



SENSOR '82

Transducer-Technik u. Temperaturmessung

Transducer Technology and Temperature Measurement

L71



Konferenzunterlagen / Conference Proceedings

[Band 1 Volume 1]

Mechanische und thermodynamische Messungen Mechanical and Thermodynamic Measurements

Halle 5 · Messegelände Essen · BRD
12. — 14. Januar 1982

Band 1/Volume 1

Mechanische und Thermodynamische Messungen Mechanical and Thermodynamic Measurements

Sitzung 1 / Session 1

Allgemeine Sensor Technologie
General Sensor Technology

Sitzung 2 / Session 2

Messungen von Kräften, Reibung und Beschleunigung
Measurements of Forces, Friction and Acceleration

Sitzung 3 / Session 3

Druckmessungen
Pressure Measurements

Sitzung 4 / Session 4

Feuchte- und Konzentrationsmessungen
Humidity and Concentration Measurements



Bei diesem Band handelt es sich um den ersten aus einer Reihe von drei Bänden, die Vortragsmanuskripte der Konferenz **SENSOR '82** enthalten.

This volume is the first of three covering the proceedings of **SENSOR '82** Conference.

Die Titel der Bände lauten:/The titles of the volumes are:

- Band 1** Mechanische und Thermodynamische Messungen
Mechanical and Thermodynamic Measurements
- Band 2** Temperatur- und Geschwindigkeitsmessungen
Temperature and Velocity Measurements
- Band 3** Meßwertaufnehmer-Entwicklungen und -Anwendungen
Sensor Developments and Applications

Diese Bände sind erhältlich durch:/These volumes may be obtained by contacting:

Network GmbH

An der Friedenseiche 10
D-3050 Wunstorf 2
Telefon (05033) 1056
Telex 924545

Network

Printers Mews, Market Hill
Buckingham MK 18 1JX England
Telefon Buckingham (02802) 5226/5227
Telex 83111

Network © 1982
ISBN 0-9049-9994-7

Band 1: DM 140,-
£ 30,-

Sitzung 1/Session 1

**Allgemeine Sensor Technologie
General Sensor Technology**

Vorsitzender/Session Chairman
F. Durst, Universität Karlsruhe, BRD

Sitzung 1/Session 1 **Allgemeine Sensor Technologie**
General Sensor Technology
Vorsitzender/Session Chairman **F. Durst, Universität Karlsruhe, BRD**

- | | | |
|------------|---|-----------|
| 1.1 | Moderne Ansätze für Problemlösungen auf dem Gebiet der Sensor-Technik
Modern Approaches to Problem Solution in the Field of Sensor Technology
H. R. Tränkler
Hochschule der Bundeswehr München, Fachbereich Elektronik, BRD, Tel. (0 89) 60 04-39 86 | 1 |
| 1.2 | Meßumformer in Hybrid-Modul-Technik
Measuring Transducer using Hybrid Technology
D. Krause
Apparatebau Hundsbach, Baden-Baden, BRD, Tel. (0 72 21) 7 54 04 | 19 |
| 1.3 | Schlüsseltechnologie zur Sensorherstellung
Key Technologies for Sensor Manufacture
G. Tschulena, M. Selders
Battelle-Institut e.V., Frankfurt, BRD, Tel. (06 11) 79 08-22 21 | 28 |

Sitzung 2/Session 2 **Messungen von Kräften, Reibung und Beschleunigung**
Measurements of Forces, Friction and Acceleration
Vorsitzender/Session Chairman **W. Brandt, Dr. W. & H. Brandt GmbH, BRD**

- | | | |
|------------|--|------------|
| 2.1 | Kraft- und Schwingungsmessungen an einem hydroelastischen Schützmodell
Force and Vibration Measurements on a Hydroelastic Gate Model
D. Thang
Universität Karlsruhe, Institut für Hydromechanik, BRD, Tel. (07 21) 6 08-38 96 | 53 |
| 2.2 | Pyroelektrische Nebeneffekte in piezoelektrischen Beschleunigungsmessern
Pyroelectric Side-Effects in Piezoelectric Accelerometers
K. Klaassen
Techn. Hogeschool Delft, Dept. of Engineering, Niederlande, Tel. 015/785 755 | 70 |
| 2.3 | Dynamische Kraftmessungen im μN-Bereich mit Hilfe des piezoresistiven Effektes und Vergleich mit Laser-Doppler-Geschwindigkeitsmessungen
Dynamical Force Measurements in the μ N-Range by Means of Piezo-Resistive Measurements and Comparison with Laser Doppler Velocity Data
P. Hille, N. Köpp
Universität Kiel, Institut für Angewandte Physik, BRD, Tel. (04 31) 8 80-39 38 | 87 |
| 2.4 | Messungen der Kontaktdruckverteilung. Rollenbeanspruchung und Rollen-Torsion beim Kaltwalzen
Measurements of Contact Stress Distribution. Roll Load and Roll Torque during Cold Strip Rolling
F. Al-Salehi
University of Riyadh, College of Engineering, Riyadh, Saudi-Arabien, Telex: 201019 | 98 |
| 2.5 | Messung von Walzkräften und Bandzügen bei der Herstellung von Stahl- oder Metallbändern in Hüttenwerken
Measurements of Rolling and Tensile Forces in the Manufacture of Steel or other Metallic Sheet in Metallurgical Plants
W. Zwintzsch
Dr. W. & H. Brandt GmbH, Bochum, BRD, Tel. (02 34) 49 00 67 | 117 |

Sitzung 3/Session 3**Druckmessungen
Pressure Measurements****Vorsitzender/Session Chairman** J. S. Johnston, Rosemount Engineering, UK

- 3.1 Qualitätsverbesserung an Formteilen durch Werkzeuginnendruckmessung** 132
 Quality Improvements in Moulding by Pressure Measurements in the Mould Cavity
R. Vogelpohl
 Dynisco Geräte GmbH, Heilbronn, BRD, Tel. (0 71 31) 2 34 11
- 3.2 Zur Problematik der Temperaturkompensation bei der Direktmessung aerodynamischer Drücke** 138
 A Contribution to the Temperature Compensation of Directly measured Aerodynamic Pressures
W. Gatzek
 Institut für Aeroelastik der DFVLR-AVA, Göttingen, BRD, Tel. (05 51) 7 09-23 52
- 3.3 Ein digitaler Druckmeßwertaufnehmer** 158
 A Digital Pressure Transducer
S. de Ponte, C. Cardani, A. Baron
 Politecnico di Milano, Istituto di Ingegneria Aerospaziale, Italien, Tel. 02-2361250
- 3.4 Probleme der Druckmessung bei Verbrennungsvorgängen** 167
 Problems of Pressure Measurements in Combustion Processes
G. Hohenberg
 Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU Graz, Österreich, Tel. (00 43) 3 16-7 41 71

Sitzung 4/Session 4**Feuchte- und Konzentrationsmessungen
Humidity and Concentration Measurements****Vorsitzender/Session Chairman** H. Hankins,, U.M.I.S.T., UK

- 4.1 Messung der relativen Feuchte, Gleichgewichtsfeuchte oder Wasseraktivität unter Berücksichtigung besonderer Ansprüche der Anwender** 182
 Measurements of Relative Humidity, Equilibrium Humidity with Special Attention given to Requirements of User Requirements
J. Patschke
 Rotronic AG, Offenbach, BRD, Tel. (06 11) 83 18 85
- 4.2 Schnelle Messungen der Feuchte mittels eines Lyman-Alpha-Hygrometers** 194
 Rapid Measurements of Humidity using the Lyman-Alpha-Hygrometer
A. L. Buck
 National Centre for Atmospheric Research, USA, Tel. 303-497-0668
- 4.3 Messung des gelösten Sauerstoffes in Modellbelebungsanlagen und Korrelation der Ergebnisse mit Strömungsmechanismen und chemischen Parametern** 210
 Measurement of Dissolved Oxygen in Model Aeration Tanks and Correlation with Hydromechanic and Chemical Parameters
A. Richter, F. Nestmann
 Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe, BRD, Tel. (07 21) 6 08-35 33
- 4.4 Entwicklung eines Lichtleiterphotometers zur Konzentrationsmessung in Ein- und Zweiphasen-Strömungen** 229
 Development of a Fibre Optic Photometer for Concentration Measurements in Single-Phase and Two-Phase Flows
B. Barczewski
 Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, BRD, Tel. (07 11) 7 84-4 60 01
- 4.5 Rauchdichte-Meßgerät** 244
 Smoke Density Meter
K. Philips
 Derby Lonsdale College of Higher Education, Derby, UK, Tel. (03 32) 4 71 81, App. 88

1.1 Moderne Ansätze für Problemlösungen auf dem Gebiet der Sensor-Technik

Modern Approaches to Problem Solution in the Field of Sensor Technology

H. R. Tränkler

Hochschule der Bundeswehr München, Fachbereich Elektronik, BRD,
Tel. (089) 6004-3986

Kurzfassung

Ausgehend von den unterschiedlichen Anforderungen (z. B. die Genauigkeit oder Zuverlässigkeit), die in den verschiedenen Anwendungsbereichen an die Sensoren gestellt sind, werden einige heute typische Meßsystemkonfigurationen vorgestellt. Daran schließen sich Überlegungen für die Lösung der zukünftigen Notwendigkeiten im Bereich der Sensortechnik an.

Hohe Reproduzierbarkeit der Meßeffekte wird außer durch die Wahl geeigneter Werkstoffe und Herstellungsverfahren im besonderen durch einfache und prinzipnahe ausgeführte Konstruktionen erreicht. Die Schnittstelle zur elektronischen Signalverarbeitung muß dem Meßort näherrücken.

Streuung der Kennwerte von Sensoren, Nichtlinearitäten der Kennlinie und Einflüsseffekte werden in steigendem Maße durch digitale Signalverarbeitung in Mikrorechnern beherrscht.

Strukturelle Maßnahmen im Signal- und Systembereich führen zu hochwertigen Lösungen mit den erforderlichen statischen

und dynamischen Übertragungseigenschaften und der notwendigen Zuverlässigkeit.

Als wesentliche Gesichtspunkte verbleiben wirtschaftliche - also in großer Stückzahl zu fertigende - Sensoren und Systemeignung durch genormte Schnittstellen im elektrischen und nichtelektrischen Bereich. Es werden Beschränkungen in der Typenvielfalt bei den verschiedenen Herstellern notwendig sein, um ausreichende Stückzahlen zu garantieren. Normungsprobleme müssen pragmatisch angefaßt werden; suboptimale Lösungen sind zweckmäßiger als das Fehlen von Normungen überhaupt.

Schließlich werden einige Lösungsbeispiele für Sensoren aus dem Bereich der Hochschulen vorgestellt: Aufnehmerprinzipien für mechanische Meßgrößen, Einsatz von Mikrorechnern zur Korrektur von statischen Übertragungseigenschaften, störsichere frequenzanaloge Signalübertragung und die Anwendung moderner MSI-Schaltkreise zur Bewältigung der elektronischen Umformungen und Umsetzungen.

1. Die drei Güteklassen bei den gegenwärtigen Sensoren

Nach dem gegenwärtigen Stand lassen sich in der Sensortechnik drei typische Güteklassen unterscheiden:

An die Sensoren für die Konsumgüberteknik wurden bisher die geringsten Anforderungen gestellt. Erhöhte Anforderungen ergeben sich im allgemeinen für die Sensoren in der industriellen Technik. Höchste Anforderungen werden schließlich an Sensoren in der Präzisionsmeßtechnik gestellt.

Eine Übersicht über die typischen charakteristischen Eigenschaften dieser drei Sensorklassen wird in Tabelle 1 gegeben.

In der Zeile "Genauigkeit" sind die zulässigen relativen Fehler von z. B. 2 ... 5 ‰ für Sensoren in der industriellen Technik angegeben. In der Konsumgüberteknik lagen die zulässigen Fehler bisher um etwa eine Größenordnung darüber und in der Präzisionsmeßtechnik ungefähr eine Größenordnung darunter.

Die höchsten Anforderungen an die Zuverlässigkeit werden in der industriellen Technik gestellt.

Jährliche Stückzahl bzw. Stückkosten der Sensoren steigen bzw. sinken von der Präzisionstechnik hin zur Konsumtechnik.

Typische Anwendungen für Sensoren der Klasse der Präzisionstechnik sind Prüf- und Kalibriertechnik. Dort sind digitale Korrekturverfahren für die statischen Übertragungskennlinien und IEC-Bus zur Signalübertragung üblich.

Sensoren der industriellen Technik sind vorwiegend bei verfahrens- und fertigungstechnischen Anwendungen (Produktionstechnik) zu finden. Dort sind häufig noch analoge Korrekturverfahren, z. B. für Einflußgrößen üblich. Schnittstellen-normung ist im Feldbereich eingeführt (20 mA bzw. 10 V). Digitale Bussysteme befinden sich gegenwärtig in der Erprobung.

Sensoren in der	Präzisions- meßtechnik	industriellen Technik	Konsumgüter- technik
Genauigkeit	$\dots 2 \dots 5 \cdot 10^{-4}$	$2 \dots 5 \cdot 10^{-3}$	$2 \dots 5 \cdot 10^{-2}$
Zuverlässigkeit Einsatzzeit (MTBF)	(10^3 h)	$> 10^5 \text{ h}$	10^3 h
Stückzahl pro Jahr	$\dots 10 \dots$	$\dots 300 \dots$	$\dots 10\ 000 \dots$
Kosten pro Stück incl. Elektronik	DM 10 000	DM 300	DM 10
Anwendungs- bereich	Prüftechnik Kalibrier- technik	Verfahrens- technik Fertigungs- technik	Kraftfahr- zeug Haushalt
Korrekturverfah- ren bei Streuung, Linearitätsfehler und bei Einfluß- effekten	digitale Korrektur	analoge Korrektur	<u>ohne</u> Korrektur
Schnittstelle bei der Signal- übertragung	IEC 625/ IEEE 488 - Bus	20 mA, 10 V und div. dig. Bussysteme	<u>fehlt</u>

Tabelle 1: Eigenschaften verschiedener Sensorklassen

Kraftfahrzeuge und private Haushalte sind Hauptanwendungsgebiete für Sensoren der Konsumgüterindustrie. Billige Sensoren, häufig auch unter Vermeidung der elektrischen Signalform, waren bisher kennzeichnend. Korrekturverfahren und Schnittstellenstandardisierung waren also kaum möglich.

Die drei heute typischen Meßsystemkonfigurationen sind in Bild 1 dargestellt.

2. Der "neue Bedarf" an Sensoren

Zwei Gründe sind für den neuen Bedarf an Sensoren ausschlaggebend: Zunächst ist die industrialisierte Welt zu der Erkenntnis gezwungen worden, daß es auch aus wirtschaftlichen Gründen immer notwendiger werden wird, mit Rohstoffen und Energie sparsam umzugehen. Dazu müssen alle rohstoff- und/oder energieintensiven technischen Prozesse in Industrie und im privaten Bereich durch entsprechende Maßnahmen geführt und optimiert werden. Im besonderen ist hier der Betrieb von Kfz-Motoren und von Heizungsanlagen zu nennen.

Außerdem bietet die moderne Halbleitertechnologie heute preisgünstige Mikroprozessoren und Speicherbauelemente an, die eine dezentrale digitale Signalverarbeitung erlauben. Eine umfassende Anwendung dieser Mikrorechner setzt jedoch die Informationen über die notwendigen Prozeßmeßgrößen voraus.

Aus beiden Gründen resultiert ein neuer Bedarf an Sensoren. Nur teilweise kann dieser Bedarf durch die heute verfügbaren Sensoren abgedeckt werden. Besonders im Bereich der Konsumgüterindustrie werden häufig bessere und billigere Sensoren benötigt. Die erwarteten hohen Stückzahlen helfen natürlich diesem Ziel näher zu kommen, sind aber ohne zusätzliche Maßnahmen allein nicht ausreichend.

Hohe Qualität von Sensoren zu niedrigen Preisen kann mit folgenden Maßnahmen erreicht werden:

- ausgewählte Werkstoffe und Herstellungsverfahren
- einfache Konstruktionsprinzipien
- Integration der Elektronik mit dem Sensor
- geeignete Signalstrukturen
- Normung der Schnittstellen im elektrischen und nichtelektrischen Signalbereich
- digitale Signalverarbeitung (z. B. Kennlinienkorrektur) über Mikrorechner
- geeignete Systemstrukturen
- hohe Stückzahl durch Beschränkung der Typenvielfalt.

3. Werkstoffe, Konstruktion und Fertigung

Werkstoffauswahl, Konstruktionsprinzip und Herstellungsverfahren haben einen bedeutenden Einfluß auf die Eigenschaften des Sensors.

Gegenwärtig wird in der Halbleitertechnologie Silizium als Sensorwerkstoff favorisiert, weil einige Großfirmen umfangreiche Erfahrungen in der Herstellung von elektronischen Schaltkreisen gesammelt haben, und sich diese Erfahrungen teilweise auf die Sensorherstellung übertragen lassen. Außerdem sind kapitalintensive Fertigungseinrichtungen vorhanden. Die ersten Sensoren auf Siliziumbasis waren Drucksensoren mit hysteresearmer Siliziummembran und piezoresistiven Dehnungsmeßstreifen. Danach sind Silizium-Widerstandsthermometer zu nennen, die sich als Meßeffect des Ausbreitungswiderstandes bedienten, weil gegenüber anderen Konstruktionen die Streuung der erhaltenen Widerstandswerte leichter zu beherrschen war.

Nachteile der Siliziumtechnologie sind die prinzipielle obere Temperaturgrenze, die bei etwa 150°C liegt und die Notwendigkeit der Kompensation des Temperatureinflusses, wenn nicht gerade die Temperatur die Meßgröße ist.

Eine Verminderung des Temperatureinflusses auf Hallempfindlichkeit und Innenwiderstand um etwa den Faktor 50 ist bei Hall-Effekt-Positionssensoren aus Ionen-implantiertem GaAs gegenüber InSb- und InAs-Hallgeneratoren im Temperaturbereich bis 150°C erreicht worden [1]. Galliumarsenid bietet sich möglicherweise auch als Werkstoff für andere Sensoranwendungen wegen seines günstigen Temperaturverhaltens und für Anwendungen bei Temperaturen über 150°C an.

Neben den Halbleitertechnologien können für die Herstellung von Sensoren die Dünnschichttechnologie (z. B. für Dehnungsmeßstreifen oder Platin-Widerstandsthermometer), die Folien-Schicht-Technologie (Kunststoffträger mit Metallaufdampfung), die Dickfilmtechnologie und die Glasfasertechnologie verwendet werden [2, 3].

In jedem Fall ist zur Erzielung einer hohen Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit des Meßeffektes auf einfache und prinzipnahe Konstruktionen zu achten [4]. Exemplarstreuungen, Nichtlinearitäten und teilweise sogar Temperatureinflüsse können bewußt in Kauf genommen werden. Ein Mikrorechner übernimmt in Verbindung mit einem preisgünstigen Temperatursensor die Korrektur der individuellen Kennlinie und des Temperatureinflusses. Die Korrekturkoeffizienten werden im Anschluß an den Herstellungsprozeß einmal ermittelt.

Beispiele für derartige prinzipnahe Konstruktionen können Feldplattensensoren für Winkel und Weg, induktive Flächensensoren im Zusammenhang mit der Messung mechanischer Größen oder ein Durchflußsensor mit Umlaufkugel sein.

4. Auswahl der Signal- und Systemstrukturen

Zur digitalen Weiterverarbeitung der analog anfallenden Meßsignale muß im oder außerhalb des Sensors die Analog-Digital-Umsetzung dieser Meßsignale erfolgen. Neben dieser A-D-Umsetzung ist eine eventuell notwendige Signalübertragung für

die Auswahl der sinnvollen Signalstruktur maßgebend. Besonders störsicher lassen sich digitale oder frequenzanaloge Meßsignale übertragen. Wegen der außerdem erforderlichen A-D-Umsetzung ist es also angezeigt, diese möglichst nahe an den Meßort zu legen. Digitale Signale werden, wenn keine dynamischen Einschränkungen vorliegen, bit- und byteseriell übertragen. Damit ergibt sich zwangsläufig ein bestimmter Organisationsaufwand.

Bei der Verwendung frequenzanaloger Signale werden diese im Sensor ohne den Umweg über Amplitudensignale direkt erzeugt. Es eignen sich dafür verschiedene Oszillatorschaltungen, bei denen die Meßgröße die Frequenz steuert [5]. Die Digitalumsetzung von Frequenzsignalen ist mit einfachen digitalen Schaltkreisen möglich. Die Verwendung von Frequenzsignalen ist zu empfehlen, solange Sternstruktur vorliegt. Ein frequenzmultiplexer Betrieb erscheint auch heute noch relativ aufwendig.

Diese Überlegungen führen zu Meßsystemen, bei denen die frequenzanaloge Signalstruktur möglichst früh gebildet und möglichst spät, spätestens aber am Sternpunkt, verlassen wird (Bild 2). Anschließend wird direkt auf die Mikroprozessor-Sammelleitung übergegangen. Sicherlich sind dabei auch Einschränkungen zu beachten. Die Palette der möglichen Anwendungen scheint jedoch wesentlich größer als bisher allgemein angenommen wurde.

Bei der Wahl der geeigneten Systemstruktur ist zu beachten, daß möglichst ohne Umweg, also in Kettenstruktur, die notwendigen Umformungen und Umsetzungen stattfinden. Die anderen beiden Grundstrukturen, nämlich die Parallelstruktur und die Kreisstruktur, sind nur anzuwenden, wenn sich damit wesentliche Vorteile ergeben.

Bei der Parallelstruktur könnte das zukünftig weniger der Effekt der Linearisierung als eher die erreichbare Gleichtaktunterdrückung bei vorhandenen Einflußgrößen sein. Auch

dieser Vorteil wird jedoch möglicherweise durch konsequente Messung und Einbeziehung der Einflußgrößen auf wirtschaftliche Weise erzielt.

Die Kreisstruktur wird teilweise noch bei der analogen Sensorsignalverstärkung in Form der Gegenkopplung benötigt werden. Die Kompensation der nichtelektrischen Größe, wie z. B. bei Druckmeßumformern und bei Waagen (industrielle Technik) wird künftig jedoch in steigendem Maße durch qualitativ hochstehende Ausschlagverfahren (Kettenstruktur) ersetzt werden.

Über diese Grundstrukturen hinaus werden flexible Systemstrukturen bei schwierigen Meßproblemen notwendig. An dieser Stelle setzt zweckmäßigerweise dann aber die digitale Signalverarbeitung ein.

5. Intelligente Sensortechnik

Durch eine dezentrale Einbeziehung von Mikrorechnern in die Sensortechnik können die erhaltenen Eigenschaften verbessert werden, teilweise sind sogar Qualitätssprünge möglich. So lassen sich durch geeignete Verfahren die statischen oder die dynamischen Übertragungseigenschaften oder die Zuverlässigkeit verbessern.

Im einfachsten Fall wird die herstellungsbedingte Streuung von Nullpunkt und Steilheit der Sensorkennlinie durch Skalierung ausgeglichen. Dazu ist lediglich eine Multiplikation und eine Addition im Rechner notwendig.

Linearitätsfehler können durch Multiplikation mit der inversen Kennlinienfunktion eliminiert werden. Die Kennlinie wird dabei entweder punktweise oder durch Geradenstücke oder durch Polynome oder neuerdings durch kubische Splinepolynome approximiert. Bei veränderlichen Kenngrößen eines Sensors aufgrund von Einflußgrößen oder von Alterungserscheinungen

sind Korrekturverfahren mit Anpassungscharakter möglich [6]. Dazu sind allerdings zwei oder drei Stützwerte notwendig, mit denen der Sensor in regelmäßigen Abständen kalibriert wird. Ist der prinzipielle Kennlinienverlauf bekannt, so sind mit wenigen Stützwerten sehr genaue Approximationen möglich (Bild 3).

Hochlineare Halbleiter-Temperatursensoren sind durch entsprechende Auswertung der bei zwei verschiedenen Kollektorströmen I_{C1} und I_{C2} erhaltenen Basis-Emitter-Spannungen U_{BE1} und U_{BE2} eines Transistors (für $U_{CB} = 0$) möglich [7]. Während die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} selbst nichtlinear von der Temperatur T abhängt, ergibt sich für die Basis-Emitter-Spannungsänderung ΔU_{BE} lineare Abhängigkeit von der Temperatur T .

$$U_{BE} = \Delta E + \frac{k \cdot T}{q} \ln \frac{I_C}{\alpha T^n}$$

$$\Delta U_{BE} = \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{I_{C2}}{I_{C1}}$$

Außerdem ist ΔU_{BE} unabhängig vom Bandabstand ΔE , von der Geometriekonstante α und von der Größe n , die die Temperaturabhängigkeit der Diffusionskonstante angibt. Es verbleiben die Boltzmannkonstante k und die Elementarladung q .

Für die dynamische Korrektur von Sensorsignalen ist die Kenntnis der dynamischen Kenngrößen des Sensors notwendig. Bei Temperatursensoren, deren Zeitverhalten sich näherungsweise durch ein System 1. Ordnung beschreiben läßt, muß zum unkorrigierten Ausgangssignal das mit der Zeitkonstanten bewertete differenzierte Ausgangssignal addiert werden. Die Güte dieses Korrekturverfahrens ist durch die dem Ausgangssignal überlagerten Rauschanteile wegen der notwendigen Differentiation begrenzt.

Darüber hinaus ist mit den Mitteln der Meßsignalverarbeitung im oder am Sensor eine Erhöhung der Zuverlässigkeit möglich, wenn mit Selbstüberwachungsmaßnahmen im On-Line-Betrieb durch Auswertung der Sensorsignale (mit und ohne Aufschaltung von Prüfsignalen) die Funktionsfähigkeit eines Sensors oder der Ausfall eines Sensors fortlaufend signalisiert wird.

Intelligenz im Sensor ermöglicht künftig eine wesentlich bessere Trennung der Meßgröße von störenden Einflußgrößen. Bei der Bestimmung des Treibstoffdurchflusses Q im Kraftfahrzeug besteht ein großer Bedarf an preiswerten Durchflusssensoren, die ohne bewegte Teile arbeiten und mittlere Genauigkeitsansprüche erfüllen. Gegenwärtig werden Sensoren erprobt, die aus den Temperaturmeßwerten T_1 und T_2 vor und nach einer beheizten Zone in der Flüssigkeitsströmung den Massendurchfluß ermitteln sollen.

Einfache Verknüpfungen, z. B. Differenzbildung der beiden Temperaturen, ergeben eine nichtlineare Abhängigkeit vom interessierenden Durchfluß. Außerdem ist die Umgebungstemperatur T_u Einflußgröße und unterliegt besonders in Kraftfahrzeugen starken Schwankungen. Mit Hilfe der digitalen Meßsignalverarbeitung läßt sich aus dem Gleichungssystem bei bekannten Temperaturen T_1 und T_2

$$T_1 = f(Q, T_u)$$

$$T_2 = g(Q, T_u)$$

der interessierende Durchfluß berechnen. Möglicherweise hilft auch die Einbeziehung der Umgebungstemperatur, die dann ebenfalls miterfaßt würde.

6. Integration und Standardisierung

Vom Standpunkt der Kosteneinsparung sind möglichst wenige, aber leistungsfähige Sensoren zu realisieren, die durch genormte Schnittstellen Systemeignung besitzen.

Gegenwärtig wird angenommen, daß der prinzipielle Trend zum Ein-Chip-Sensor verläuft, der neben der analogen Signalaufbereitung den Analog-Digital-Umsetzer und den Mikrorechner enthält. Dieser vollständigen Integration sind schon aufgrund teilweise extremer Umgebungsbedingungen Grenzen gesetzt.

Analoge Schnittstellen (z. B. 1 V), wie in der industriellen Technik im Feldebereich heute noch üblich, verlagern das Problem der Digitalumsetzung und Meßwertverarbeitung aber z. B. in den "analogen" Prozessor der die entsprechenden Umsetzer am Ein- und Ausgang enthält.

Die Verwendung von Frequenzsignalen am Sensorausgang beläßt im externen Prozessor nur einen minimalen Hybridanteil, nämlich den der Impulsformung. Als Vorteile ergeben sich, daß eine Signalübertragung über Wechselstromkanäle möglich ist, die galvanische Trennung über Optokoppler oder Übertrager sehr einfach wird und durch Verlängerung der Digitalumsetzungszeit auch hohe Genauigkeitsansprüche erfüllt werden können.

Eine rein digitale Schnittstelle am Sensorgang ist z. B. bei direkt digitalen Sensoren (Codierscheiben u. ä.) wünschenswert und auch vom Prinzip her möglich. Gegenwärtig ist jedoch noch ungewiß, ob die Verlängerung der Bus-Line bis in den "Feldebereich" lohnend ist.

Möglicherweise ist aber bald der Zeitpunkt gekommen, um Frequenzsignale als Schnittstelle zwischen nichtintelligenten Sensoren und zugeordneten Frequenzsignalprozessoren zu standardisieren.

Noch schwieriger zu verifizieren sind Schnittstellennormungen im nichtelektrischen Signalbereich, also am Sensoreingang. Dies betrifft sowohl die Meßbereiche als auch die Einleitung der verschiedenen nichtelektrischen Meßgrößen. Für Meßgrößen wie Temperatur, Druck, Durchfluß oder Füllstand läßt sich