

KAPITEL 1

Einleitung

Bei der Konzeption und dem Betrieb von Meß- und Automatisierungssystemen kommt den Sensoren eine besondere Bedeutung zu, da sie die Verbindungen zu technischen Prozessen herstellen und nichtelektrische Meßgrößen in elektrische Signale umwandeln. Bei dieser Umwandlung bedienen sich die Sensoren eines physikalischen oder chemischen Meßeffectes, der von unerwünschten Stör- oder Einflußeffecten überlagert ist. Ferner unterliegen die Sensoren Langzeiteinflüssen und weisen aufgrund von Material- und Prozeßschwankungen wesentliche Exemplarstreuungen auf [1]. Aus diesen Gründen ist eine Kompensation von Stör- und Einflußeffecten sowie ein Abgleich der Sensorparameter für präzise und äußerst selektive Sensoren einfach unerläßlich. Dazu wird der Sensor während einer sog. Kalibrationsphase mit nichtelektrischen Referenzgrößen beaufschlagt und über Abgleichelemente derart eingestellt, daß die statische Übertragungskennlinie bei bekannten Einflußeffecten innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbandes bleibt. Speziell bei hochpräzisen Sensoren nehmen diese Abgleichmaßnahmen bekanntlich viel Zeit in Anspruch, da sie häufig noch manuell mit zusätzlich schlecht einstellbaren Abgleichelementen erfolgen. Um auf dem derzeitigen Sensormarkt jedoch konkurrenzfähig bleiben zu können, verlangt die Industrie immer leistungsfähigere Produkte bei gleichzeitiger Senkung der dafür entstehenden Kosten. Daraus resultiert unweigerlich die Forderung nach digital und voneinander unabhängig einstellbaren Abgleichelementen, deren Einstellungen zudem noch massiv parallel und automatisiert erfolgen müssen.

Können neben den unerwünschten Stör- oder Einflußeffecten auch nichtlineare Meßeffecte in der Sensorcharakteristik toleriert werden, so bietet sich für eine Vielzahl von Sensoren zudem eine Vereinfachung der Herstellungsprozesse an, die die Fertigungskosten niedrig halten. In vielen Fällen wird überhaupt erst durch die Vereinfachung des Herstellungsprozesses eine monolithische Integration kompletter Sensorsysteme in einer Siliziumtechnologie möglich [2].

In der Industrie gelten jedoch die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit, der Funktionalität, der Zuverlässigkeit und der Sicherheit als Entscheidungskriterien für eine monolithische Integration [3]. Vollständig integrierte Sensorsysteme besitzen ohne Zweifel Vorteile in einer gesteigerten Zuverlässigkeit und einer größeren Störsicherheit, trotzdem sehen derzeitige viele Hersteller in einer gemeinsamen Integration keine gravierenden Vorteile, da die benötigten Test- und Kalibrationskosten neben den Herstellungs- und Entwicklungskosten den Gesamtpreis des Sensorsystems dominieren.

Erst wenn diese Kosten durch sensorspezifische Hardware und entsprechend effizienten Kalibrationsstrategien drastisch gesenkt werden können und zusätzlich die Probleme der Prozeßkompatibilität vollständig gelöst sind, werden monolithische Lösungen für die Industrie wirtschaftlich interessant. Wie auch bei monolithisch integrierten Sensorsystemen führt die Rationalisierung der unumgänglichen Kalibrationsprozeduren bei hybriden Sensorsystemen zu einer ebenfalls deutlichen Reduzierung der Systemkosten. Zur weiteren Senkung der Entwicklungskosten sind zudem flexible Sensorkonzepte notwendig, die lediglich durch geringfügige Modifikationen auf unterschiedlichste, in der Sensorik vorkommende Problemstellungen angepaßt werden können.

Damit der Leser der vorliegenden Arbeit mit der Problematik der nichtidealen Eigenschaften heutiger Sensoren vertraut wird, stellt das nachfolgende zweite Kapitel dieser Arbeit zu Anfang ein vom Ansatz her heuristisches Modell zur Beschreibung des Übertragungs- und Fehlerverhaltens für nahezu beliebige Sensoren vor. Im weiteren Verlauf des Kapitels werden die unterschiedlichsten Realisierungsformen heutiger mikromechanischer Silizium-Drucksensoren vorgestellt. Diese Sensoren eignen sich hervorragend zur Verifizierung der später in dieser Dissertation erarbeiteten Verfahren zur Reduzierung nichtidealer Sensoreigenschaften, da je nach Realisierungsform unterschiedlich stark ausgeprägte Nichtlinearitäten und Querempfindlichkeiten vorhanden sind. Zudem wird den Drucksensoren durch ihren weitgespannten Einsatz in der Prozeßtechnik und der Automobilindustrie - bis weit über das Jahr 2000 hinaus - das größte, weltweite Umsatzvolumen auf dem Sensormarkt vorhergesagt [4,5].

Das dritte Kapitel zeigt zu Anfang, daß zur Korrektur der nichtidealen Sensoreigenschaften im allgemeinen nichtlineare Funktionszusammenhänge benötigt werden. Die zur Korrektur benötigten Funktionen können auf unterschiedlichste Weise zur Verfügung gestellt werden, doch der wohl flexibelste Ansatz ist die Definition über eine endliche Anzahl von Stützstellen durch ihre entsprechenden Funktionswerte. Unbekannte Funktionswerte zwischen den Stützstellen müssen über entsprechend geeignete Approximationsmethoden der numerischen Mathematik berechnet werden. Die Genauigkeit der zu approximierenden Funktion hängt dabei von der Bandbreite der Fouriertransformierten, der Anzahl und Verteilung der Stützstellen, sowie dem verwendeten Approximationsverfahren ab. Aus diesem Grund beschäftigt sich das dritte Kapitel mit den Grundlagen der äußerst komplexen Approximationstheorie und stellt abschließend verschiedene Konzepte für die hardwaremäßige Implementierung der Approximationsverfahren vergleichend gegenüber.

Basierend auf einem geeigneten Approximationskonzept des vorhergehenden Kapitels, das unter ausgewählten Gesichtspunkten am besten abgeschnitten hat, soll im vierten Kapitel ein kennlinienbasiertes Sensorsystem für die Kompensation von Querempfindlichkeiten entwickelt werden. Desweiteren werden die dafür benötigten Systemkomponenten vorgestellt und ausführlich beschrieben. Abschließend werden zwei, in einer CMOS-Technologie realisierte Sensor-

systeme vorgestellt. Bei den Realisierungen handelt es sich um einen monolithisch integrierten Drucksensor auf piezoresistiver Basis und um ein universales Auslese-IC, das für den Aufbau hybrider Sensorsysteme geeignet ist. Abschließend wird auf die Erweiterungsfähigkeit des vorgestellten Sensorsystems auf Kennlinien-Basis eingegangen.

Gegenstand des fünften Kapitels ist die Entwicklung einer effizienten Kalibrationshard- und software, sowie den dazugehörigen Abgleichstrategien zur automatisierten Kalibration und Temperaturkompensation von Druckmeßumformern auf Kennlinien-Basis. Neben dem Systemkonzept zur automatischen Kalibration der Druckmeßumformer wird ein kompletter Kalibrationszyklus mit den dafür notwendigen Abgleichschritten vorgestellt. Die Funktionsweise der Kalibrationshardware inklusive ihrer nichtiterativen Abgleichstrategien werden abschließend anhand einer vollständigen Charakterisierung eines mit der Anlage kalibrierten Druckmeßumformers demonstriert.

Das sechste Kapitel faßt die Arbeiten und erzielten Ergebnisse der hier vorliegenden Dissertation zusammen. Zusätzlich gibt dieses abschließende Kapitel Anregungen für zukünftige Arbeiten, die auf dem vorgestellten Grundkonzept der kennlinienbasierten Sensorsysteme beruhen und sich mit den besonders interessanten aber teilweise noch ungelösten Problemen der Eigensicherheit und der Selbstkalibration von monolithischen sowie hybriden Sensorsystemen befassen.