

# *Sensoren und Aktoren*

Wahlpflichtfach 5. Semester Elektrotechnik

Prof. Dr. Felix Hüning

FB Elektrotechnik und Informationstechnik

FH Aachen

Die Folien sind für den persönlichen Gebrauch im Rahmen des Moduls gedacht. Eine Veröffentlichung oder Weiterverteilung an Dritte ist nicht gestattet (F. Hüning)

- Drehzahl
- Gase

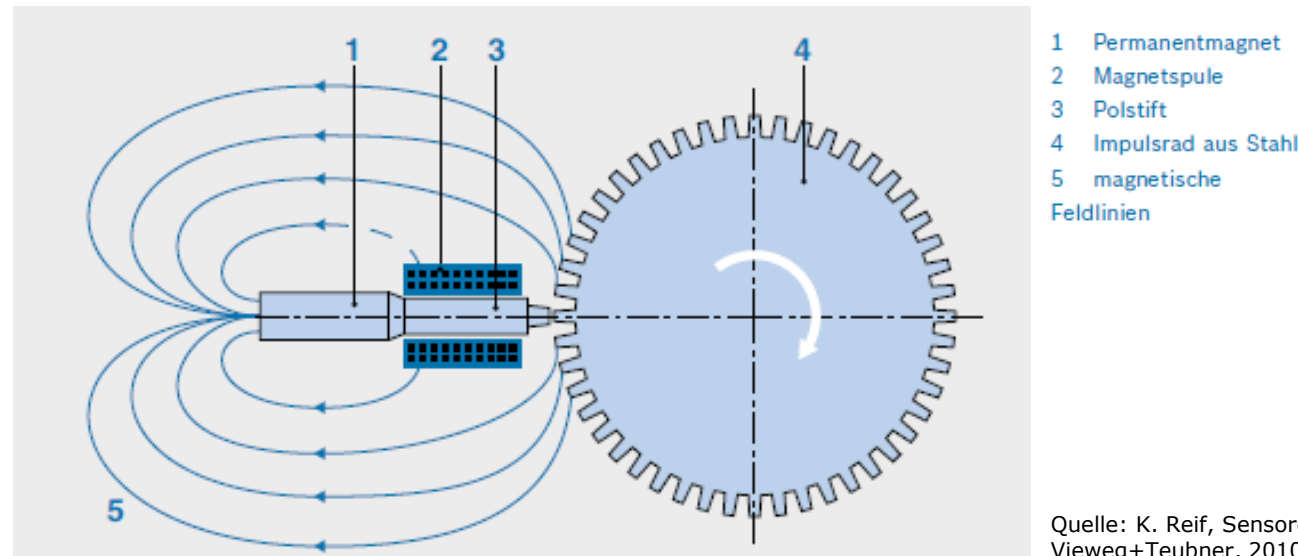
- Drehzahl
  - Anzahl von Umdrehungen pro Zeiteinheit
- Drehzahlsensor
  - Messung des pro Zeiteinheit zurückgelegten Winkels relativ zu einem festen Bezugspunkt
- Inkrementalgeber
  - Diskontinuierliche Messung von Pulsen zur Bestimmung der Drehzahl
- Aktive und passive Ausführung

- Unterschiedliche physikalische Effekte zur Drehzahlmessung mittels Inkrementalgeber nutzbar
  - Induktiv
  - Hall-Effekt
  - AMR/GMR
  - Optisch
  - Kapazitiv
  - Wiegand
- Optische und kapazitive Sensoren können aufgrund der Umgebungsbedingungen (z.B. Schmutz) vielfach nicht eingesetzt werden

- Ausführung als induktive Spulensensoren:
  - Polstift mit Dauermagneten verbunden
  - Spule um Polstift (Weicheisenkern) gewickelt
  - Magnetischer Fluss durch Spule wird von Umgebung (Zahnrad bzw. Impulsrad) beeinflusst
- Änderung des magnetischen Flusses induziert Spannung in der Spule
- Sensor wird, durch Luftspalt getrennt, gegenüber ferromagnetischem Zahnrad montiert
- Zahn bündelt den Streufluss des Magneten (größerer Fluss durch Spule)
- Lücke schwächt magnetischen Fluss

# Drehzahlsensor induktiv

- Ausführung als induktive Spulensensoren:
  - Polstift mit Dauermagneten verbunden
  - Spule um Polstift (Weicheisenkern) gewickelt
  - Magnetischer Fluss durch Spule wird von Umgebung (Zahnrad bzw. Impulsrad) beeinflusst



Quelle: K. Reif, Sensoren im Kfz,  
Vieweg+Teubner, 2010

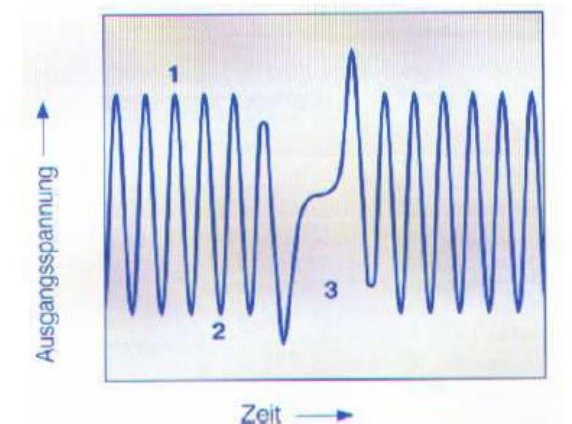
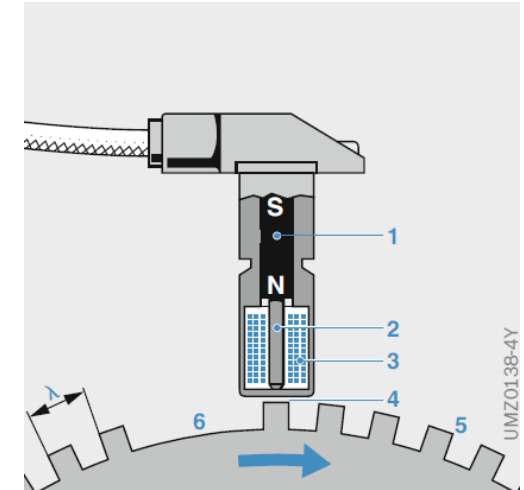
# Drehzahlsensor induktiv

- Induzierte Spannung abhängig von der Drehzahl und Luftspalt (und Material und Zahnform)

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{d\Phi(x, d_L)}{dt}$$

- Weiter Bereich der induzierten Spannung
  - mV bis >100V
- Ausreichende Amplitude ab Mindestdrehzahl (z.B. ca. 30/min)
- Bezugsmarke (große Lücke) zur Positionsbestimmung
- Luftspalt  $\sim 1-2$  mm

- 1 Stabmagnet
- 2 weichmagnetischer Polstift
- 3 Induktionsspule
- 4 Luftspalt  $d_L$
- 5 ferromagnetisches Zahnrad (oder Rotor bzw. Impulsrad)
- 6 Umfang bzw. Bezugsmarke
- $\lambda$  Zahnabstand

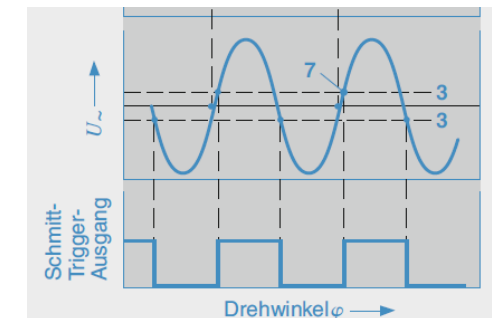
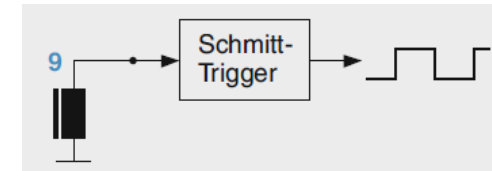


- 1 Zahn
- 2 Zahnlücke
- 3 Bezugsmarke

Quelle: K. Reif, Sensoren im Kfz, Vieweg+Teubner, 2010

# Drehzahlsensor induktiv

- Sinusförmiger Signalverlauf bei gleichmäßiger Zahnstruktur
- Digitalisierung des Signals z.B. durch Schmitt-Trigger (nicht im Sensor)
- Vorteile
  - Günstig
  - Keine Elektronik vor Ort
  - Temperaturbereich
- Probleme
  - Drehzahlabhängiges Ausgangssignal
  - Kleine Drehzahlen
  - Luftspalttoleranz
  - Baugröße



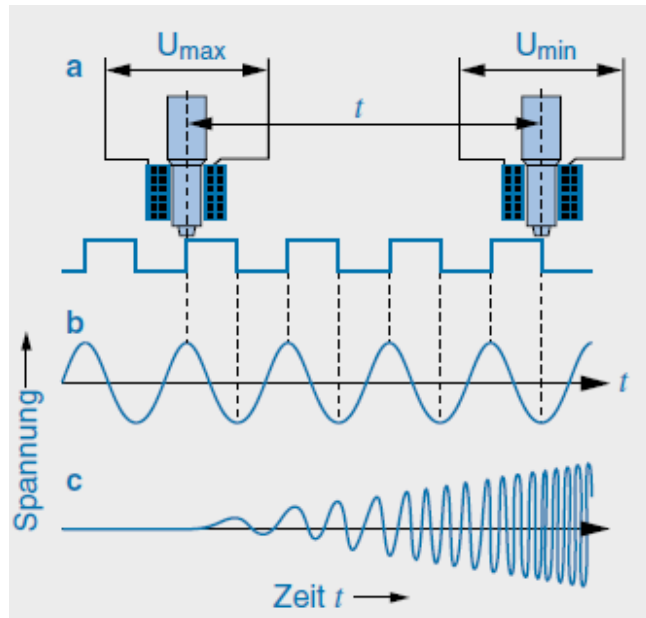
- 3 Schaltschwellen
- 7 Schalterpunkt
- 9 Sensor

Quelle: K. Reif, Sensoren im Kfz,  
Vieweg+Teubner, 2010



# Drehzahlsensor induktiv

- Einsatzbeispiele induktive Drehzahlsensoren
  - Raddrehzahl (ABS/ESP/ASR)
  - Kurbel- und Nockenwellendrehzahl (Motorsteuerung)
  - Getriebedrehzahl



Ausgangssignal: Konstante Geschwindigkeit

Ausgangssignal: Steigende Geschwindigkeit

Quelle: K. Reif, Sensoren im Kfz,  
Vieweg+Teubner, 2010

## Raddrehzahlsensor



# Drehzahlsensor

induktiv – Bosch 0 261 210 104

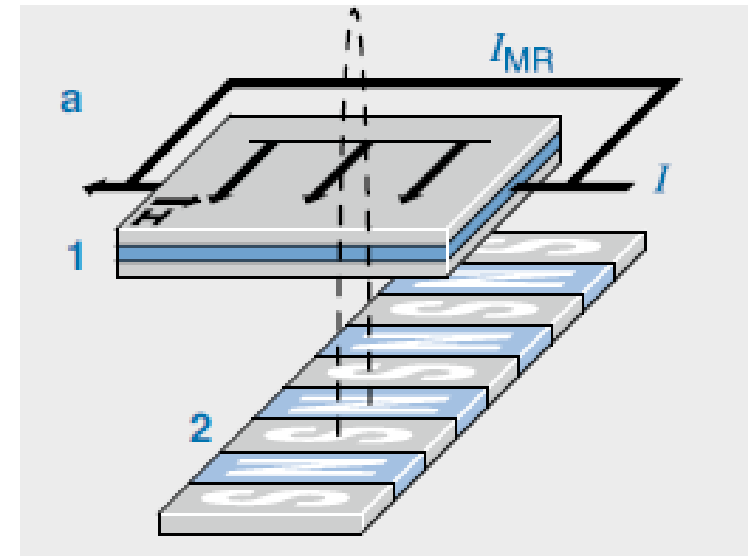
- Laut Datenblatt Ausgangsimpuls abhängig von
  - Drehzahl
  - Luftspalt
  - Zahnform
  - Rotormaterial



Kabellänge mit Stecker	mm	360 ± 15
Drehzahlmessbereich <sup>1)</sup> $n$	min <sup>-1</sup>	≈ 20 ... 7000
Dauerumgebungstemperatur Kabelzone	°C	- 40 ...+ 120
Dauerumgebungstemperatur Spulenzzone	°C	- 40 ...+ 150
Schüttelbeanspruchung max.	m/s <sup>2</sup>	1200
Windungszahl		4300 ± 10
Wicklungswiderstand bei 20 °C <sup>2)</sup>	Ω	860 ± 10 %
Induktivität bei 1 kHz	mH	370 ± 15 %
Schutzart		IP 67
Ausgangsspannung <sup>2)</sup> $U_A$	V	0 ... 200
Signalfrequenz		1 ... 2500 Hz

Quelle: Bosch, Datenblatt 0261210104 induktiver Drehzahlsensor

- Hall-Element als Sensor, der magnetfeldabhängig Spannung erzeugt
- Spannung unabhängig von Drehzahl (bis nahezu Stillstand)
- Polrad mit Multipolring (Magnete in Polarität wechselweise auf Umfang angeordnet)
- Im Sensor sind integriert
  - Hall-Sensor
  - ASIC zur Signalverstärkung und -aufbereitung

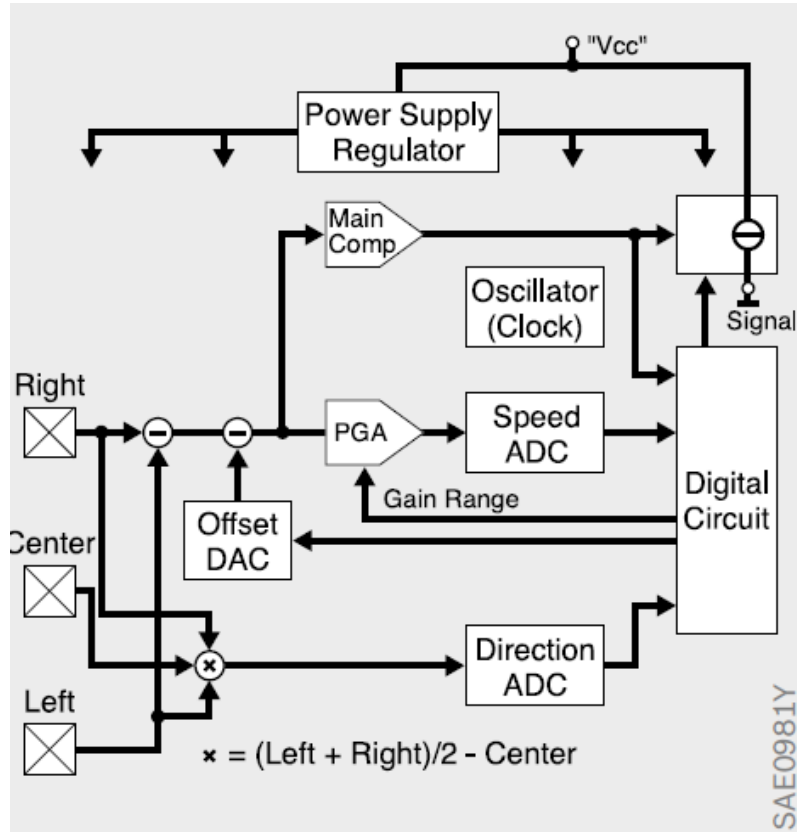


Quelle: K. Reif, Sensoren im Kfz,  
Vieweg+Teubner, 2010

- Hall-Sensoren können in MEMS Technologie miniaturisiert werden
- Integration mehrerer (z.B. 3) Hall-Sensoren mit einem Versatz und des Auswert-ASIC in einem Sensor (intelligenter Sensor)
- Neben der Drehzahlerfassung kann Drehrichtung bestimmt werden
- Es können zusätzliche Informationen zum Steuergerät übertragen werden, z.B. Fehler, Stillstand, Selbsttest
- Übertragung als PWM-Strom (z.B. 7mA/14mA):
  - Drehzahl (PWM-Frequenz)
  - Informationen (Pulsweite)

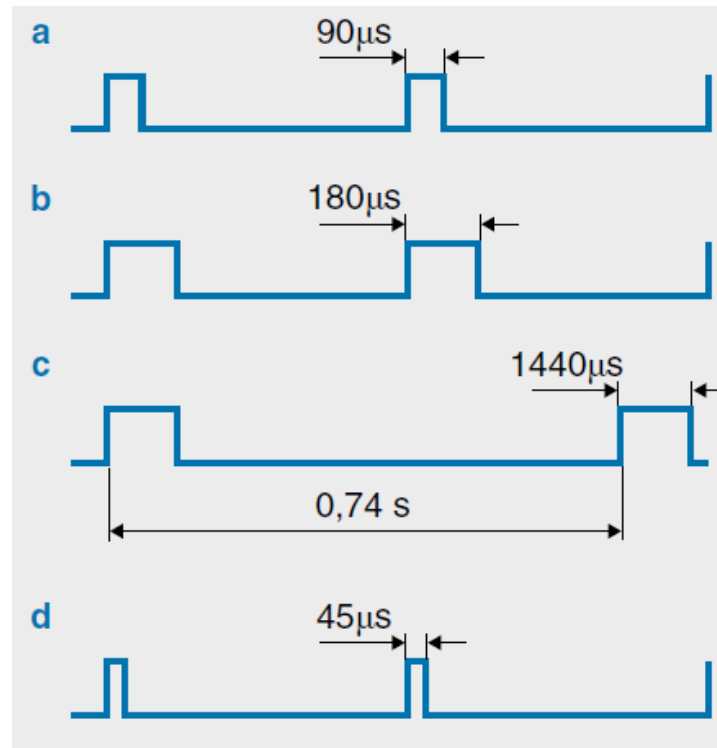
# Drehzahlsensor Hall

## Hall-ASIC



Quelle: K. Reif, Sensoren im Kfz,  
Vieweg+Teubner, 2010

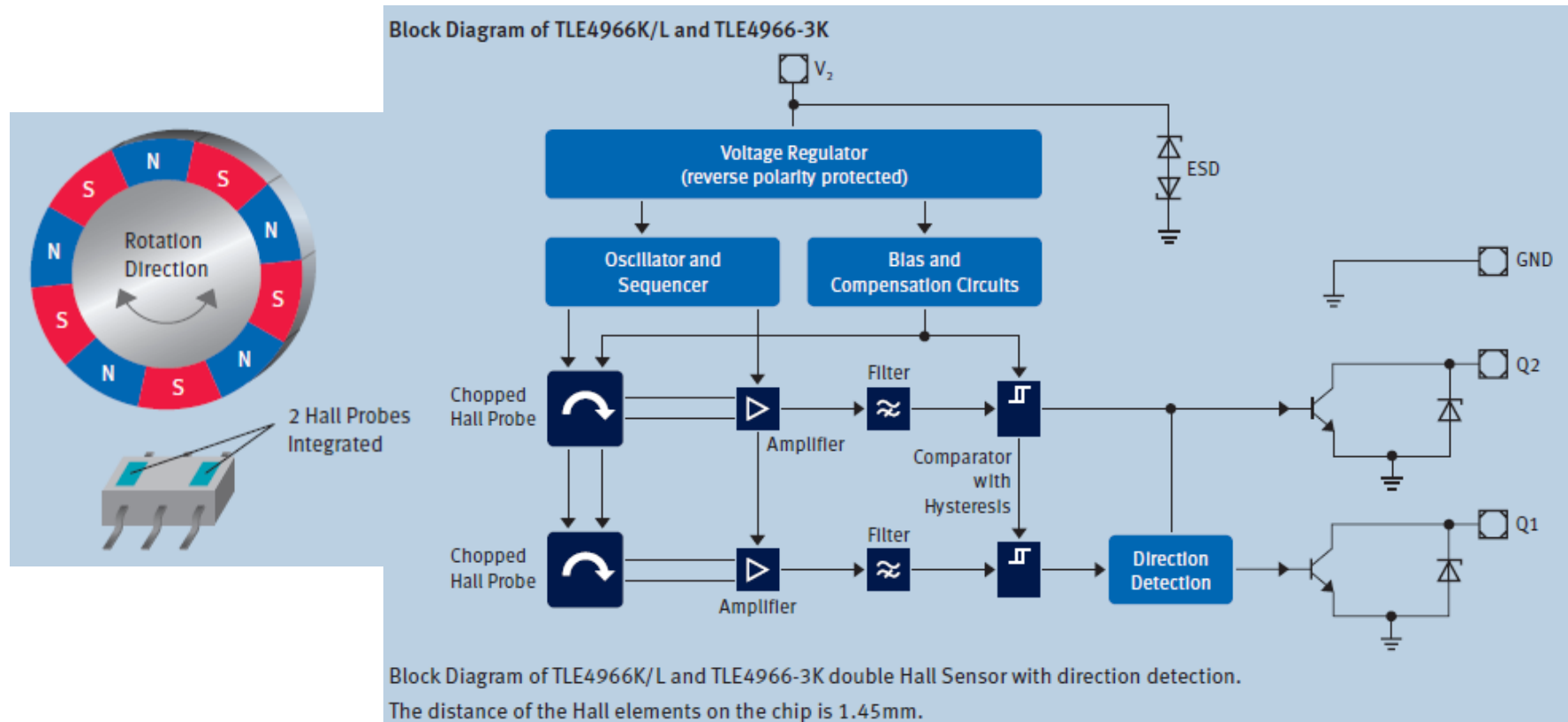
## PWM-Signalübertragung



- a Geschwindigkeitssignal bei Rückwärtsfahrt
- b Geschwindigkeitssignal bei Vorwärtsfahrt
- c Signal bei Fahrzeugstillstand
- d Signalqualität des Sensors, Eigendiagnose

# Drehzahlsensor

## Hall – MEMS Hall-ASIC



Quelle: Infineon, Datenblatt  
TLE4966-3K

- Raddrehzahl (ABS/ESP/ASR)
- Kurbel- und Nockenwellendrehzahl (Motorsteuerung)
- Getriebedrehzahl
- Raddrehzahlsensor
  - Kleine Bauform
  - Störsichere PWM Übertragung
  - Signal unabhängig von Drehzahl
  - Zusätzliche Funktionalität durch mehrere Sensoren und Intelligenz:
    - Hill Hold Control / Navigation
    - Eigendiagnose

- Laut Datenblatt
  - Integrierte Signalaufbereitung und Ausgangstransistor
  - Selbsttest der Signalqualität

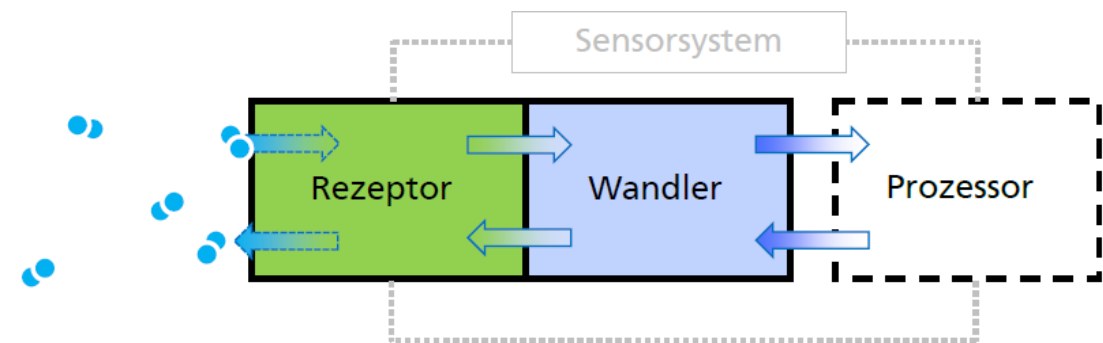


Minstdrehzahl des Geberrades	$n_{\min.}$	0 min <sup>-1</sup>
Höchstzahl des Geberrades	$n_{\max.}$	4500 min <sup>-1</sup>
Maximaler Arbeitsluftspalt		1,8 mm
Minimaler Arbeitsluftspalt		0,2 mm
Versorgungsnennspannung	$U_N$	5 V
Versorgungsspannungsbereich	$U_V$	4,5 ...16V
Versorgungsstrom	$I_V$	typisch 5,6
Ausgangsstrom	$I_A$	0 ... 20 mA
Ausgangs-Sättigungsspannung	$U_s$	≤ 0,5 V
Schaltzeit	$t_f^{1)}$	≤ 1 μs
Schaltzeit	$t_f^{2)}$	≤ 15 μs
Dauertemperatur in der Sensor- und Übergangzone		-40°C...+150°C
Dauertemperatur in der Steckerzone		-40°C...+130°C

Quelle: Bosch, Datenblatt Hall-Drehzahlsensor 0232103097



- Detektion gasförmiger Substanzen
- Chemische Sensoren, die in Abhängigkeit der Gaskonzentration ein elektrisches Ausgangssignal erzeugen
- Sensitives Element in Kontakt mit der Umgebungsluft
- In Abhängigkeit vom Gas kommen zahlreiche unterschiedliche Methoden zum Einsatz
  - Resistiv
  - Kapazitiv (s. Feuchtigkeitssensor)
  - Thermisch
  - Optisch
  - ...



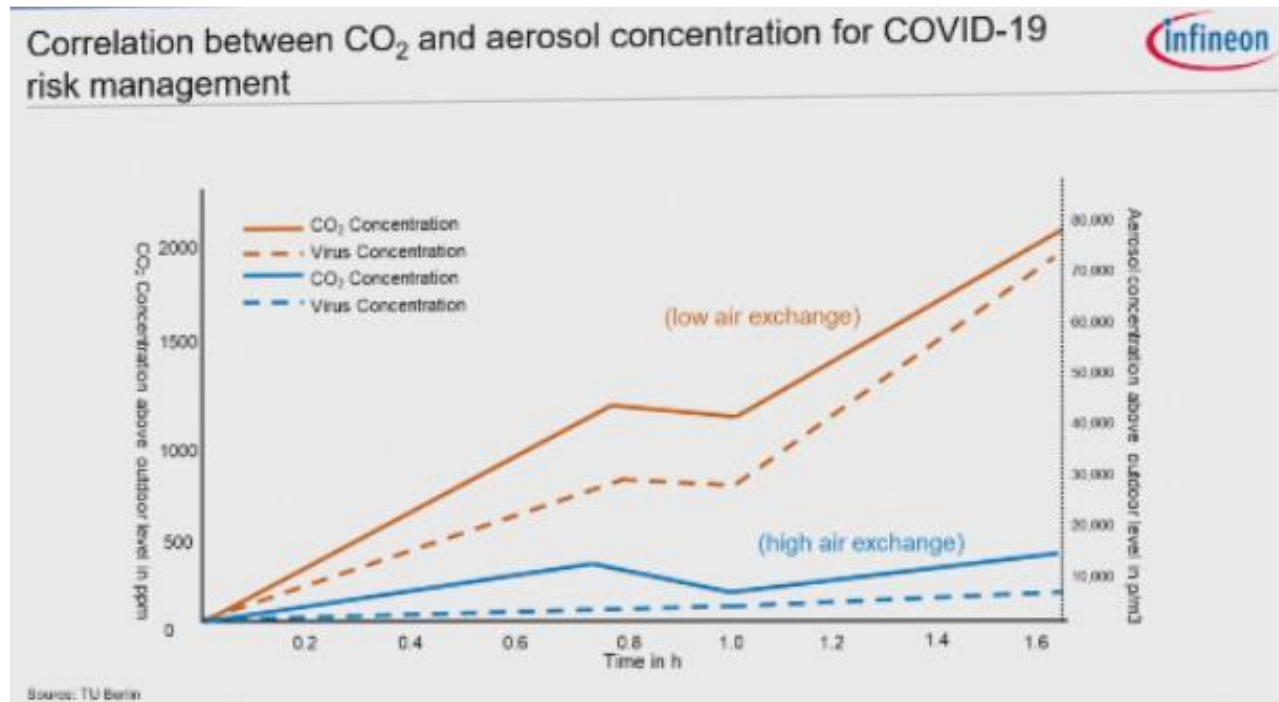
- Selektivität
  - Erkennung nur von der Zielsubstanz
- Empfindlichkeit
  - Erfassung der Gaskonzentration in der richtigen Größenordnung (ppm/%/...)
- Beständigkeit gegen chemische Substanzen
- Handhabbarkeit
- Kalibrierfähigkeit

# Gassensoren

## Beispiel CO<sub>2</sub>-Sensor

- Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration, z.B. in Räumen

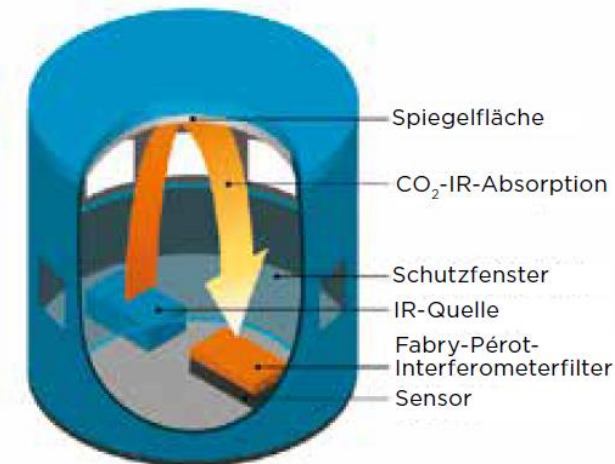
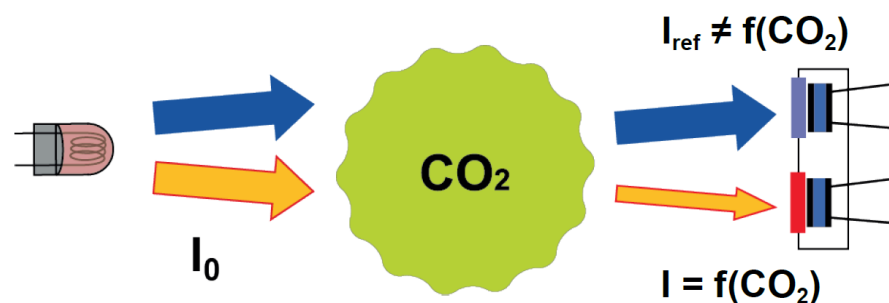
40.000ppm	Anteil in ausgeatmeter menschlicher Atemluft (20l CO <sub>2</sub> /h)
5.000ppm	Grenzwert für CO <sub>2</sub> -Konzentration am Arbeitsplatz
1.000ppm	Müdigkeit und Konzentrationsschwäche machen sich bemerkbar
1.000ppm	empfohlener Grenzwert für Raumluft
400ppm	Frischluf



# Gassensoren

## Beispiel CO<sub>2</sub>-Sensor – EE895

- Sensor für Umweltparameter CO<sub>2</sub>, Temperatur, Umgebungsdruck
- CO<sub>2</sub>-Messbereich 0 – 10000 ppm
- Ansprechzeit 140 s
- NDIR-Verfahren mit Autokalibration
  - Absorption von IR-Strahlung in Abhängigkeit der Gaskonzentration
- 35 mm x 15 mm x 7 mm
- I2C und UART Schnittstelle

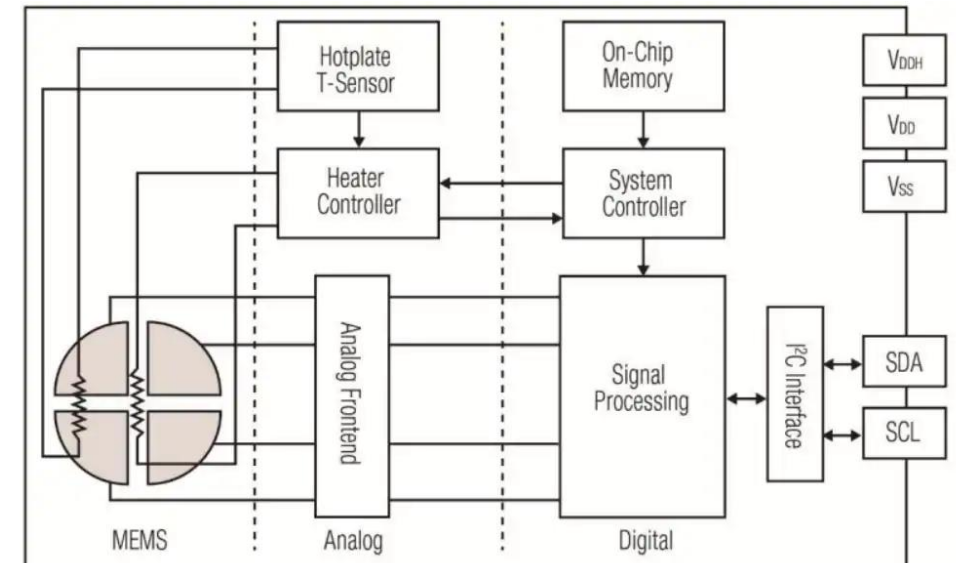
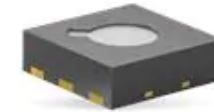


Quelle: Vaisala

# Gassensoren

## Beispiel CO<sub>2</sub>-Sensor – Sensirion SGP-30

- Sensor für Umweltparameter CO<sub>2</sub>, Feuchtigkeit, Temperatur, Feinstaub, flüchtige organische Verbindungen (VOC)
- Metalloxid Gassensor
  - Widerstandsänderung des Metalloxids durch Gasabsorption
- 2.5 mm x 2.5 mm x 0.9 mm DFN-Gehäuse
- Berechnet CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf Basis der Feuchtigkeit und VOC

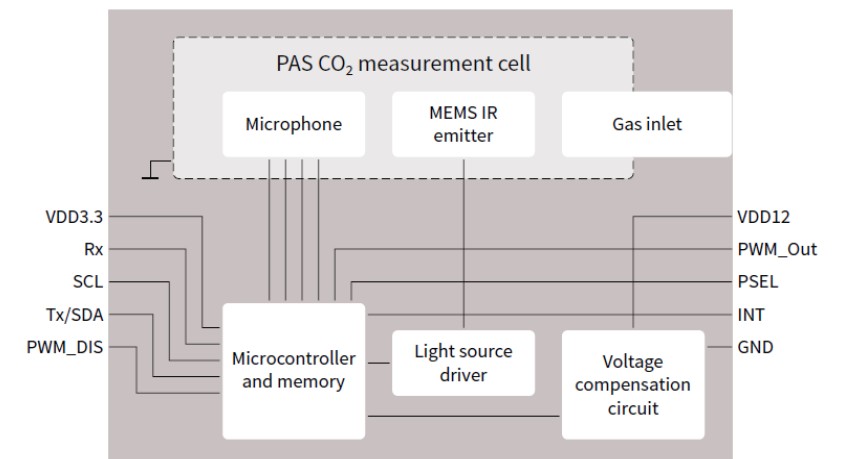
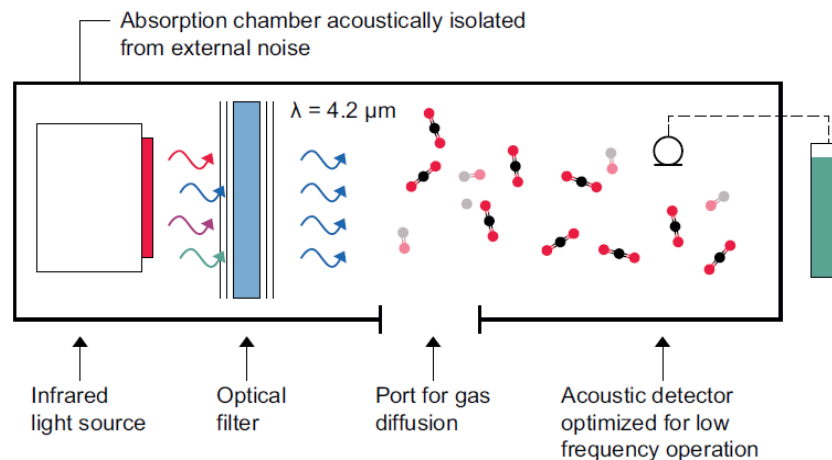


Quelle: Sensirion

# Gassensoren

## Beispiel CO<sub>2</sub>-Sensor – Infineon XENSIC™ PAS CO2

- Sensor für Umweltparameter CO<sub>2</sub> auf Basis der photoakustischen Spektroskopie
  - CO<sub>2</sub> Moleküle werden durch IR-Strahlung (4.2 μm) zum Schwingen angeregt -> Druckwelle
  - Detektion der Druckwelle durch Mikrofon
- 14 mm x 14 mm x 7.5 mm
- Hohe Genauigkeit
- UART, I2C, PWM



FH Aachen  
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik  
Prof. Dr. rer. nat. Felix Hüning  
Eupener Straße 70  
52066 Aachen  
T +49 (0)241 6009 51979  
F +49 (0)241 6009 52191  
huening@fh-aachen.de  
www.huening.fh-aachen.de