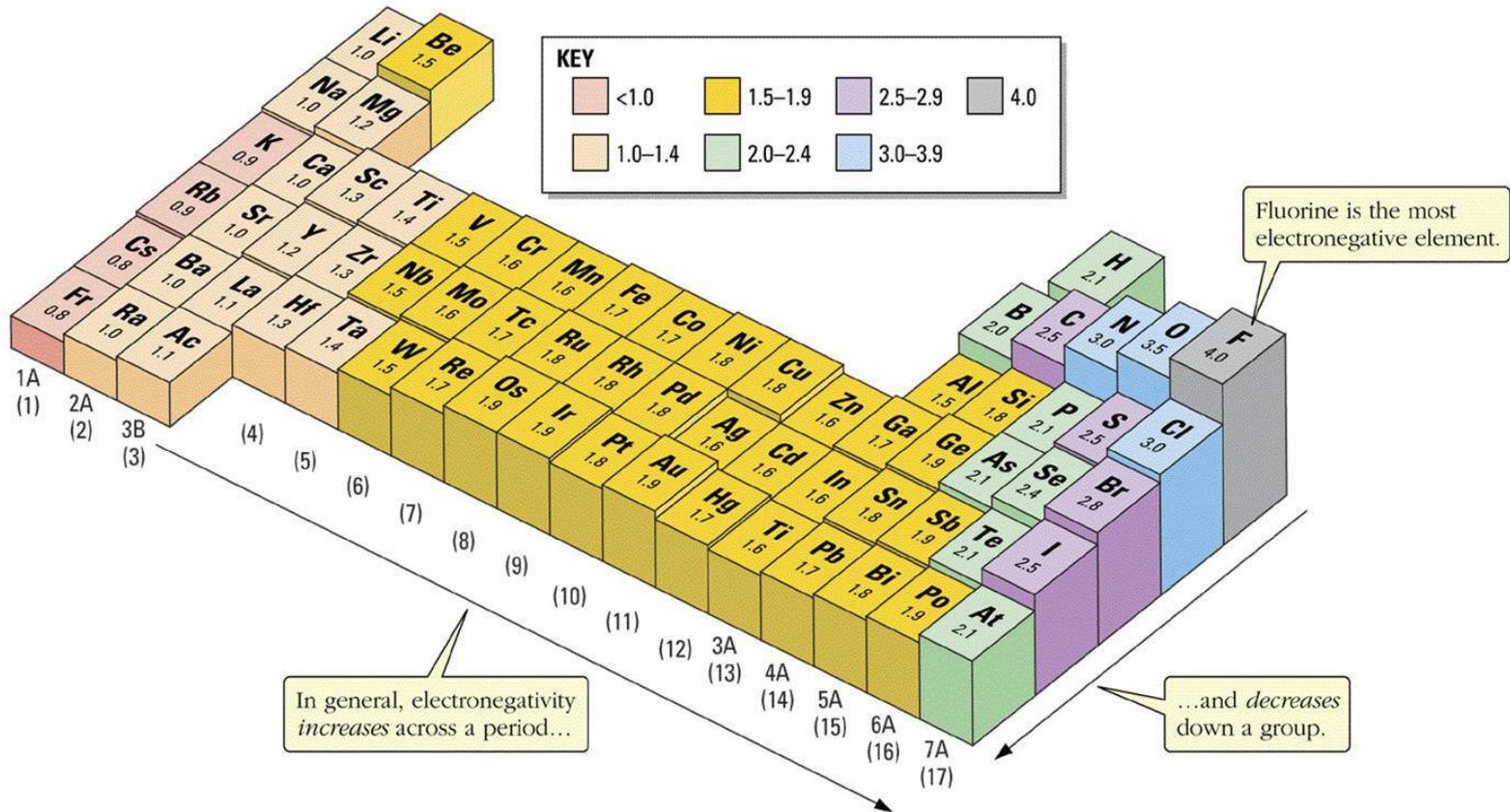


# Sensorik polarer Kraftstoffe

Martin Unglert

# Elektronegativität

Definition: Polarität bezeichnet Unterschiede in der Ladungsverteilung von Molekülen



Quelle: <https://www.birdvilleschools.net/cms/lib2/TX01000797/Centricity/Domain/912/ChemLessons/Lessons/Bonding/image014.jpg>



# Permittivität als Maß für die Polarität

Definition: Polarität bezeichnet Unterschiede in der Ladungsverteilung von Molekülen

Debye-Gleichung:

$$P_m = \epsilon_r - 1 / \epsilon_0 + 2 \cdot M / \rho = N_A / 3 \epsilon_0 k_B T (\alpha + \mu^2 / 3k_B T)$$

$$\epsilon_r = C / C_0$$

$\epsilon_r$  = relative Permittivität

$P_m$  = molare Polarisierung

$N_A$  = Avogadro-Konstante

$k_B$  = Boltzmann-Konstante

$\epsilon_0$  = elektrische Feldkonstante

$\alpha$  = elektrische Polarisierbarkeit

$T$  = absolute Temperatur

$\rho$  = Dichte

$M$  = molare Masse

$\mu$  = permanentes Dipolmoment

$C_0$  = Kapazität leere Kondensator

$C$  = Kapazität gefüllter Kondensator

# Komplexe Permittivität

$$\epsilon_r(\omega, T) = \epsilon_r(\omega, T)' - j\epsilon_r(\omega, T)''$$

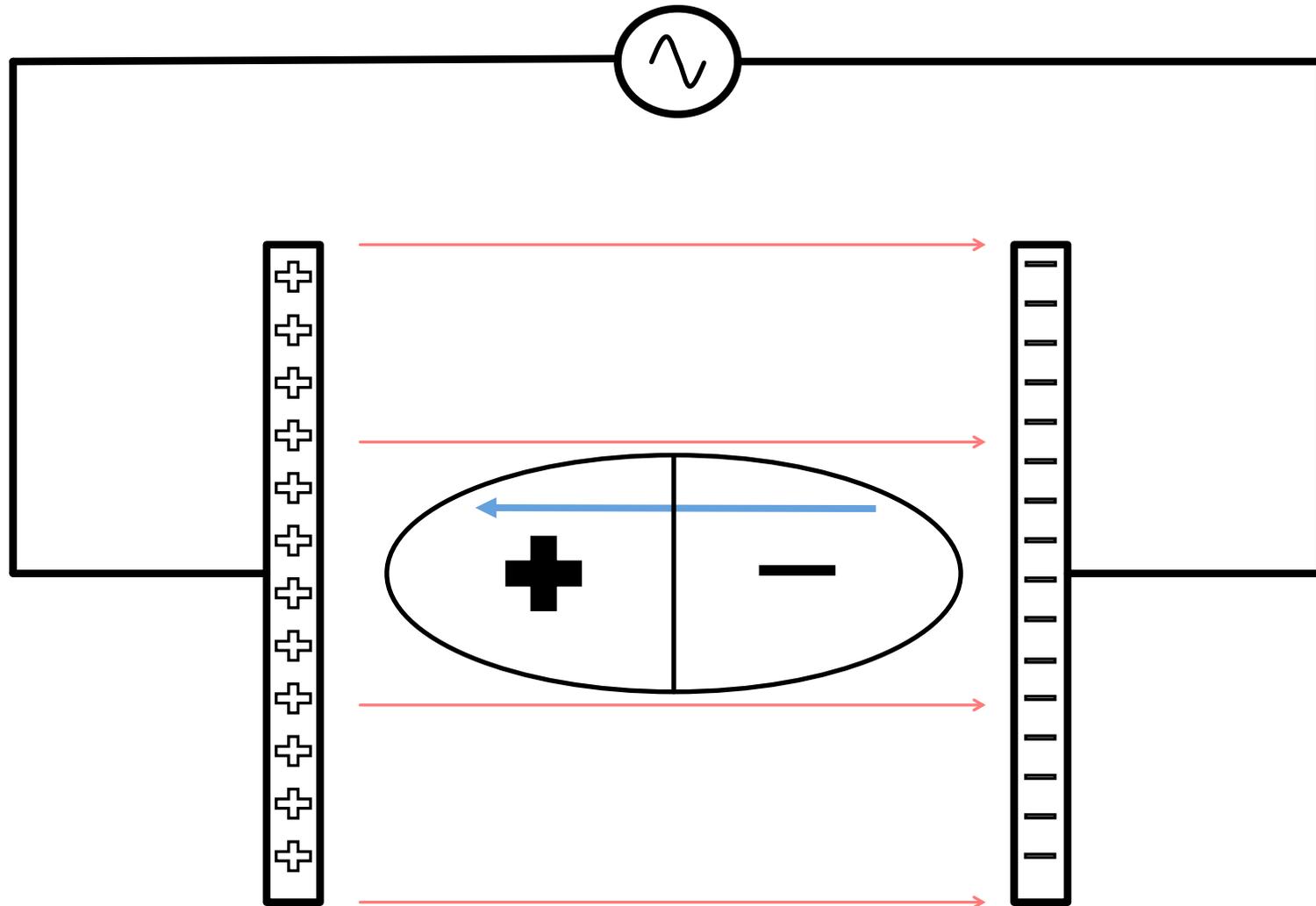
## Realteil

- Orientierungspolarisation
- Ionenpolarisation
- Elektronenpolarisation

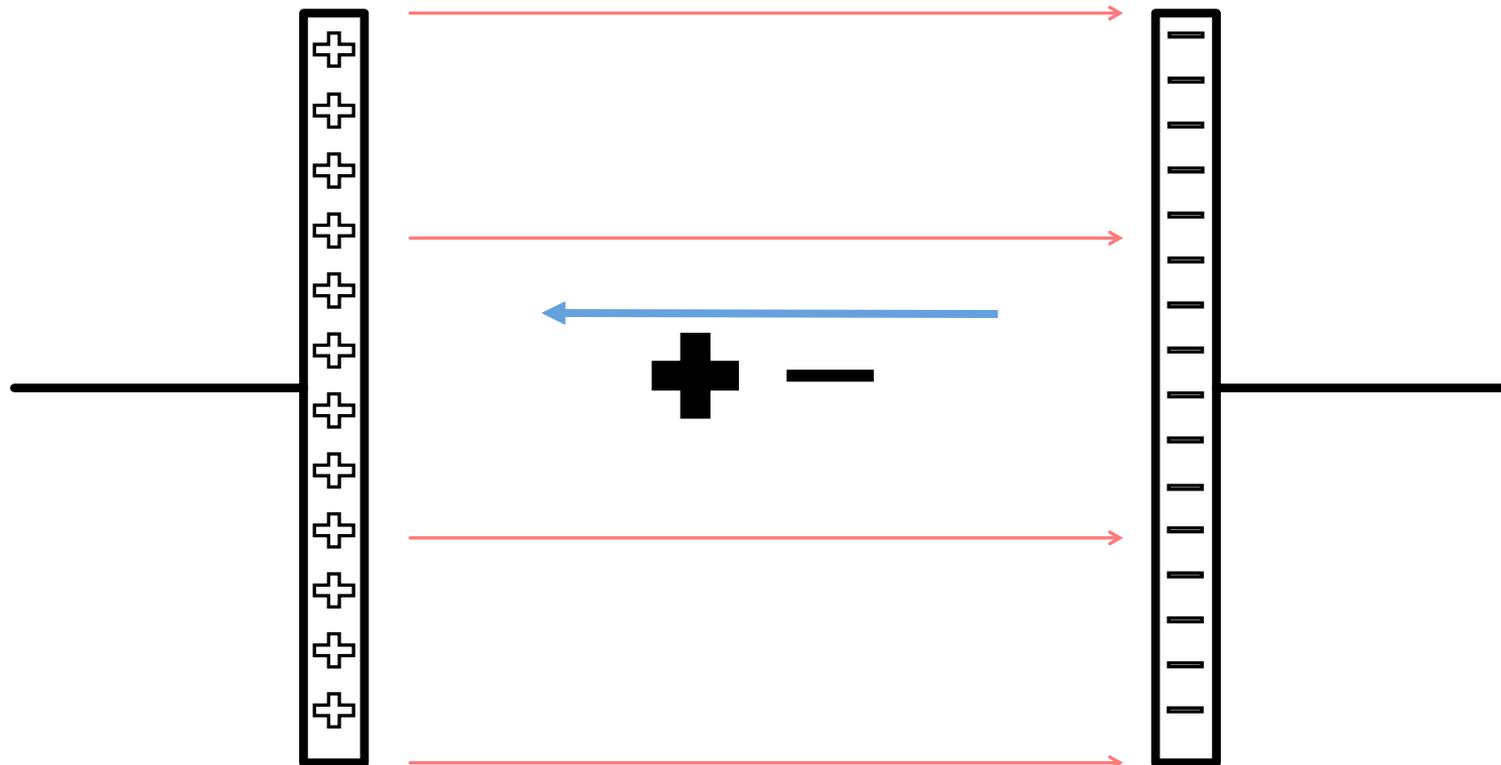
## Imaginärteil

- Polarisationsverluste
- Leitfähigkeitsverluste

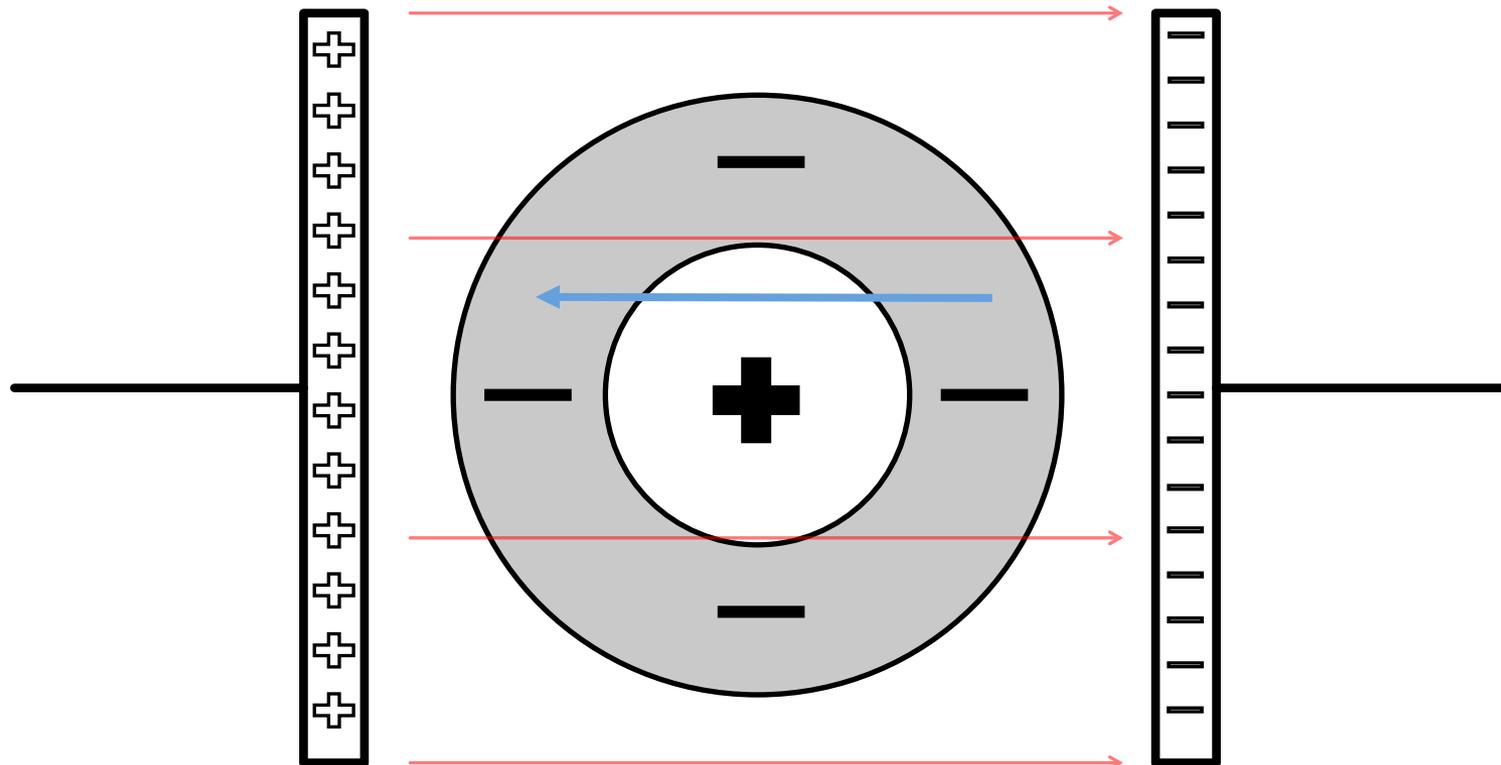
# Orientierungspolarisation



# Ionenpolarisation

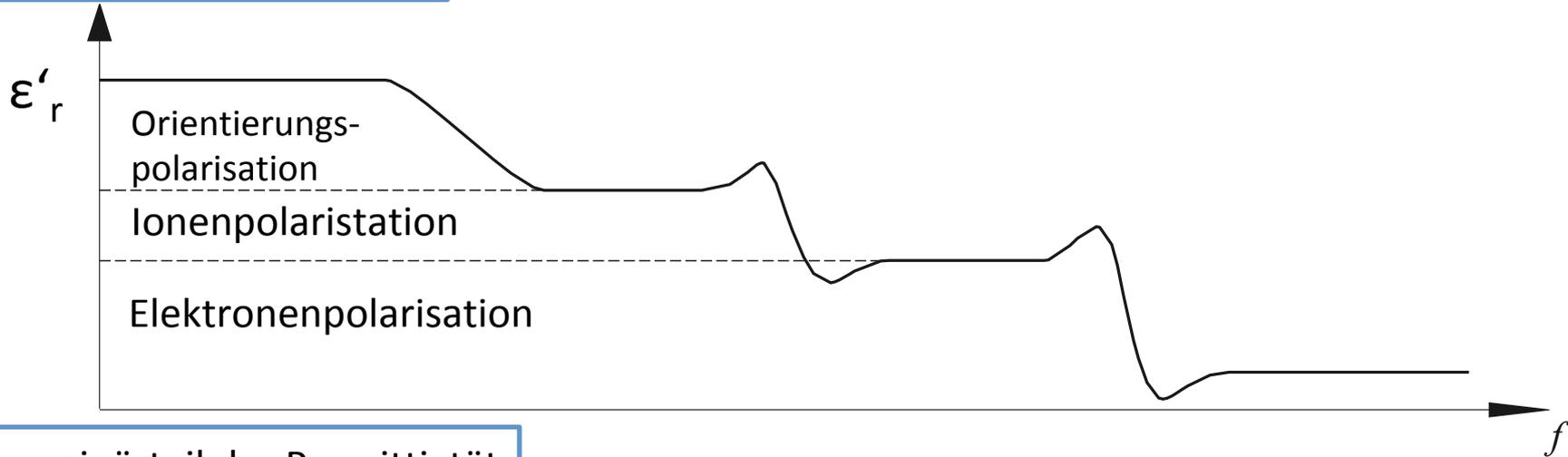


# Elektronenpolarisation

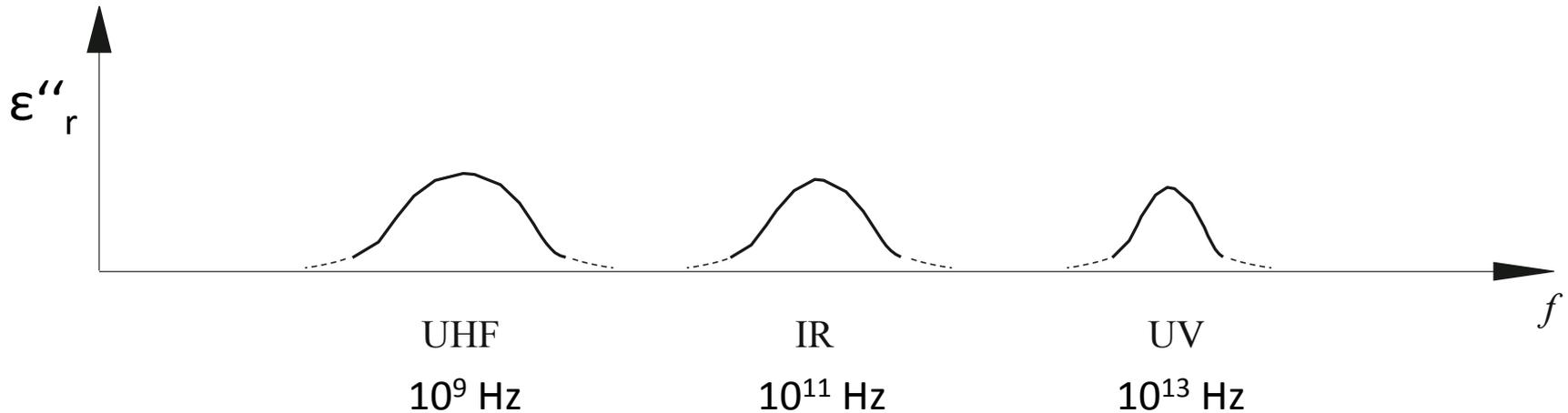


# Frequenzabhängigkeit der Polarisierung und der Verluste

Realteil der Permittivität



Imaginärteil der Permittivität



# Übersicht über Dielektrische Materialien

Material	Relative Permittivität
Vakuum	1
Luft	1,00059
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Keramik	9,8
TiO <sub>2</sub> -Keramik	85
Quarzglas	3,8
Bor-Silikat-Glas	4–6
Porzellan	4–8
Diamant (C)	5,6
Silizium (Si)	11,9
Papier	4–5,6
Polyvinylchlorid (PVC)	≈ 3
Polypropylen (PP)	2,2
Polystyrol (PS)	3
Polytetrafluoräthylen (PTFE)	2,1

Lösungsmittel	Relative Permittivität
n-Hexan	1.79
n-Heptan	1.95
Cyclohexan	2.02
Toluol	2.38
Diethylether	4.14
Dichlormethan	8.15
Aceton	15.85
Acetonitril	42.41
Ethanol	22.34
Methanol	29.37
Wasser	81.04

Quelle: W. Plaßmann, D. Schulz, Handbuch Elektrotechnik, 2013, 6. Auflage, Springer Vieweg.

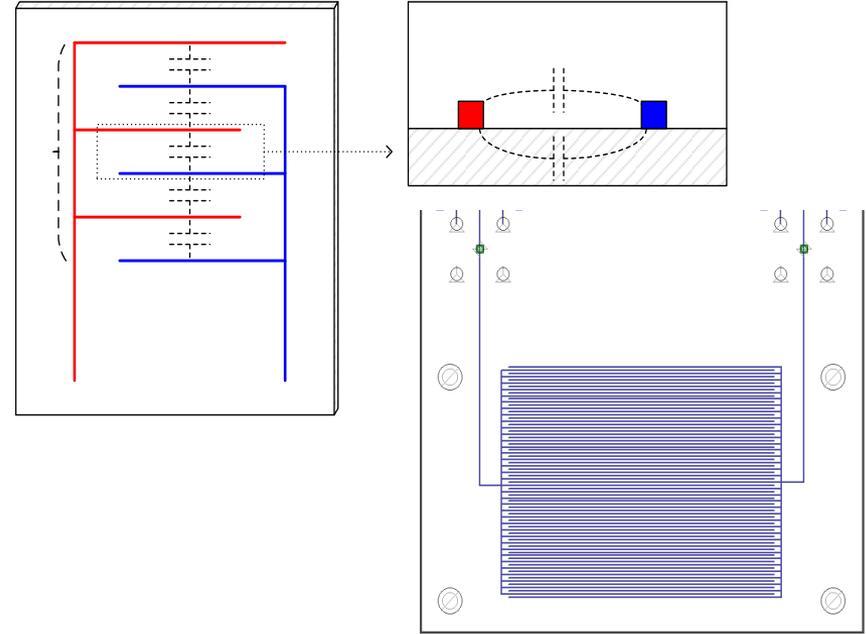
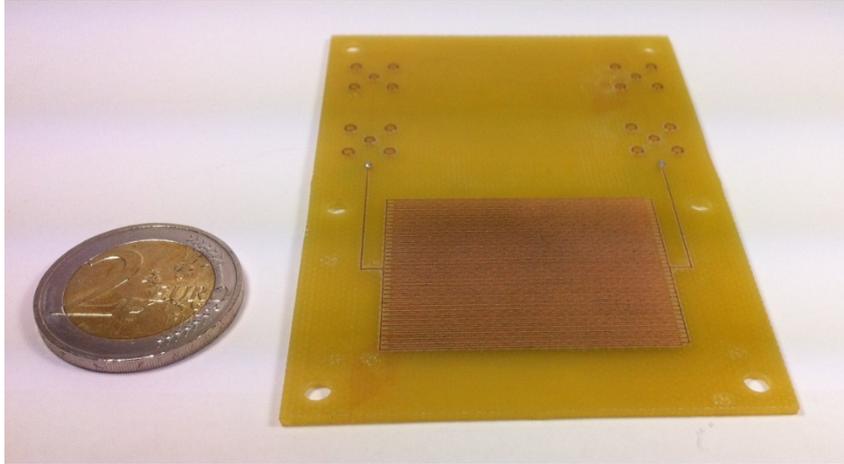
Relative Permittivität als Maß für die Polarität

Sensoren zur Messung der Permittivität

Änderung der Polarität während der Kraftstoffalterung

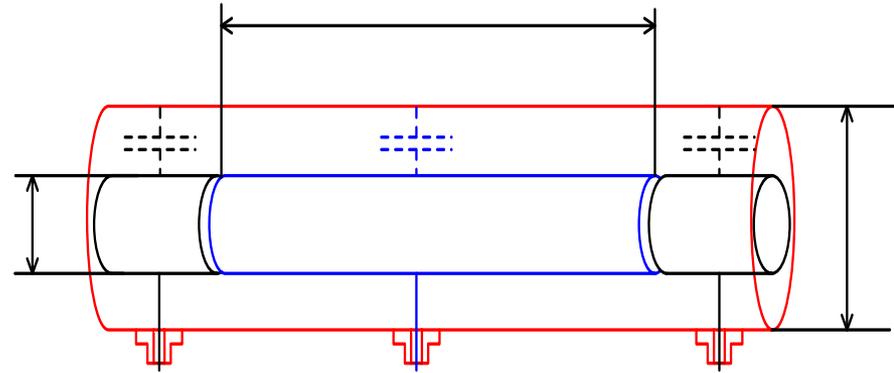
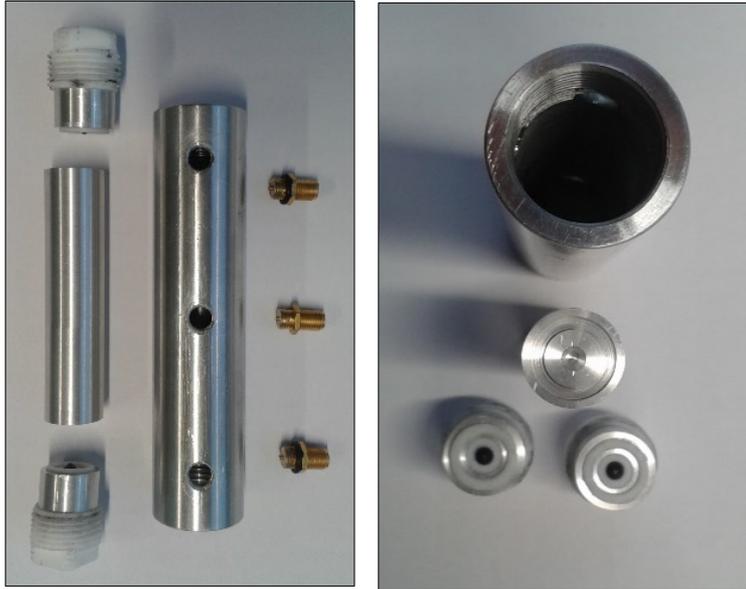
Zusammenfassung

# Interdigitalkondensator



- Vorteile: Kostengünstig, leicht zu fertigen, schnell und einfach zu reinigen, geringes Probenvolumen erforderlich
- Nachteile: Kalibration erforderlich
- Herstellungskosten: ca. 10€ (Einzelfertigung des Prototyps)
- Messgenauigkeit: rel. Permittivität ca.  $\pm 0,05$

# Zylindersensor



- Vorteile: leicht zu fertigen, keine Kalibration notwendig, geringes Probenvolumen erforderlich
- Nachteil: höherer Reinigungsaufwand
- Herstellungskosten: ca. 60€ (Einzelfertigung des Prototyps)
- Messgenauigkeit: rel. Permittivität ca.  $\pm 0,005$

Relative Permittivität als Maß für die Polarität

Sensoren zur Messung der Permittivität

Änderung der Polarität während der Kraftstoffalterung

Zusammenfassung

# Polarität von Kraftstoffen

Kraftstoff	relative Permittivität
Premium Diesel	2.145
HVO	2.045
OME	4.089
RME	3.264
UCOME	3.271
PtX (Benzin)	1.961

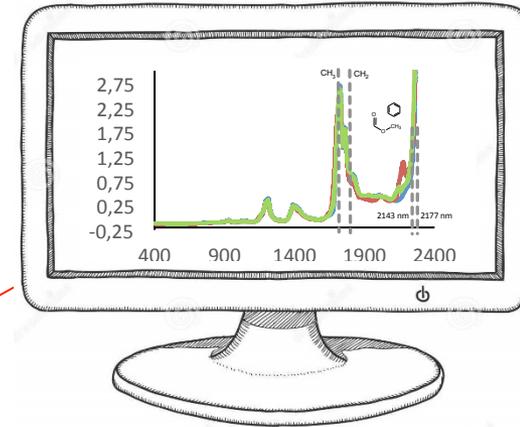
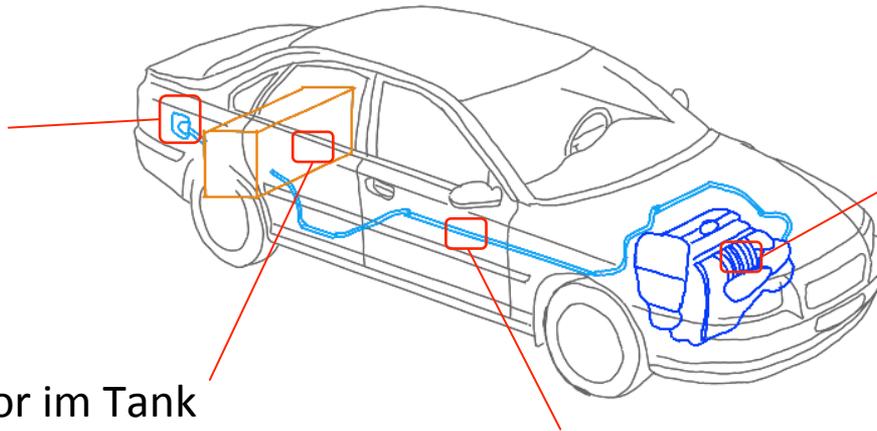
# Anwendung der dielektrischen Relaxationsspektroskopie

Teil einer on-board Sensorik zur Erkennung der Kraftstoffqualität und des Alterungsgrades

Optischer Sensor im Tankstutzen

Interdigitalsensor im Tank

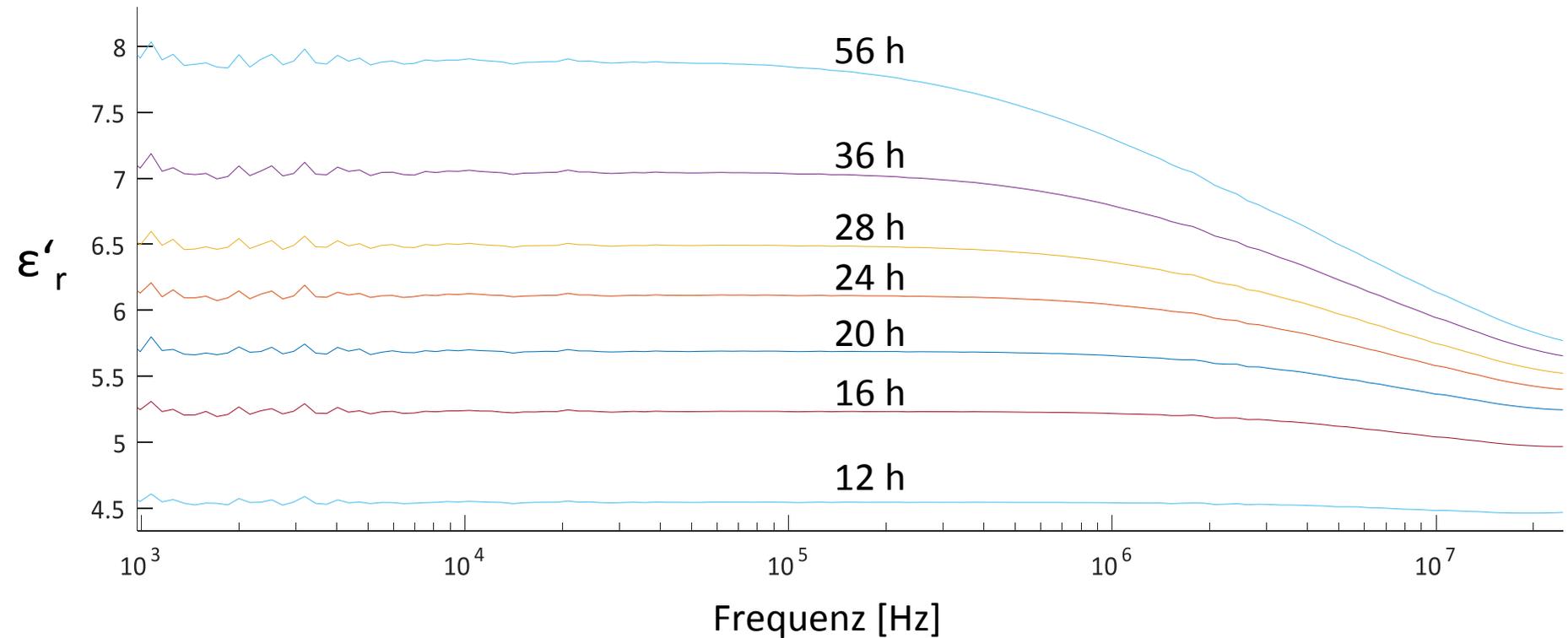
Optischer Sensor in der Kraftstoffleitung zum Motor



Anpassung des Motormanagements

# Zunahme der relativen Permittivität durch Alterung

## Rapsölmethylester RME:

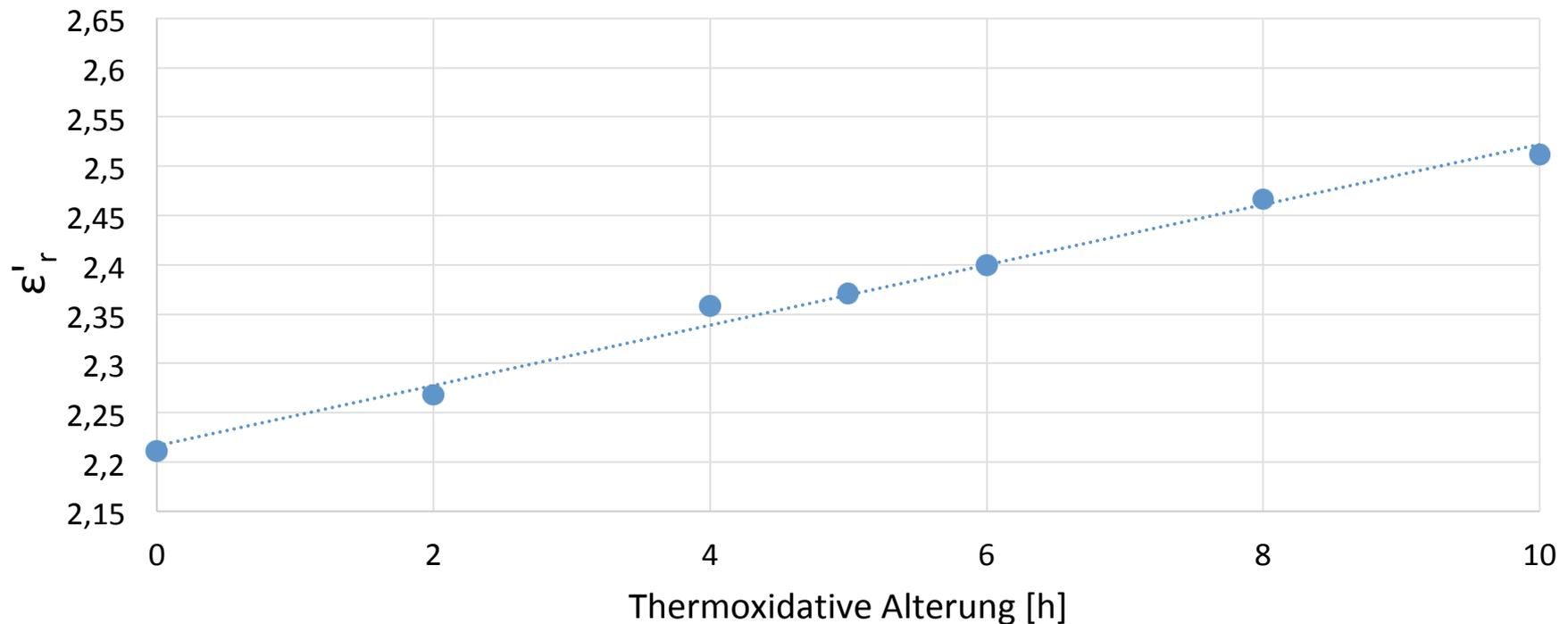


Thermoxidative Alterung im Rancimat (bei 110 °C und 10L/h Luftstrom)

# Zunahme der relativen Permittivität durch Alterung

## Diesel/RME-Blend B7:

Relative Permittivität bei 25 °C und 100 kHz

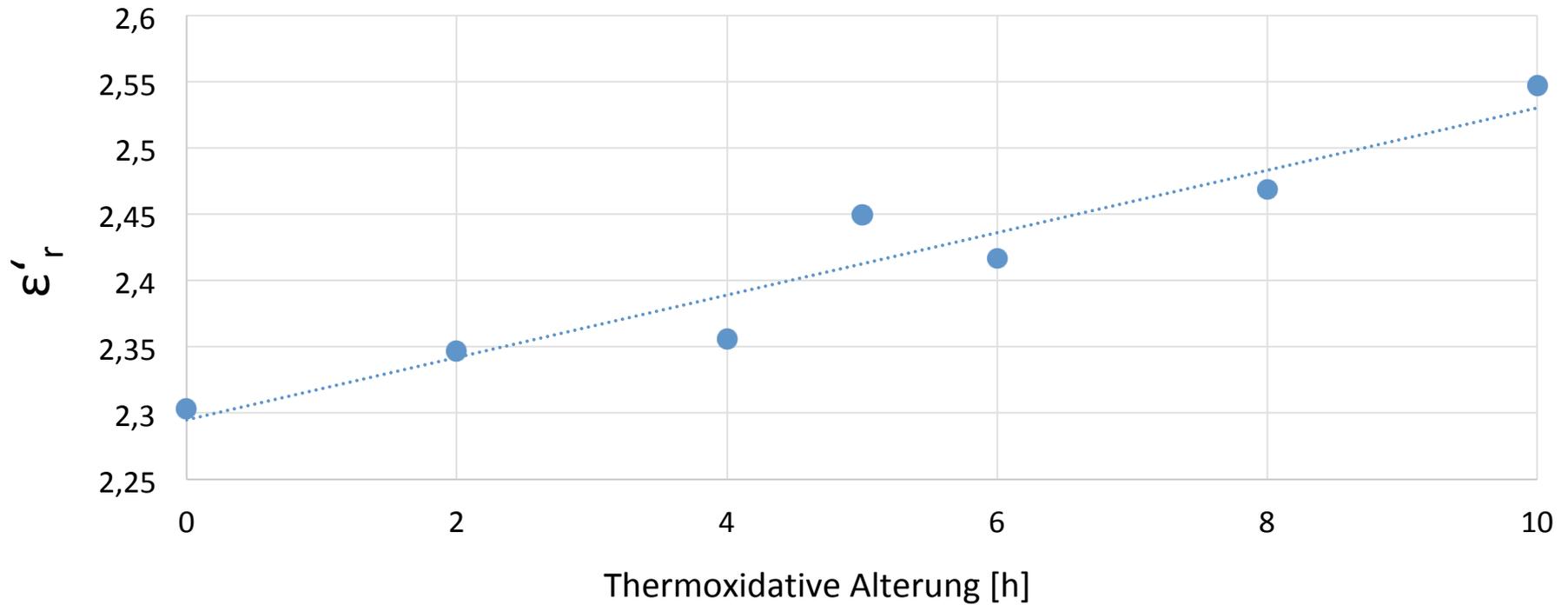


Thermoxidative Alterung bei 110 °C und 10L/h Luftstrom

# Zunahme der relativen Permittivität durch Alterung

## Diesel/RME-Blend B20:

Relative Permittivität bei 25 °C und 100 kHz



Thermoxidative Alterung bei 110 °C und 10L/h Luftstrom

# UCOME - Reproduzierbarkeit der Kraftstoffalterung

Therмоoxidative Alterung [h]	0	2	4	6	8	24	48	72
$\epsilon_r$	3.26	3.26	3.26	3.27	3.28	5.48	7.17	7.72

Proben	$\epsilon_r$
1	5.79
2	5.92
3	5.82
4	5.77
5	5.81
6	5.80
7	5.94
8	5.80

Standardabweichung 1%

Proben	$\epsilon_r$
1	7.74
2	7.70
3	7.74
4	7.79
5	7.57
6	7.80
7	7.69
8	7.64

Standardabweichung 1%

Relative Permittivität als Maß für die Polarität

Sensoren zur Messung der Permittivität

Änderung der Polarität während der Kraftstoffalterung

Zusammenfassung

- Die relative Permittivität als Maß für die Polarität von Kraftstoffen
- Die Polarität von Kraftstoffen beeinflusst die Mischbarkeit
- Kraftstoffe können anhand ihrer Polarität unterschieden werden
- Durch Alterung nimmt die Polarität der Kraftstoffe zu
- Wenn der Kraftstoff bekannt ist kann durch die Polarität der Alterungsgrad identifiziert werden

Wir danken der

**Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V.**

und dem

**Bundesministerium für Bildung und Forschung**

für die Förderung unseres Forschungsvorhabens.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Union zur Förderung von  
Oel- und Proteinpflanzen e. V.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

[Martin.Unglert@hs-coburg.de](mailto:Martin.Unglert@hs-coburg.de)