

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

---

## 1 EINFÜHRUNG

### 1.1 Digitale Drucksensoren

Die digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie nutzen einen internen ASIC zur Kalibrierung, Temperaturkompensation und Ausgabe eines fehlerkorrigierten digitalen Ausgangssignals. Bei der HCE-Serie steht zusätzlich ein analoges Ausgangssignal zur Verfügung. Die Reaktionszeit der Sensoren ist abhängig von der eingestellten Auflösung und beträgt bei 12 Bit typisch 0,5 ms.

Die HME- und HCE-Sensoren sind für die SPI-Bus-Kommunikation konfiguriert.

### 1.2 Serial Peripheral Interface (SPI)

Das Serial Peripheral Interface (SPI) ist ein Bus-System zur synchronen, seriellen Datenübertragung zwischen einem Master und einem oder mehreren Slaves (theoretisch sind beliebig viele Slaves möglich). Die Übertragung funktioniert im Vollduplex, d.h. die Daten fließen in beide Richtungen gleichzeitig. Der Master erzeugt Takt- und Steuersignale und startet eine Datenübertragung indem er einen Slave auswählt. Jeder Slave wird vom Master über eine eigene Leitung (Slave Select) angesprochen und ist nur aktiv wenn er ausgewählt wurde.

Der SPI-Bus besteht aus zwei Signal- und zwei Datenleitungen:

- Slave Select ( $\overline{SS}$ )
- Signal Clock (SCK)
- Master Out - Slave In (MOSI)
- Master In - Slave Out (MISO)

Alle Leitungen sind unidirektional.

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

## 2 BUS-AUFBAU

### 2.1 SCK (Signal Clock)

Der Takt wird vom Master erzeugt und dient dazu, alle angeschlossenen Geräte zu synchronisieren.

### 2.2 $\overline{SS}$ (Slave Select)

Jeder Slave wird vom Master über eine eigene Slave-Select-Leitung angesprochen. Der Master wählt einen bestimmten Slave aus, indem er die entsprechende Slave-Select-Leitung auf Masse (LOW) zieht. Die mögliche Anzahl von Slaves innerhalb eines Bus-Systems ist nur durch die Anzahl der Slave-Select-Anschlüsse am Master begrenzt.

### 2.3 MOSI (Master Out - Slave In)

Auf der MOSI-Leitung überträgt der Master Daten zum Slave.

### 2.4 MISO (Master In - Slave Out)

Auf der MISO-Leitung überträgt der Slave Daten zum Master.

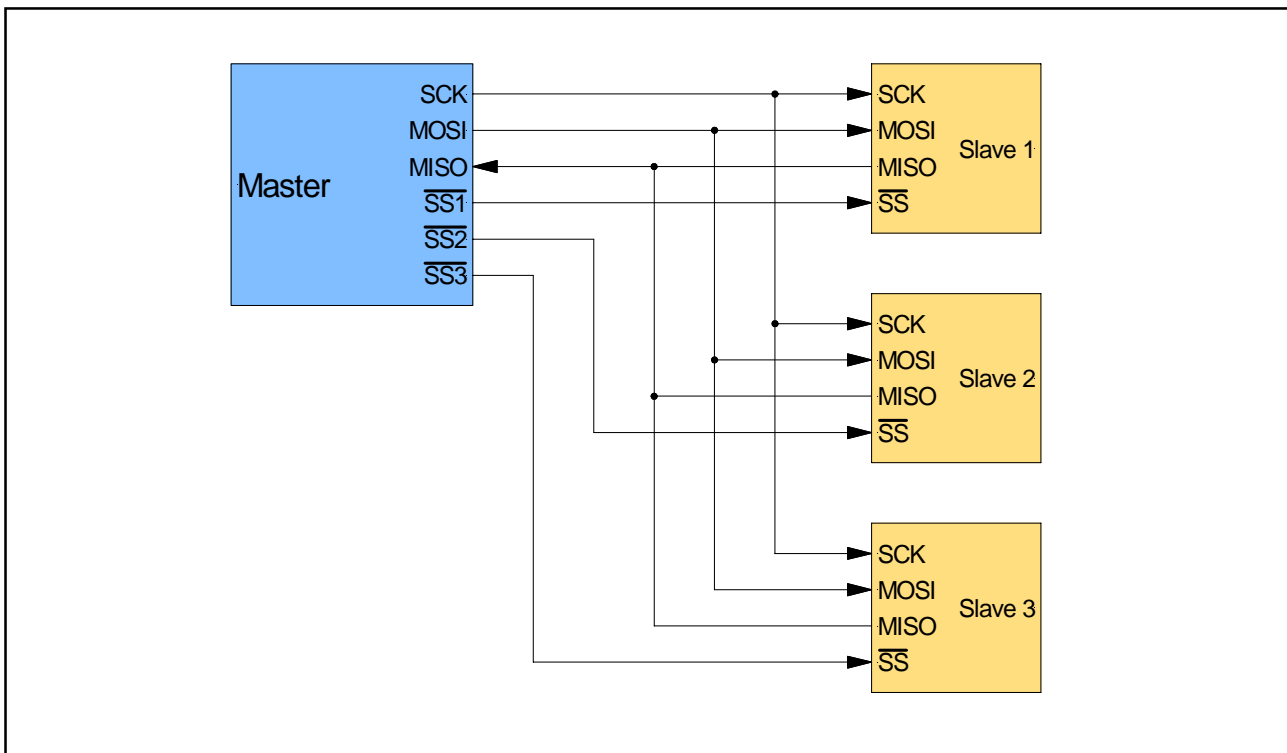


Bild 1: Beispiel eines SPI-Bus-Aufbaus mit einem Master und mehreren Slaves

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

## 3 SPI-BUS-PROTOKOLL

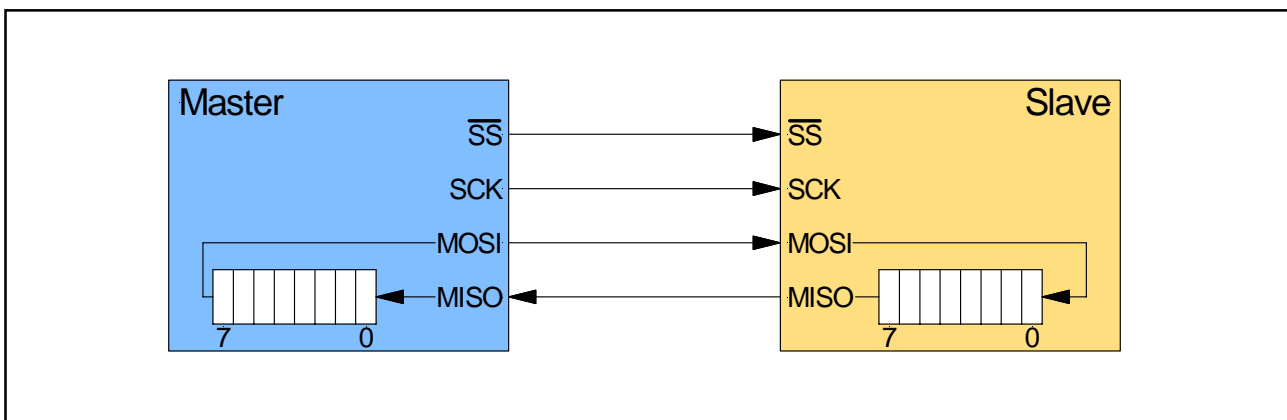
### 3.1 Datenübertragung

Zu Beginn einer Datenübertragung wählt der Master einen bestimmten Slave aus, indem er die entsprechende Slave-Select-Leitung auf Masse (LOW) zieht. Daraufhin schreibt der Master seine Daten in ein Ausgaberegister und beginnt nach einer kurzen Verzögerungszeit mit dem Senden des Taktsignals (siehe 4.5 Zeitbedingungen).

Der Datentransfer findet im Vollduplex über Schieberegister im Master und im Slave statt. Mit jedem Taktimpuls schiebt der Master einen Wert auf der MOSI-Leitung zum Slave während der Slave gleichzeitig einen Wert auf der MISO-Leitung zum Master überträgt (siehe Bild 2). Die Datenübertragung endet, sobald die Slave-Select-Leitung wieder auf HIGH gesetzt wird.

**HINWEIS:**

**Für die HME- und HCE-Drucksensoren entfällt die Notwendigkeit einer MOSI-Leitung, da keine Daten zum Sensor übertragen werden müssen. Daher macht es für einige Anwendungen Sinn, den MOSI-Eingang des Sensors nicht mit dem Master-Mikrocontroller zu verbinden sondern direkt über einen Pull-up-Widerstand auf ein permanentes HIGH-Niveau zu legen. (siehe Punkt 5, Anwenderschaltung).**



**Bild 2:** Datenübertragung zwischen Master und Slave über Schieberegister

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

---

## 3.2 Betriebsart

Das SPI-Bus-Protokoll kennt zwei Parameter zur Einstellung des Taktsignals (SCK): die Polarität (CPOL) und die Phase (CPHA). Daraus ergeben sich vier verschiedene Übertragungs-Modi, wie in Tabelle 1 dargestellt. Diese Einstellungen bestimmen bei welcher Flanke die Daten übernommen werden und zu welchem Zeitpunkt sie geändert werden dürfen.

Für eine korrekte Datenübertragung ist es wichtig, dass diese Parameter in allen mit dem Bus verbundenen Geräten gleich eingestellt sind.

SPI-Mode	CPOL	CPHA
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

Tabelle 1: SPI-Übertragungs-Modi

***HINWEIS:***

***Die digitalen HME- und HCE-Drucksensoren mit SPI-Bus sind standardmäßig auf CPHA=0 and CPOL=0 programmiert. Generell ist die Einstellung aller vier Modi möglich. Für weitere Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.***

### 3.2.1 CPOL (Clock Polarity)

CPOL bestimmt, ob das Taktsignals im Ruhezustand auf LOW-Pegel (CPOL=0) oder HIGH-Pegel (CPOL=1) liegt.

### 3.2.2 CPHA (Clock Phase)

CPHA bestimmt, bei welcher Flanke des Taktsignals die Daten übertragen werden. CPHA=0 bedeutet, dass die Daten mit der ersten Flanke übernommen werden, CPHA=1, dass sie mit der zweiten Flanke übernommen werden.

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

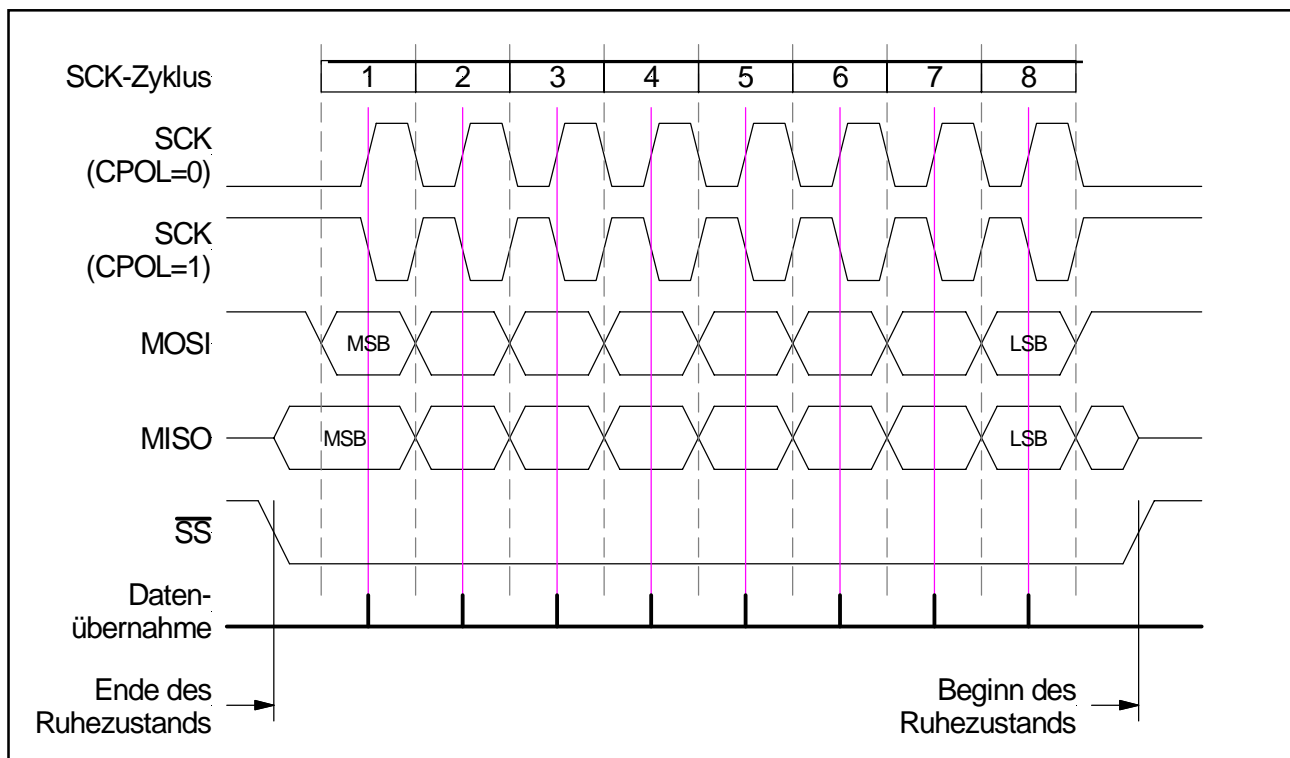
## 3.3 Verlauf der Datenübertragung

### 3.3.1 CPHA=0

Wird CPHA auf 0 gesetzt, werden die Daten mit der ersten Flanke des Taktsignals übernommen. Die Polarität CPOL bestimmt, ob es sich dabei um eine steigende oder fallende Flanke handelt. Bei  $CPOL=0$  ist der Takt im Ruhezustand auf LOW-Pegel; die erste Flanke ist also eine steigende Flanke. Bei  $CPOL=1$  ist der Takt im Ruhezustand auf HIGH-Pegel; die erste Flanke ist also eine fallende Flanke.

Die Polarität des Taktes beeinflusst jedoch nicht den Zeitpunkt der Datenübernahme und damit auch nicht den Verlauf der Datenübertragung wie in Bild 3 dargestellt.

**HINWEIS:**  
Der in Bild 3 und 4 dargestellte Verlauf der Datenübertragung beschreibt die Theorie des SPI-Busses. Zu den Besonderheiten der HME- und HCE-Drucksensoren beachten Sie bitte Punkt 4.5, Zeitbedingungen.



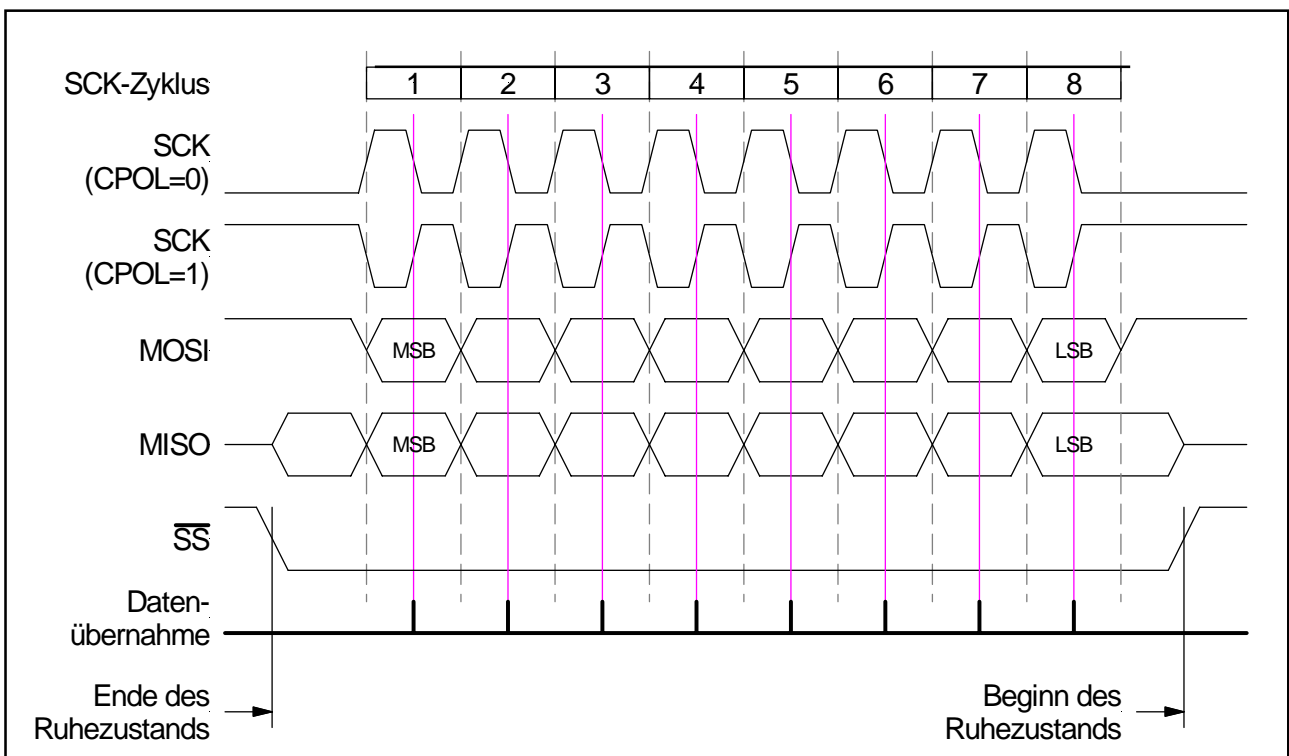
**Bild 3:** Beispiel einer 1 Byte SPI-Datenübertragung für CPHA=0

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

## 3.3.2 CPHA=1

Wird CPHA auf 1 gesetzt, werden die Daten mit der zweiten Flanke des Taktsignals übernommen. Die Polarität CPOL bestimmt, ob es sich dabei um eine steigende oder fallende Flanke handelt. Bei  $CPOL=0$  ist der Takt im Ruhezustand auf LOW-Pegel und steigt nach der ersten Flanke auf HIGH-Pegel; die zweite Flanke ist also eine fallende Flanke. Bei  $CPOL=1$  ist der Takt im Ruhezustand auf HIGH-Pegel und fällt nach der ersten Flanke auf LOW-Pegel; die zweite Flanke ist also eine steigende Flanke.

Die Polarität des Taktes beeinflusst jedoch nicht den Zeitpunkt der Datenübernahme und damit auch nicht den Verlauf der Datenübertragung wie in Bild 4 dargestellt.



**Bild 4:** Beispiel einer 1 Byte SPI-Datenübertragung für CPHA=1

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

## 4 SPI-BUS DATENÜBERTRAGUNG MIT HME- UND HCE-DRUCKSENSOREN

### 4.1 Auslesen von Druckwerten

Um eine Datenübertragung zu beginnen, zieht der Master die Slave-Select-Leitung zum Drucksensor auf Masse (LOW). Der Druckwert wird als 15-Bit-Information in 3 Daten-Bytes übertragen (siehe Bild 5). Die digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie sind nicht für den Datenempfang ausgelegt. Es wird empfohlen auf der MOSI-Leitung nur HIGH-Pegel (=1) zu übertragen um den Sensor nicht zu stören (siehe auch Hinweis bei 3.1). Weil der Master zu Beginn evtl. doch Befehle zum Sensor schickt, werden die Druckwerte zur Sicherheit erst ab dem zweiten Daten-Byte übertragen und das erste Byte bleibt ohne Information (der Sensor überträgt typischerweise 0xFFh). Der eigentliche Druckwert in Byte 2 und 3 beginnt mit dem hochwertigsten Bit (MSB) zuerst.

Die Datenübertragung wird beendet, sobald der Master die Slave-Select-Leitung wieder auf HIGH-Pegel setzt. Bleibt die Slave-Select-Leitung nach dem dritten Byte unverändert auf LOW-Pegel, sendet der Sensor fortlaufend Druckwerte an den Master. Diese Druckwerte sind dann jeweils nur 2 Byte lang.

### 4.2 Auslesen von Temperaturwerten (optional)

Optional kann der Sensor ab Werk für die Ausgabe von 15 Bit langen Temperaturwerten

**HINWEIS 1:**  
*Die HME- und HCE-Drucksensoren sind für die Übertragung von 3 bzw. 2 zusammenhängenden Datenbytes ausgelegt. Zwischen den einzelnen Bytes darf die Slave-Select-Leitung nicht auf HIGH gesetzt werden, da es sonst zu einem Abbruch der Übertragung kommt.*

**HINWEIS 2:**  
*Bei einer Taktfrequenz von 500 kHz dauert die Übertragung der ersten 3 Bytes ca. 50 µs. Die folgenden 2 Byte-Druckwerte benötigen ca. 32 µs. Allerdings beträgt die interne Durchlaufzeit zur Berechnung und Ausgabe eines neuen Druckwerts z.B. beim HCE-Sensor bei einer Auflösung von 14 Bit 500 µs. Deshalb empfängt der Master bei einer kontinuierlichen Abfrage des Sensors mindestens 14 mal den selben Druckwert!*

*Für weitere Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.*

programmiert werden. Diese werden dann als Byte 4 und 5 nach dem Druckwert ausgegeben. Wird die Datenübertragung danach nicht beendet, liefert der Sensor fortlaufende 4 Byte lange kombinierte Druck- und Temperaturwerte.

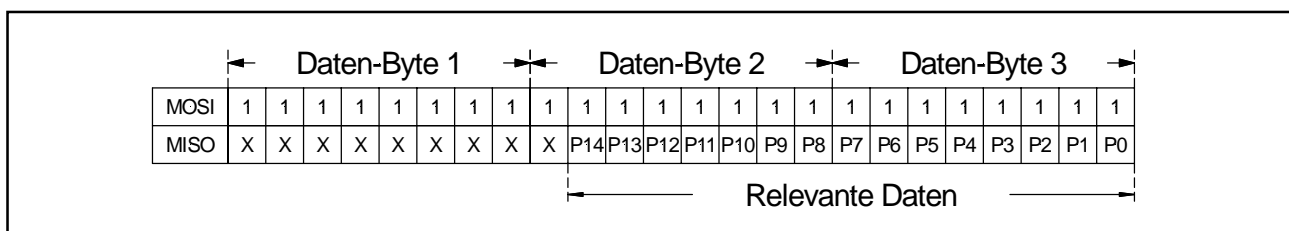


Bild 5: 3-Byte-Datenübertragung eines 15 Bit langen Druckwertes

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

---

## 4.3 Berechnung des Druckwerts aus dem Digitalwert

Mit Hilfe der folgenden Formeln kann aus der digitalen Druckwert-Information der tatsächliche physikalische Druckwert berechnet werden:

$$S = \frac{Out_{max} - Out_{min}}{P_{max} - P_{min}} \quad (1)$$

$$P = \frac{P_{counts} - Out_{min}}{S} + P_{min} \quad (2)$$

### Definitionen:

- S = Empfindlichkeit [counts/mbar]
- Out<sub>max</sub> = Ausgabe bei max. Druck [counts]
- Out<sub>min</sub> = Ausgabe bei min. Druck [counts]
- P<sub>max</sub> = Druckbereichs-Endwert [mbar]
- P<sub>min</sub> = Druckbereichs-Anfangswert [mbar]
- P = Druckmesswert [mbar]
- P<sub>counts</sub> = Digitaler Druckmesswert [counts]

Als Berechnungsbeispiel dient der Drucksensor HCEM100DB... mit einem bidirektionalen Druckbereich von 0...±100 mbar. Für die folgenden Berechnungen werden die typischen Kalibrierwerte verwendet. Die individuellen Sensoren können hiervon geringfügig abweichen (die entsprechenden Toleranzen sind im HCE-Datenblatt angegeben).

$$\begin{aligned} Out_{min} (-100 \text{ mbar}) &= 0666 \text{ hex} = 1638 \text{ dec} \\ Out_{max} (+100 \text{ mbar}) &= 6CCC \text{ hex} = 27852 \text{ dec} \end{aligned}$$

Die Empfindlichkeit des Sensors berechnet sich aus Formel (1) wie folgt:

$$S = \frac{27852 \text{ counts} - 1638 \text{ counts}}{100 \text{ mbar} - (-100 \text{ mbar})}$$

$$S = 131,07 \text{ counts/mbar}$$

Für einen ausgegebenen digitalen Druckmesswert von z.B.

$$P_{counts} = 20608 \text{ counts dezimal}$$

berechnet sich der physikalische Druckmesswert nach Formel (2) zu:

$$P = \frac{20608 \text{ counts} - 1638 \text{ counts}}{131,07 \text{ counts/mbar}} + (-100 \text{ mbar})$$

$$P = \underline{\underline{44,73 \text{ mbar}}}$$

## 4.4 Auflösung

Jeder Druck- und Temperaturwert wird als 15-Bit-Information übertragen. Die tatsächliche Auflösung des Messwerts ist jedoch abhängig von der Einstellung des internen A/D-Wandlers des Sensors und kann daher geringer sein. Die Auflösung kann sich außerdem durch interne Rechenvorgänge und Verluste bei der Abtastung des Signals (Fensterung) verschlechtern. Beim HCE-Drucksensor beträgt die interne Auflösung typischerweise 14 Bit, beim HME-Drucksensor typischerweise 12 Bit. Die erreichbare Auflösung der Temperaturmessung wird zusätzlich durch die Empfindlichkeit des Sensorelements beschränkt. Für weitere Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.



# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Eingehender HIGH-Pegel		90		100	% von $V_s$
Eingehender LOW-Pegel		0		10	
Ausgehender LOW-Pegel				10	
Pull-Up-Widerstand		500			$\Omega$
Lastkapazität	$C_{MISO}$			400	pF
Eingangskapazität	$C_{SPLIN}$			10	
SCK Taktfrequenz	$f_{SCK}$	100*		640	kHz
MISO Halte-Zeit nach SCK-Flanke	$t_{SPL\_HD\_MISO}$	200			ns
MOSI Setup-Zeit vor SCK-Flanke	$t_{SPL\_SU\_MOSI}$	$2/f_{CLK}$			
/SS Setup-Zeit vor SCK-Flanke	$t_{SPL\_SU\_SS}$	10			ns
/SS Halte-Zeit nach SCK-Flanke	$t_{SPL\_HD\_SS}$	$1/f_{CLK}$			

\* empfohlen (siehe Hinweis Seite 10)

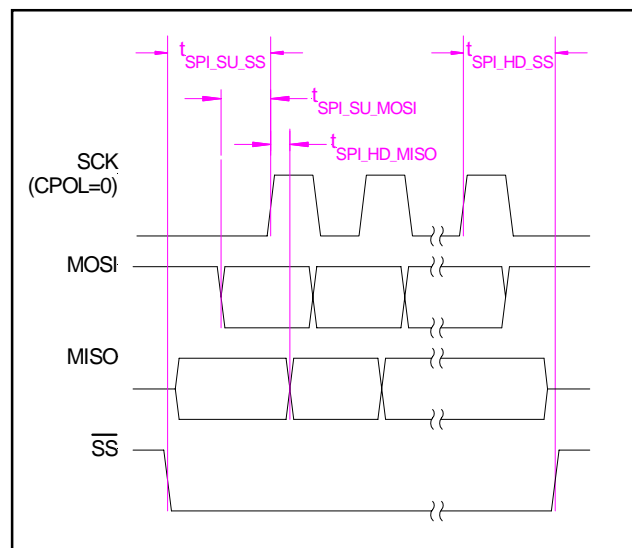
**Tabelle 2:** Parameter und Zeitbedingungen für die SPI-Bus Kommunikation mit HME- und HCE-Drucksensoren

## 4.5 Zeitbedingungen

Für eine korrekte Datenübertragung muss der Drucksensor die Startbedingung (Slave-Select-Leitung geht auf LOW) erkennen, bevor der Master den ersten Taktpuls sendet. Daher ist vom Master eine Mindest-Verzögerungszeit  $t_{SPL\_SU\_SS}$  vor dem ersten Taktpuls einzuhalten (siehe Tabelle 2 und Bild 6). Nach dem letzten Taktpuls der Datenübertragung muss außerdem eine Mindest-Verzögerungszeit  $t_{SPL\_HD\_SS}$  eingehalten werden bevor der Master die Kommunikation beendet (Slave-Select-Leitung geht wieder auf HIGH).

Die Zeitbedingungen werden vom Master überwacht und können unter anderem von folgenden Bedingungen beeinflusst werden:

- der Betriebsart (SPI-Mode)
- der Bus-Geschwindigkeit
- der Anwenderschaltung, z.B. der Größe der Pull-Up-Widerstände
- dem Platinenlayout, z.B. der kapazitiven Last und der Impedanz der Bus-Leitungen



**Bild 6:** SPI-Bus-Zeitbedingungen

Die HME- und HCE-Drucksensoren ändern ihre Daten entgegen dem in Bild 3, Seite 5 dargestellten theoretischen Verlauf bereits kurz nach der für die Datenübertragung gültigen steigenden Flanke (siehe Bild 6), wobei eine Mindesthaltezeit  $t_{SPL\_HD\_MISO}$  eingehalten wird. Insbesondere bei langsamer Bus-Geschwindigkeit kann so der Eindruck entstehen, als würde die Übertragung nicht mit der steigenden, sondern mit der fallender Flanke (CPHA=1) stattfinden (vgl. 3.3.2, Bild 4).

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

## 4.6 Übertragungsgeschwindigkeit

Die maximal erlaubte Bus-Geschwindigkeit wird durch die interne Taktfrequenz des Sensors bestimmt, die temperatur- und fertigungsbedingten Schwankungen unterliegt. Unter Annahme der ungünstigsten Bedingungen beträgt die max. erlaubte SPI-Bus-Taktfrequenz daher 640 kHz für alle Standardsensoren der HME- und HCE-Serie. Sie kann in einer Sondereinstellung auf 730 kHz erhöht werden.

## 4.7 Elektromagnetische Störungen

Die steilen Flanken der Signale die auf dem SPI-Bus übertragen werden, können elektromagnetische Störungen verursachen. Speziell bei sehr niedrigen Druckbereichen und bei sehr nahe aneinander liegenden Bus-Leitungen bzw. IC's, kann dies zu Störungen des von der Sensor-Messbrücke erzeugten analogen mV-Signals führen.

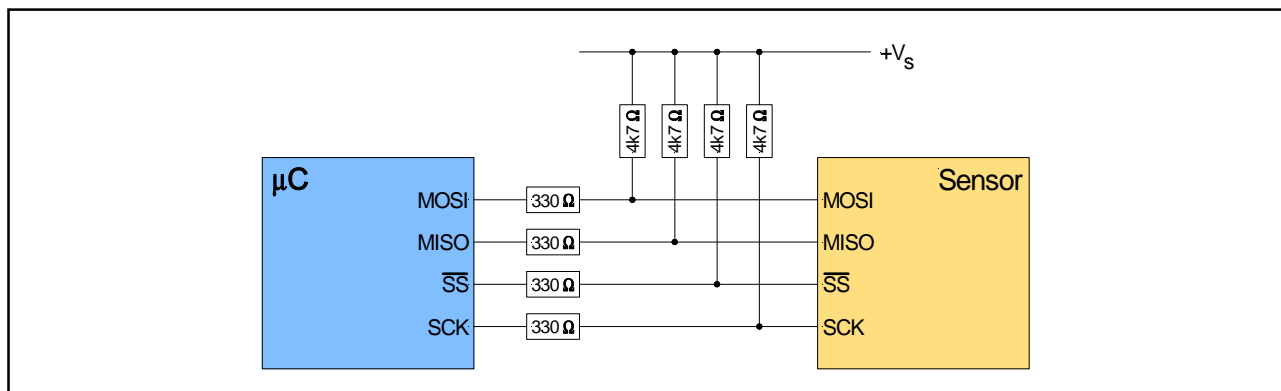
### **HINWEIS:**

**Zur Verhinderung elektromagnetischer Störungen wird eine Taktfrequenz von min. 100 kHz (max. 640 kHz) und Übertragungspausen von min. 500  $\mu$ s zwischen zwei Druckwertübertragungen empfohlen. Dies ist vor allem für alle Niedrigstdruckversionen bis 25 mbar relevant. Für weitere Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.**

Bei gleichzeitiger Nutzung der digitalen Schnittstelle und des analogen Spannungsausgangs sollten die betreffenden Leitungen so weit wie möglich voneinander getrennt liegen. Zusätzlich empfehlen sich Entstörkondensatoren von 220 nF zwischen Versorgungsspannung und Masse und 15 nF zwischen analogem Ausgang und Masse. Die Kondensatoren sollten so nah an den Pins des Sensors platziert werden wie möglich.

## 5 ANWENDERSCHALTUNG

Alle Bus-Leitungen müssen über jeweils einen Pull-Up-Widerstand an die Versorgungsspannung angeschlossen werden (siehe Bild 7). Es werden 4,7 k $\Omega$  Widerstände empfohlen. Zusätzlich sollten in allen Bus-Leitungen Widerstände von max. 330  $\Omega$  in Reihe geschaltet werden.



**Bild 7:** SPI-Bus Anwenderschaltung für HME- und HCE-Drucksensoren

# SPI-Bus-Kommunikation mit digitalen Drucksensoren der HME- und HCE-Serie

---

## 6 BEISPIEL EINER SPI-BUS-PROGRAMMIERUNG

```
byte dont_care;           // 8bit values
byte byte_msb, byte_lsb; // 8bit values
int16 pressure;          // 16bit value

// If your controller does not control the /SS pin, you'll need to configure it yourself
// Set output value to 1/high state (SPI in idle state)
pin_ss = 1;
// Set pin to output
set_inout_mode(pin_ss, PIN_OUT);

// Set SPI unit to SPI master mode, clock speed 100 kHz and SPI mode 0 (CPHA = 0 & CPOL = 0)
configureSPI (SPI_MASTER | CLK_SPEED_100KHZ | SPI_MODE_0);

// Set /SS Pin low (Start communication)
pin_ss = 0;
// Transfer one byte over SPI bus (send 0xFF, write received data to dont_care (discard first byte))
SPI_transfer (0xFF, &dont_care);
// Transfer one byte over SPI bus (send 0xFF, write received data to byte_msb)
SPI_transfer (0xFF, &byte_msb);
// Transfer one byte over SPI bus (send 0xFF, write received data to byte_lsb)
SPI_transfer (0xFF, &byte_lsb);
// Set /SS pin high (End communication)
pin_ss = 1;

// Put both values together
pressure = ((int16)byte_msb << 8) | byte_lsb;
```

## 7 BEI PROBLEMEN

### 7.1 Sensor reagiert nicht

- Prüfen Sie die Pegel der SCK- und Slave-Select-Signale am Pin des Drucksensors.
  - Sind die Flanken scharf genug?
  - Sind die HIGH- und LOW-Pegel im spezifizierten Bereich (vgl. Tabelle 2)?
- Prüfen Sie den analogen Ausgang des Drucksensors (nur beim HCE möglich). Reagiert dieser auf Druckschwankungen, so funktioniert der Sensor.

### 7.2 Sensor liefert instabile Werte

- Prüfen Sie den verwendeten SPI-Mode. Die HME- und HCE-Drucksensoren verwenden standardmäßig CPHA=0 und CPOL=0
- Sind die Hinweise zur elektromagnetischen Einstrahlung unter Punkt 4.7 eingehalten?

***Für weitere Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:***

***Tel. +49 (0)89 80083-0  
FSM@first-sensor.com***