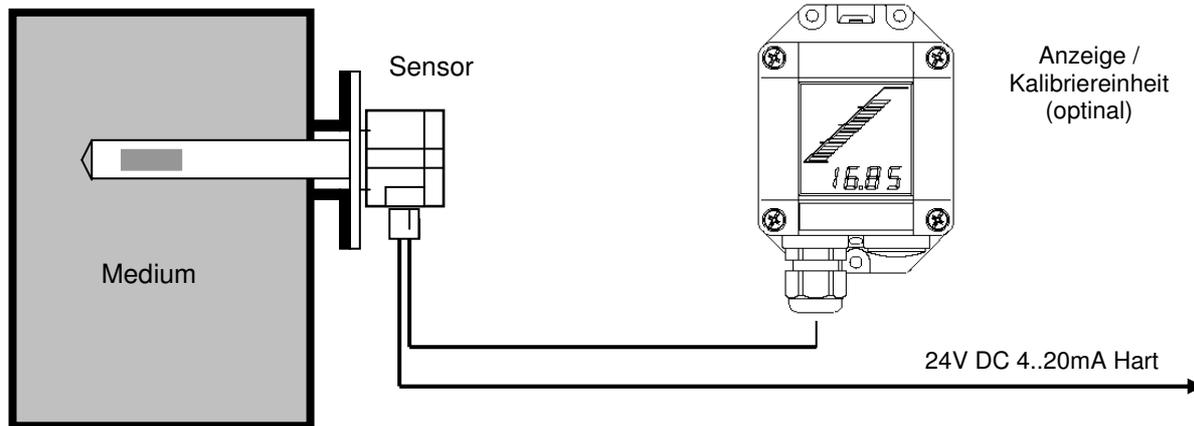




D-88427 Bad Schussenried  
Tel.: +49 (0)7583/949-414  
Fax: +49 (0)7583/949-399  
email: [thomas.maier@liebherr.com](mailto:thomas.maier@liebherr.com)  
[www.liebherr-feuchtemessung.de](http://www.liebherr-feuchtemessung.de)

## System Übersicht



## "Intelligenter Sensor"

Als einen "intelligenten Sensor" bezeichnet man einen Sensor, der über einen integrierten  $\mu$ Prozessor weitere Funktionen ermöglicht:

- Meß-Ablaufsteuerung
- Signalaufbereitung
- Störgrößenmessung
- Störgrößenkompensation
- Automatische Selbstkalibrierung
- Schnittstelle (Kommunikation mit dem Auswertegerät)
- Fehlermeldung

Ein intelligenter Sensor ist reproduzierbar. Bei der Herstellung bekommt jedes funktionswichtige Teil spezifische Kalibrierdaten per Schnittstelle mitgeteilt, die dann in einem nichtflüchtigen Halbleiterspeicher im Sensor gespeichert werden. Kalibrierdaten sind u.a. Störgrößenkorrekturtabellen, Abgleichfaktoren, Offset, Seriennummer, Datum, Softwareversion. Für Spezialanwendungen kann ein Software Update am Sensor per Schnittstelle, ohne Demontage des Sensors, durchgeführt werden.

Der Sensor bekommt vom Auswertegerät eine Botschaft (Meßauftrag) und stellt das Meßresultat fertig aufbereitet zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung. Der Datentransfer wird dadurch auf ein Minimum reduziert. Werden mehrere Sensoren an ein Auswertegerät angeschlossen, so wird auch dessen Rechenkapazität entlastet.

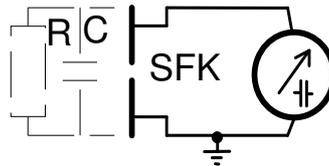
Ein wesentlicher Vorteil eines intelligenten Sensors liegt darin, dass die komplette Problemlösung der Meßaufgabe in einem Bauteil enthalten ist.



D-88427 Bad Schussenried  
Tel.: +49 (0)7583/949-414  
Fax: +49 (0)7583/949-399  
email: [thomas.maier@liebherr.com](mailto:thomas.maier@liebherr.com)  
[www.liebherr-feuchtemessung.de](http://www.liebherr-feuchtemessung.de)

## Meßverfahren: Kapazitätsbestimmung im Hochfrequenzstrefelfeld (reinkapazitives Meßverfahren)

### Ersatzschaltbild

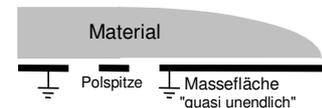


Das Meßmedium befindet sich als sogenanntes Dielektrikum vor den Platten eines Strefelfeldkondensators (SFK), der z.B.: als Polspitze, Streifen oder Kamm hinter einem Schleißchutz appliziert wird.

Versorgt man den SFK mit hochfrequenter Energie, durchdringen die bogenförmigen Feldlinien das Material. Der Kondensator verändert seine Kapazität C u.a. in Abhängigkeit von der Feuchte / Wassergehalt. Der im Ersatzschaltbild als R bezeichnete dielektrische Verlustwiderstand verringert sich bei feuchtem Material und zeigt ähnlich nachteilige Abhängigkeiten wie die konduktive Meßmethode.

Die Nutzung der kapazitiven Anteile des SFK ist vorteilhafter besonders in Bezug auf Elektrolytgehalt.

Wegen seines Dipolcharakters der Moleküle hat flüssiges Wasser ( $\epsilon_r = 80$ ) – im Gegensatz zu Mineralien oder Ölen ( $\epsilon_r = 2,15 - 2,2$ ) – eine sehr hohe relative Dielektrizitätskonstante.



$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot k \frac{A}{d} \quad \epsilon_0 = 8.85 \text{ pF/m}$$

$\epsilon_r$  ist also linear proportional zum Wassergehalt (Feuchte) und zur Kapazität C, da " $\epsilon_0$ ", der Plattenabstand "d", die Plattenfläche "A", der Formfaktor k konstant sind

Die Kapazität C des SFK sollte Massebezogen mit hoher Meßfrequenz ( $\gg 10$  MHz) und mit einer echten Kapazitätsmessung ohne Einfluß der dielektrischen Verluste ermittelt werden.

Der ermittelte Kapazitätswert C wird anschließend elektronisch weiterverarbeitet (Temperaturkompensation, Signalübertragung, Bewertung, Anzeige).

Der Zusammenhang Feuchte und C kann in einem weiten Meßbereich als linear gelten.



D-88427 Bad Schussenried  
Tel.: +49 (0)7583/949-414  
Fax: +49 (0)7583/949-399  
email: [thomas.maier@liebherr.com](mailto:thomas.maier@liebherr.com)  
[www.liebherr-feuchtemessung.de](http://www.liebherr-feuchtemessung.de)

### Gelöste Elektrolyte (Salzeinfluss)

Auch bei Produkten mit hoher Leitfähigkeit (Salz-, Metallpartikelgehalt od. Kohle) spricht der Litronic-Feuchtesensor ausreichend stark auf Wasseranteile im Produkt an. Die Gründe dafür sind die reinkapazitive Messung und die vorhandene Amplitudenregelung. Die dielektrischen Verluste (Ionenleitfähigkeit) werden beim Litronic-Feuchtesensor durch die Amplitudenregelung stets nachgespeist. Enthaltene Wasserdipole verschieben jedoch eindeutig die Dielektrizität  $\epsilon_r$  und verursachen somit eine Kapazitätsänderung C.

Da die Leitfähigkeit des Materials nicht ausgewertet wird, wirken sich evtl. gelöste Elektrolyte (ph-Wert) vernachlässigbar auf das Meßergebnis aus.

Trotz starker Schwankungen der dielektrischen Verluste R wird die effektive Plattenspannung U – im Gegensatz zum kapazitiven Verfahren – konstant gehalten (Amplitudenregelung). Da der Plattenabstand  $d$  und die Plattenfläche A ebenfalls konstant bleiben, ist die elektrische Feldstärke  $E$  auch konstant. Die Verschiebung  $D$  (elektrische Flußdichte) ist proportional zu  $E$ . Das Messvolumen wird durch den Wassergehalt nur unwesentlich verändert, es ist nahezu konstant.

Zur Betrachtung – das homogene Feld

$$E = \frac{U}{d} \quad D = \epsilon \cdot E \quad Q = D \cdot A$$

und das inhomogene Feld:

Die gesamte Fläche A enthält die Ladung Q. Für den aus dieser Ladung entstehenden elektrischen Fluss gilt:

$$\Psi_0 = \oint_A D dA = Q$$

### Temperatur Einfluss

Der Litronic FMS-Sensor ist für die gesamte Temperaturkompensation mit 2..5 integrierten Temperatursensoren bestückt: für Streufeldkondensator, Oszillator und Medium.

### Paraffin Einfluss

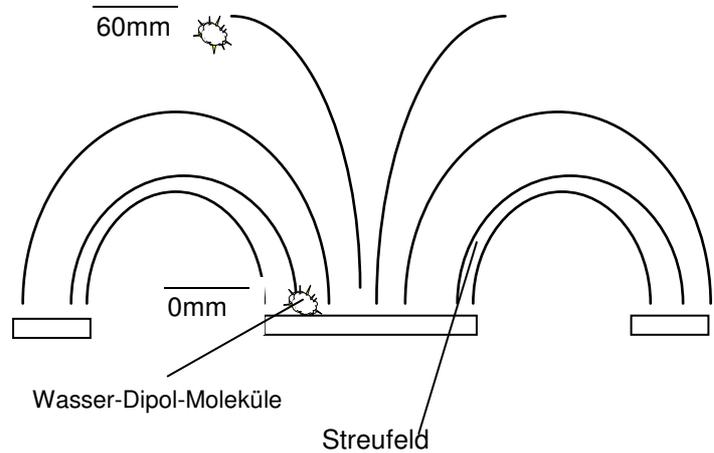
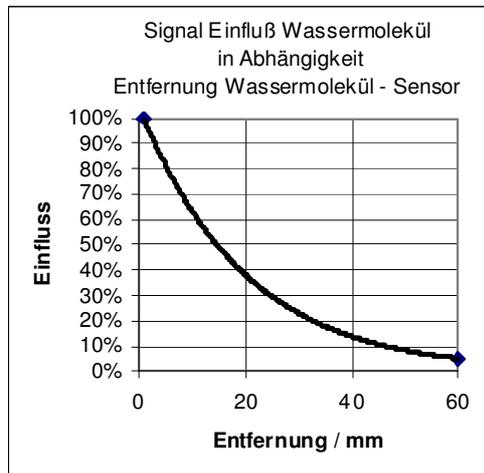
Paraffine / Rohöl ( $\epsilon_r = 2,15 - 2,2$ ) haben die gleiche relative Dielektrizitätskonstante.

Ein geringer Paraffinanteil erfordert keine Kompensation.



D-88427 Bad Schussenried  
Tel.:+49 (0)7583/949-414  
Fax:+49 (0)7583/949-399  
email:[thomas.maier@liebherr.com](mailto:thomas.maier@liebherr.com)  
[www.liebherr-feuchtemessung.de](http://www.liebherr-feuchtemessung.de)

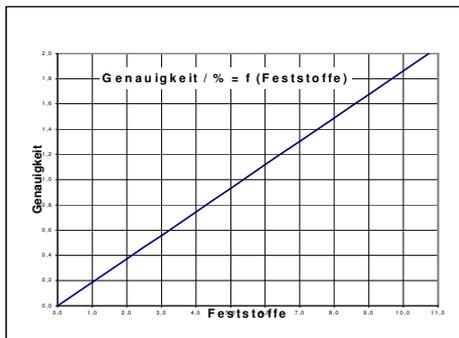
### Eindringtiefe



### Luft/Gas Einfluss

Luft / Gas ( $\epsilon_r = 1$ ) hat im Gegensatz zu trockenem Rohöl / Paraffinen ( $\epsilon_r = 2,15 - 2,2$ ) – und Wasser ( $\epsilon_r = 80$ ), eine geringe Dielektrizitätskonstante. Bei hohem Wassergehalt ist der Gaseinfluss höher. Bei einem Messbereich bis < 5%. (Wasser / Volumen) ist kein relevanter Gaseinfluss vorhanden.

### Feststoffe Einfluss



Feststoffe ( $\epsilon_r = 5..10$ ) - haben im Gegensatz zu trockenem Rohöl, Parafine ( $\epsilon_r = 2,15 - 2,2$ ) - eine hohe Dielektrizitätskonstante.

Bei einem konstanten Feststoffanteil von < 5% ist es nicht notwendig diesen Einfluss über Kurven-Parameter zu kompensieren.

### Dichte Einfluss

Wenn sich das Medium ändert, ist es möglich diesen Fehler über Kurvenparameter zu kompensieren.