



Analog - Digitale  
Mikromechanische  
Sensorsysteme

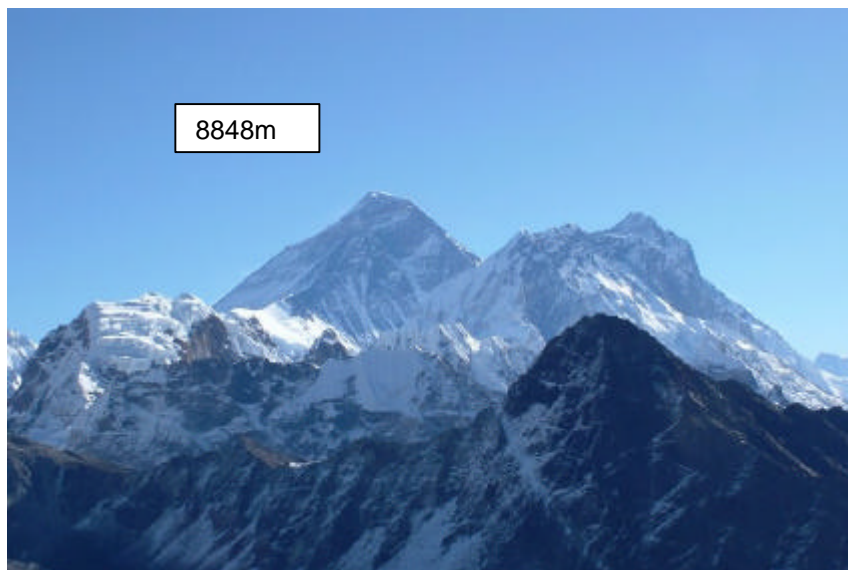
# Die 24 bit-Revolution in der Drucksensorik

## Sensormodul MS5607 mit digitalem Interface

### Praktische Anwendung: Höhenmessung

**Präzise Höhenmessung lässt sich mit verschiedenen physikalischen Methoden realisieren. Dazu gehören optische (Lasermessgeräte), elektronische (Mikrowellendetektoren) und barometrische Verfahren. Wie mit einem (ultra)miniaturisierten Drucksensor auf Siliziumbasis (MS5607) die Höhe mit einer beeindruckenden Auflösung des barometrischen Druckes gemessen werden kann, ist Inhalt des nachstehenden Artikels.**

Der Begriff: atmosphärischer Druck ist eine ortsabhängige Größe und beschreibt den Druck, der durch das Gewicht der Luftschicht, die die Erde umgibt, am jeweiligen Ort erzeugt wird. Da die Luft ein kompressibles Medium ist, muß die atmosphärische Umgebung zur Erdoberfläche hin dichter sein und damit die Luftsäule schwerer als in umgekehrter Richtung. Folglich nimmt der Luftdruck ab Meereshöhe (Normal-Null) bei 1013mbar mit wachsender Höhe ab. Von Meereshöhe aus gemessen ändert sich der atmosphärische Druck mit näherungsweise 1mbar/8m. Näherungsweise, weil durch die Kompressibilität der Luft ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Luftdruck und Höhe existiert. So liegt z.B. am Gipfel des Mount-Everest mit 8848m über Normal-Null der Luftdruck bei 310mbar. Unter barometrischem Druck versteht man die Überlagerung des ortabhängigen atmosphärischen Druck mit dem durch die Wetterlage bestimmten Druckeinfluss. Bei Kenntnis des barometrischen Druckes (barometrische Höhenformel) kann der funktionale Zusammenhang zwischen Höhe und Luftdruck zur Höhenbestimmung verwendet werden.



**Abbildung 1: Mount Everest Massiv mit Gipfel**

Kremke, „Everest“, CC-Lizenz (BY2.0)  
<http://creativecommons.org/by/2.0/de/deed.de> Quelle: www.pics.de

### Drucksensor als Höhenmesser

Die meisten kommerziell erhältlichen Höhenmesser auf der Basis von Absolutdrucksensoren haben einen Anzeigebereich von -100 bis 4000, 5000 oder 9000 Meter bei einer Auflösung von einigen Metern und sind daher nicht als sonderlich präzise zu bezeichnen. Sofern diese Sensoren eine digitale Signalauswertung beinhalten, arbeiten sie meistens auf der Basis eines 14 bit ADC. 14 bit ADC heißt nicht automatisch, dass das Signal mit 14 bit aufgelöst werden kann. In Abhängigkeit von der Signalspanne, vom Offset und von der Signalauswerteelektronik stehen gegebenenfalls 10 bis 12 bit für die Signalauflösung zur Verfügung. Eine bessere Auflösung war bisher nur mit komplexen Druckmesssystemen und mit größerem Kostenaufwand zu erreichen.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Auflösung nicht mit Genauigkeit verwechselt werden darf, müssen bei einem zuverlässigen Höhenmesser, der auch zur Bestimmung der absoluten Höhe benutzt werden soll, Kalibrationsgenauigkeit und Offsetdrift sowie bei wechselnden Temperaturen Temperaturgang in Offset und im Spannsignal in der Qualitätsbeurteilung mit betrachtet werden. Weitere wichtige praxisrelevante Faktoren sind darüber hinaus bei mobilen Systemen die Eigenstromaufnahme und die Baugröße. Für



Analog - Digitale  
Mikromechanische  
Sensorsysteme

# Die 24 bit Revolution in der Drucksensorik

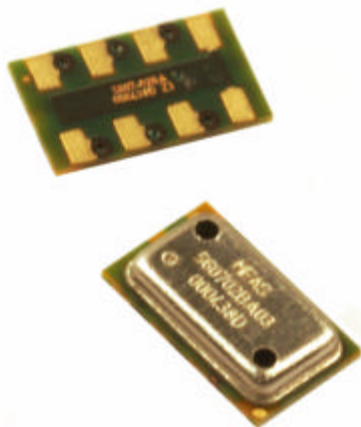
## Sensormodul MS5607 mit digitalem Interface

### Praktische Anwendung: Höhenmessung

die industrialisierte Produktion kommt zusätzlich die Forderung nach einem günstigem Preis/Leistungsverhältnis hinzu.

#### Absolutdrucksensor MS5607

Der Absolutdrucksensor MS5607 basiert auf modernsten Halbleiter-Technologien. Kernstück des Sensors ist eine Siliziummeßzelle, die nach dem piezoresistiven Prinzip arbeitet. Sie hat als druckempfindliches Element eine dünne Membrane, die anisotrop aus dem Siliziumkörper ausgeätzt wird. An geeigneten Stellen sind lokal Fremdatome in den Siliziumkristall eindiffundiert, so daß Zonen mit geänderter Leitfähigkeit entstehen, die elektrisch als Widerstände in Erscheinung treten. Sobald der Druck auf die Meßzelle einwirkt, deformiert sich die dünne Siliziummembran. Durch die auftretenden inneren Kräfte wird die molekulare Struktur des Kristalls reversibel verändert. Insbesondere in den Widerstandsgebieten finden im Kristallgitter starke Potentialverschiebungen statt, die zu einer meßbaren Änderung der elektrischen Werte führen (Piezoeffekt). Diese Widerstände sind zu einer Messbrücke geschaltet, so daß man bei Strom- oder Spannungseinprägung eine druckabhängige, elektrische Spannung erhält.



Die piezoresistive Siliziummesszelle ist auf einer Platine aufgebracht und mit einem Gelauftrag geschützt. Sie ist wie auch das ASIC (Signalauswertung) durch dünne Golddrähte mit den Löt pads der Platine elektrisch verbunden (Siehe *Abbildung 2* oben). Der Aufbau ist so gestaltet, dass die Verwendung von Standard-SMD-Equipment mit Pick& Place-Automaten und die Lötung des Drucksensormoduls per Reflow bzw. Gasphase möglich sind.

Messzelle und ASIC sind durch eine Metallkappe aus Inox gegen Berührung und Schmutz geschützt. Die äußeren Abmessungen des Sensormoduls betragen: 5,0x3,0x1,0mm<sup>3</sup>.

**Abbildung 2.** Drucksensormodul MS5607

#### Signalauswerteschaltung

Neben der Messzelle befindet sich eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), welche prinzipiell die Funktion eines 24bit-Präzisions-ADC erfüllt. Dieses ASIC dient zur Signalaufnahme und wandelt die analogen Signale der Meßzelle für Druck und Temperatur in digitale Werte um. Das ASIC (*Abbildung 3*) besteht aus einem Multiplexer, einem programmierbaren Verstärker, einem 24bit-Sigma-Delta-A/D-Wandler, einem EPROM und einem Digitalausgang mit SPI- und I<sup>2</sup>C-Interface.

Eine spezielle Ansteuertechnik (getakteter Versorgung) erlaubt den Betrieb des Sensors mit sehr geringer Leistungsaufnahme. Dadurch wird die empfindliche Sensormesszelle nicht nennenswert erwärmt, was eine hervorragende Stabilität des Ausgangssignals zur Folge hat.

Der Wandler misst neben der Ausgangsspannung der Messzelle auch den temperatur abhängigen Brückenwiderstand. Dieses Signal wird zur Kompensation des temperaturabhängigen Drucksignals verwendet und erlaubt die Funktion eines sehr hoch auflösenden Thermometers. Durch die Verwendung des Brückenwiderstandes zur direkten Temperaturmessung (keine unnötigen Temperaturgradienten zwischen Messzelle und Temperatursensor) zeigt die Kompensationsmethode des Sensors auch bei starken Temperaturwechseln ihre Leistungsfähigkeit.



Analog - Digitale  
Mikromechanische  
Sensorsysteme

# Die 24 bit Revolution in der Drucksensorik

## Sensormodul MS5607 mit digitalem Interface

### Praktische Anwendung: Höhenmessung

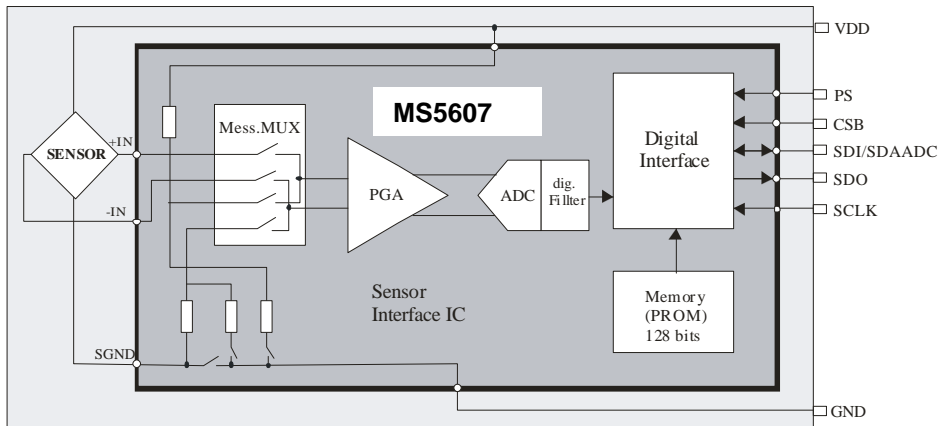


Abbildung 2: Prinzipschaltung des C-MOS- ASIC im MS5607

Der 24bit-Sigma-Delta-A/D-Wandler ist auf eine gute Linearität und geringes Rauschen über den gesamten Betriebsspannungs- und Temperaturbereich optimiert. Dadurch sind hochauflösende Höhenmesser mit 20cm Auflösung ohne spezielle programmtechnische Kniffe einfach realisierbar. Bei Mittelung kann sogar eine Auflösung von wenigen Zentimeter erreicht werden.

### Korrektur „On Chip“

Das ASIC bildet mit der SPI oder I<sup>2</sup>C- Interface die Schnittstelle zwischen der piezoresistiven Druckmesszelle und einem externen Controller. Dieser wird dazu verwendet, um aus den Messwerten der Zelle und den gespeicherten Korrekturgrößen mit einem einfachen Algorithmus die korrigierten Druck- und Temperaturmesswert zu ermitteln.

Dazu werden die Korrekturkoeffizienten während der Herstellung im internen 128 bit EPROM gespeichert. Abweichungen von der idealen Übertragungsfunktion, bedingt durch Herstellungstoleranzen, wie Nullpunktverschiebung, Empfindlichkeitsstreuung, Nichtlinearitäten sowie die IC internen Toleranzen werden bei definierten Druck- und Temperaturbedingungen individuell gemessen und in die Korrekturwerte umgerechnet.

Im Betrieb werden nach dem Power-On-Reset diese Korrekturdaten des Sensors automatisch aus dem EPROM gelesen. Anschließend werden in einer Schleife abwechselnd der nicht kompensierte Druck- und der Temperaturwert an dem Ausgang bereitgestellt. Eine einfache Rechnung mit nur einer Multiplikation errechnet im externen Prozessor den korrigierten Druckwert und die Temperatur.

Die Möglichkeit, den Sensor auf der Grundlage interner individueller Korrekturdaten und mit Hilfe eines externen einfachen Prozessors mit einer Drei-Draht-Schnittstelle (SPI) oder einer Zwei-Draht-Schnittstelle (I<sup>2</sup>C) kalibrieren und kompensieren zu können, erlaubt dem Benutzer ein Maximum an Flexibilität in seiner Sys-

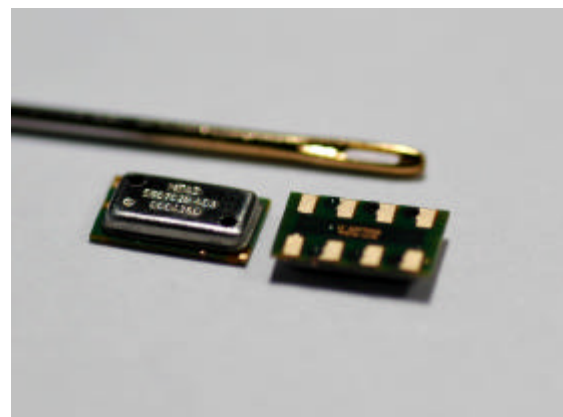


Abbildung 3: Drucksensor MS5607 im Vergleich mit einer Nähnadel



Analog - Digitale  
Mikromechanische  
Sensorsysteme

# Die 24 bit Revolution in der Drucksensorik

## Sensormodul MS5607 mit digitalem Interface

### Praktische Anwendung: Höhenmessung

temarchitektur. Von besonderem Interesse ist der Sensor daher für die Anwendungen, die aus Gründen des übergeordneten Systems bereits einen Prozessor voraussetzen.

#### Genauigkeit und Stromverbrauch

Der neue Drucksensor MS5607 erzielt im Bereich von 10 bis 1200mbar eine Auflösung des Drucksignals von 0,024mbar, was einer Höhenauflösung von ca. 20cm entspricht. Die totale Messgenauigkeit, die eher bei stationären Absolutdruckmessungen eine Rolle spielt, entspricht 0,2%FS im Bereich von -20 bis 85°C.

Zusätzlich zur Druckbestimmung erlaubt das Sensormodul eine Temperaturmessung mit einer Auflösung von 0,01°C.

Die Verwendung des MS5607 als Höhenmesser in einer Digitaluhr demonstriert sehr gut die Möglichkeiten des Drucksensors. Bei einer Druckmessung pro Sekunde liegt der mittlere Stromverbrauch bei 0,9µA. Im Stand-By-Modus liegt der Stromverbrauch bei 0,02µA. Sogar mit einer sehr kleinen CR1215 (3V/36mAh) Lithium-Knopfzelle kommt man auf eine Batterielebensdauer von mehreren Jahren.

#### Baugröße

Der komplette Drucksensor wird als QFN-Version mit Metallkappe (5,0x3,0x1,0mm<sup>3</sup>) geliefert und hat damit Abmessungen, die selbst für Uhranwendungen geeignet sind. Besonderer Vorteil am neuen Sensormodul ist die Tatsache, dass keine externen Bauelemente (z.B. Oszillator) benötigt werden.

#### Preise

Der MS5607 wurde für hohe Produktionsvolumina konzipiert und die Produktion dementsprechend optimiert. Aus diesem Grunde kann dieses Sensormodul zu Preisen angeboten werden, die den Materialkosten vergleichbarer Sensoren entsprechen, also ein echtes Low-Cost-Produkt.

Hohe Auflösung, geringer Fehler, minimal Stromaufnahme, kleine Bauform und geringer Stückpreis, all diese Eigenschaften vereint der neue 24bit-Drucksensor MS5607 der Firma MEAS Switzerland S.A. (Verkauf durch AMSYS, Mainz). Der (ultra)miniaturisierte Absolutdrucksensor ist als digitaler Höhenmesser für mobile Anwendungen konzipiert. Er eignet sich darüber hinaus für weitere mobile Anwendungen z.B. in Personen-navigations- und in Suchgeräten (bei Lawinenunglücken) sowie zur Personenpositionsüberwachung (in der Medizin und im Rettungswesen).

Selbstverständlich kann der MS5607 in allen Anwendungen eingesetzt werden, die eine Absolutdruckmessung bis 1,2 bar erfordern

#### Zusammenfassung

*Moderne Siliziumdrucksensoren haben fast vollständig die traditionelle mechanische Membrandruckdose verdrängt. Die moderne Mikrostrukturtechnik (MEMS) zusammen mit der integrierten elektronischen Signalbearbeitung (ASIC) hat mittlerweile ein Niveau erreicht, das Präzisionsanforderungen bis 24 bit ermöglicht. Am Beispiel des barometrischen Drucksensors ME5607 in der Funktion eines Höhenmessers, wurde dies im vorhergehenden Artikel erläutert.*

*Die neuste Messung der Höhe des Mount Everest wurde im Mai 2005 von einer chinesischen Expedition durchgeführt. Sie ergab für den Gipfel eine Höhe von 8844,43 Meter bei einer Ungenauigkeit von ±2 Zentimeter. Eingesetzt wurden Radardetektoren, Lasermessgeräte und ein Satellitenortungssystem. Mit dem neuen MS5607 hätte man mit einer genaueren Höhenformel die Höhe theoretisch auch auf < ±20 Zentimeter ermitteln können.*