mit räumlich weit entfernten Platten. Veränderungen im Dielektrikum lösen den Schaltvorgang aus

der Abtastungen je Zeiteinheit ist, dann können durch die Regelung nur noch langsame Veränderungen dC_S/dt der Sensorkapazität C_S durch eine Nachführung von t_{ref} kompensiert werden (Bild 4). Diese Maßnahme führt zu einer differentiellen Bewertung der Sensorflächenkapazität C_S . Daraus resultiert auch, dass der statische Grundwert von C_S praktisch keinen Einfluss auf die Empfindlichkeit des Sensors hat. Übersteigt die Änderungsgeschwindigkeit dC_S/dt einen Grenzwert, so führt

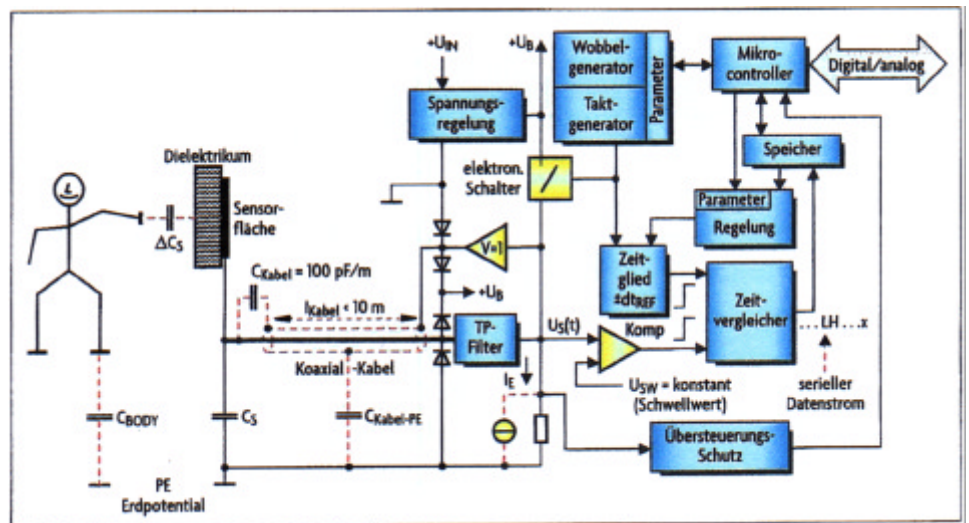
der digitale Datenstrom eine ununterbrochene Folge von „H“-Impulsen bei Kapazitätzunahme bzw. „L“-Impulsen bei Kapazitätsabnahme. Somit lassen

sich in Abhängigkeit von der gewählten Regelungsdynamik langsame Veränderungen der Sensorflächenkapazität C_S ausblenden ($dC_S/dt < \text{Grenzwert}$) oder hervorheben ($dC_S/dt > \text{Grenzwert}$).

Vorteile des Abtastverfahrens

Ein wesentlicher Vorteil ist die abtastende Arbeitsweise der Sensorelektronik; sie ist nur während des Umladevorganges von C_S ($t < 2 \mu\text{s}$) aktiv und bis zum nächsten Umladevorgang in z.B. $998 \mu\text{s}$ inaktiv. Damit lässt sich der Leistungsverbrauch bis in den Mikrowattbereich senken. Über die meiste Zeit ist das System gegenüber Streueinkopplungen immun. Dringt dennoch eine Störung ein, kann sie nur ein Bit im Datenstrom mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % verfälschen. Die Wobbelung der Abtastfrequenz (z.B. 1 kHz 25 %) verhindert mögliche Schwebungen mit einer Stör-

Bild 5. Die Blockschaltung verdeutlicht die Verknüpfung der separat angeordneten Sensorfläche mit der Steuer- und Auswertelektronik (links unten der für die Funktion wichtige Rückstromkreis über das Erdpotential).



frequenz. Sie hat keinen Einfluss, da sich die Abweichungen im Datenstrom kompensieren - der Mittelwert bleibt unverändert. Kommt es zu einer Übersteuerung des Sensoreinganges, regelt die Elektronik nach und reduziert die Empfindlichkeit automatisch. Die Störaussendung der Sensorelektronik ist äußerst gering, wobei die Wobbelung der Abtastfrequenz die Störenergie noch zusätzlich spektral verteilt. Weiterhin ist ein Zeitmultiplexbetrieb möglich. Bis zu 16 Kanäle können von einem zentralen Mikrocontroller bedient werden, ohne dass sich die einzelnen Kanäle gegenseitig beeinflussen.

Die exportierbare Sensorfläche

Eine räumliche Trennung von Sensorfläche und Auswerte-Elektronik wird erst durch die abtastende Arbeitsweise möglich. Ein beliebiges Koaxialkabel mit einer Länge bis zu 10 m verbindet die

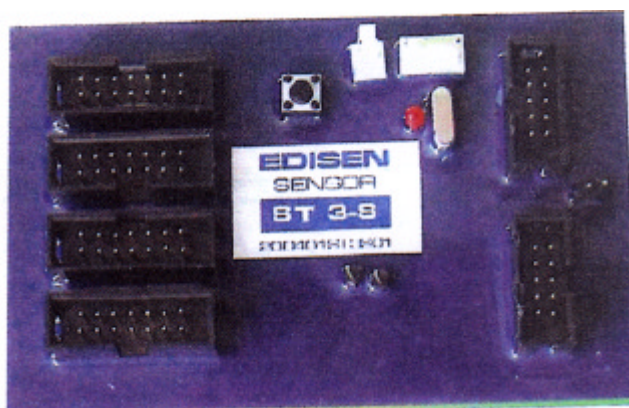


Bild 6. Die per Mikrocontroller gesteuerte Auswerte-Elektronik kann bis zu 16 Sensortasten abfragen, die in einem Bedienfeld zusammengefasst sind.

Sensorfläche mit der Elektronik. Die störende Kabelkapazität von 50 pF/m bis zu 100 pF/m wird durch einen potentialgesteuerten Kabelschinn („driven shield“) eliminiert. Der Schirm selbst kann dabei kapazitiv mit 5 nF und mehr geerdet sein. Signalreflexionen und Laufzeiten haben keinen Einfluss, weil bis zu Beginn der nächsten Abtastung das System energetisch zur Ruhe gekommen ist. Kabelresonanzen, durch Störeinfluss ausgelöst, werden durch Filter unterdrückt (*Bild 5*).

Anstelle von Koaxialkabeln lassen sich für kürzere Entfernungen auch Streifenleitungen oder halboffene, symmetrisch geerdete Flachleitungen verwenden. Der Rückfluss der von den Sensorflächen ausgehenden Verschiebungsströme erfolgt wie beim Phasenprüfer des Elektrikers über die menschliche Körperkapazität von 200 pF bis 400 pF in das Erdpotential PE. In Gebäuden leiten die Elektroinstallation, Wasser- bzw. Heizungsrohre sowie massive Gebäudeteile den Rückstrom - sie sind alle mit dem Schutzleiter verbunden. Bei Batteriebetrieb sollten Masseflächen der unmittelbaren Umgebung kapazitiv mit dem Minuspotential der Sensorelektronik verbunden sein. Sie bilden eine virtuelle Masse, die auch mit dem Erdpotential verbunden werden kann.

Aus der Transformationsgleichung ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen Sensorkapazität und Speicherinhalt, den der Mikrocontroller auch als Analogwert ausgeben kann. Änderungen des Speicherinhaltes gelangen nach einer Bewertung im MC-Programm ebenfalls als Schaltbefehle zur Ausgabe.

Für jede Anwendung den richtigen Sensor

Inzwischen werden von EDISEN-electronic zehn verschiedene Typen von Kompaktsensoren als Zweidrahtschalter, mit Strom- oder Open-Collector-Ausgängen, programmierbare Tastaturolektroniken mit acht oder 16 Kanälen sowie Analogsensoren z.B. zur Füllstandsmessung angeboten.

Ein speziell entwickelter Schaltkreis mit der Bezeichnung Ee301 mit drei identischen Kanälen und geringer Außenbeschaltung steht im SO16-Gehäuse für kaskadierbare, frei wählbare Tastenanordnungen zur Verfügung. An ihn lassen sich drei separate, beliebig gestaltete Sensorflächen anschließen. Spezielle Anschlüsse erlauben die Wahl zwischen einer Ein/Aus-, Tasten- oder Zeitschalter-Funktion. Der Schaltkreis erzeugt eine stabilisierte Gleichspannung von 4 V, die zur Versorgung weiterer Folgestufen (Ausgangsstrom max. 400 μ A) zur Signal-

auswertung dienen kann. Die Ausgänge (n-Kanal-Open-Drain) können einen Strom von maximal 25 mA aufnehmen. Die Betriebsspannung des Ee301 kann im Bereich zwischen 4,75 V und 9 V liegen. Der geringe Eigenstromverbrauch des Schaltkreises von 170 μ A ermöglicht auch den Batteriebetrieb.

Die kapazitiven Sensoren erlauben die individuelle Gestaltung von Bedientableaus bei erhöhten Anforderungen an Wasser- und Staubdichtheit, Design, Verschleißfreiheit und Vandalismussicherheit. Anwendungsfelder bestehen im Haushaltsgerätesektor, bei medizinischen Geräten, im Automobil, im Wohn- und Sanitärbereich sowie im Explosionsschutzbereich - auch als Analogsensor.

Programmierbare, digitale kapazitive Sensortaster mit acht und 16 Kanälen

Diese Tastaturolektroniken arbeiten mit einem Mikrocontroller, der sich über

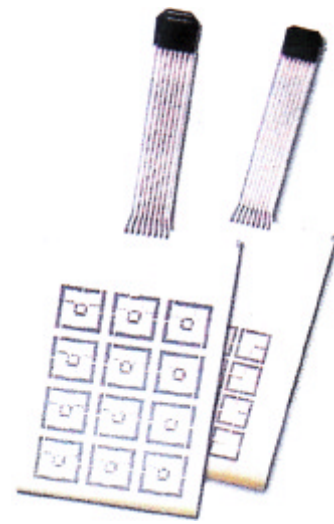


Bild 7.
Die Folientastaturen mit zwölf Sensorflächen sind optimal für den direkten Anschluss an die Mikrocontroller-Elektronik geeignet.

eine RS-232-Schnittstelle vom PC aus programmieren lässt (Bild 6). Der Mikrocontroller fragt die einzelnen Sensorflächen - maximal 16 - nacheinander ab. Deshalb beeinflussen sich die Sensoren gegenseitig nicht und der Prozessor ordnet das empfangene Signal eindeutig der Betätigung einer Taste zu. Flexible Tastenfelder mit zwölf kapazitiven Sensoren (Bild 7) erleichtern dem Anwender sowohl den Aufbau als auch



Bild 8. Der Bildschirm zur Programmierung der Sensorfunktionen: in senkrechten Spalten angeordnet die einzelnen Kanäle, in Zeilen die jeweilige Gruppe.

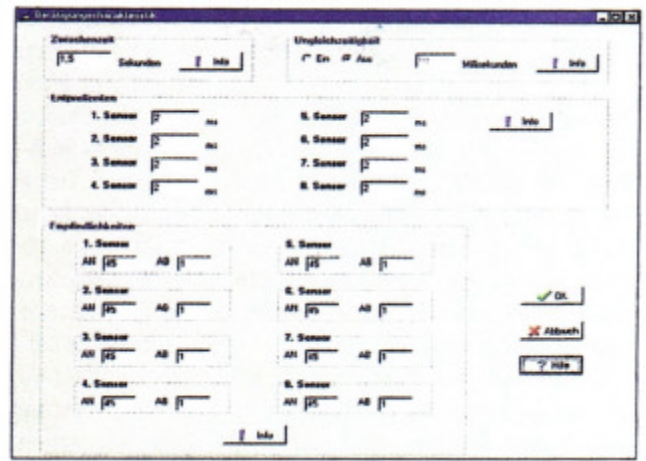


Bild 9. Die einzelnen Parameter der Betätigungscharakteristik lassen sich für eine komplette Gruppe oder für jeden einzelnen Sensor definieren

den Anschluss. Jedem einzelnen Kanal können unterschiedliche Eigenschaften verliehen werden. Das zum Programmieren benötigte Tool kann der Anwender von der Homepage der Fa. EDISEN-electronic (www.edisen.de) herunterladen. Damit lassen sich per Mausklick alle Parameter individuell festlegen und anschließend in den Mikrocontroller laden. Alternativ bietet der Hersteller auch Standardprogrammierungen an. Die Ausgangssignale dieser intelligenten Tastaturfelder stellt der Mikrocontroller wahlweise als parallele oder serielle Daten zur Verfügung.

Programmierung des Schaltverhaltens und der Gruppeneinteilung

Zur Einstellung des Schaltverhaltens eines jeden Kanals werden die Sensor-Icons innerhalb der acht Gruppen zweckmäßig verteilt, wobei jede Gruppe als Ein/Aus-Schalter oder Zeitschalter definierbar ist. Befinden sich mehrere Icons in einer Gruppe, sind sie voneinander abhängig und funktionieren z.B. wie ein Tastensatz mit gegenseitiger Auslösung oder Verriegelung (Bild 8).

Programmierung weiterer Schalteigenschaften

Die Einstellung der weiteren Eigenschaften erfolgt per Software im Fenster „Betätigungscharakteristik“ (Bild 9). Mit „Entprellzeit“ gibt der Anwender den Zeitraum vor, der vergehen muss, bis die gleiche Taste erneut betätigt werden kann. Damit lassen sich Doppeleingaben und Vandalismus verhindern. Um die gleichzeitige Betätigung

mehrerer Kanäle auszuschließen, lässt sich im Feld „Ungleichzeitigkeit“ ein Intervall definieren. Innerhalb dieser Zeit ignoriert der Mikrocontroller die gleichzeitig eintreffenden Signale mehrerer Sensoren. Dies erlaubt die Reinigung der Tastaturoberfläche, ohne dass eine Fehlbetätigung erfolgt. Für jeden Kanal kann eine Annäherungsempfindlichkeit „AN“ und eine zweite für die Empfindlichkeit bei Wegnahme des Fingers „AB“ programmiert werden. Die Eingabe einer „Zwischenzeit“ erlaubt die Kombination dieser beiden Schaltcharakteristika: Nur wenn ein Fingertipp (AN + AB) innerhalb dieser Zeit erfolgt, entsteht ein gültiges Ausgangssignal. Lehnt sich eine Person beispielsweise an eine kapazitive Aufzugstastatur, so führt dies nicht zu einer unbeabsichtigten Betätigung.

Weiterhin können bei Zeitschaltern die Haltezeit, ihre Retriggerbarkeit oder eine additive Verlängerung der Haltezeit durch die Anzahl weiterer Betätigungen programmiert werden. So könnten z.B. mehrere Handbewegungen über eine in der Dusche angebrachte Sensorfliese (Streichelfliese) den zeitlich begrenzten Wasserfluss entsprechend verlängern. Auch kann bei Ein/Aus-programmierten Kanälen ein automatisches Abschalten nach einer bestimmten Zeit erfolgen. Vergessen z.B. Kinder den elektronisch gesteuerten Wasserhahn wieder abzustellen, tut er es nach einer wählbaren Zeit von selbst. Befinden sich zeitprogrammierte Kanäle in einer Gruppe, kann definiert werden, ob die jeweiligen Aktionen in

gigkeit ihrer Priorität ablaufen sollen. Weitere Eingaben beziehen sich auf die Parameter der Datenübertragung und Datenausgabe. Jedem Kanal kann z.B. ein Zeichen aus einem Wertevorrat zugeordnet werden, das bei Tastenbetätigung seriell über die RS-232-Schnittstelle ausgegeben wird. Beim Hersteller sind auch Programme verfügbar, die eine Matrixauswertung von $4 \times 4 = 16$ oder $8 \times 8 = 64$ virtuellen Tastenfeldern ermöglichen. Durch transparente leitfähige ITO-Schichten (Indium Tinn Oxid, Indium-Zinnoxid) in Glasscheiben können Tastaturen entstehen, die höchsten Hygiene-Ansprüchen genügen und verschleißfrei sind. *hs*



Dipl.-Ing. Erich Dickfeld

studierte an der TU Dresden Informationstechnik und entwickelte von 1970 bis 1989 elektronische Sensorsysteme für den Braunkohle-Bergbau. Im Jahre 1996 konnte er zusammen mit finanzkräftigen Partnern seine Erfindung digitaler kapazitiver Sensoren vermarkten.

Er ist geschäftsführender Gesellschafter der EDISEN-electronic GmbH (Erich Dickfeld Sensoren).