

4. Kennwerte für Kraftstoffe



4. Einleitung – Definition und Bedeutung von Kraftstoffnormen

4.1 Dichte

4.2 Siedeverhalten und Flüchtigkeit

4.3 Flamm- und Zündpunkt

4.4 Fließverhalten

4.5 Kälteverhalten und Filtrierbarkeit

4.6 Energiegehalt

4.7 Wassergehalt

4.8 Ablagerungsneigung und Verschmutzung

4.9 Klopfestigkeit und Zündfähigkeit von Kraftstoffen

4.9.1 Oktanzahl

4.9.2 Cetanzahl und Cetanindex

4.9.3 CCAI

Die Sicherstellung einer definierten, einheitlichen Kraftstoffqualität ist die Grundvoraussetzung für:

- für die Entwicklung und Optimierung neuer Motoren bzw. Brennverfahren sowie
- für einen störungsfreien und wartungsarmen Motorenbetrieb

Eine **Kraftstoff-Norm** (DIN-Norm) ist ein unter Leitung eines Fachausschusses Mineralöl und Brennstoffnormung im Deutschen Institut für Normung erarbeiteter **freiwilliger Standard**, in dem Kraftstoffe vereinheitlicht sind.

Normen entstehen auf Anregung und durch die Initiative interessierter Kreise (in der Regel die deutsche Wirtschaft), wobei Übereinstimmung unter allen Beteiligten hergestellt wird.

Auf internationaler Ebene erarbeitete Standards sind zum Beispiel ISO-Normen und EN-Normen.

Internationale Normungsinstitutionen:

Europäischen Komitee für Normung (CEN)

Internationale Organisation für Normung (ISO)



- Kraftstoffnormen basieren auf gesicherten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung basieren und dienen der Allgemeinheit,
- sind Maßstab für technisch einwandfreies Verhalten und
- werden im Prozess der Normung erarbeitet.

- DIN-Normen sind Empfehlungen und können angewendet werden; sie müssen nicht benutzt werden („private Regelwerke mit Empfehlungscharakter“).
- Gelegentlich allerdings macht sich der Gesetzgeber das Vorhandensein zweckdienlicher Normen zunutze und legt die zwangsläufige Anwendung durch Gesetze oder Verordnungen fest (Verbindlichkeit steigt!).

Norm („Weißdruck“):

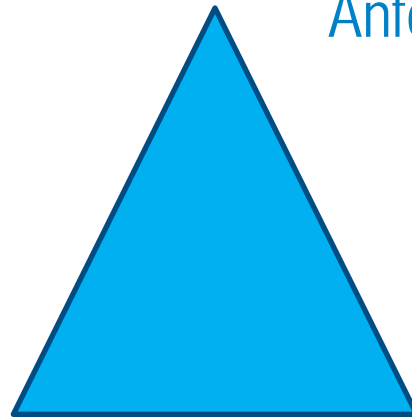
- Durch Normenorganisationen verabschiedete Endfassung einer Norm.
- Vornorm („Blaudruck“):
- Eine Vornorm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird (z. B. DIN V ...).
- Durch die Anwendung einer Vornorm sollen auch die notwendigen Erfahrungen gesammelt werden, die dann die Grundlage zur Erstellung einer regulären Norm bilden können.

Normentwurf („Gelbdruck“ oder „Rotdruck“):

- Ein Normentwurf wird der Öffentlichkeit mit seiner Herausgabe zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.
- Diese Stellungnahmen sind innerhalb einer definierten Einspruchsfrist beim DIN einzureichen.
- Nach Prüfung der Einsprüche und Stellungnahmen kann der Normentwurf durch eine endgültige Norm abgelöst werden oder in einen erneuten Entwurf münden.
- Der Inhalt eines Entwurfs kann deshalb von der Endfassung der Norm gleicher Nummer abweichen. (z. B. E DIN ..., prEN ...)
- Normentwürfe haben deshalb nicht den Status einer verabschiedeten Norm, sie können aber in gegenseitigem Einvernehmen zwischen Vertragspartnern eingesetzt werden.



Raffinerie: Produktionskosten niedrig, wenn
Anforderungen an Kraftstoffe gering



Motorenbauer:
hohe Anforderungen
an KS-Qualität, wenig Schäden,
keine Schadesersatzforderungen

Motorenbetreiber:
niedrige Kraftstoffkosten,
keine Motorschäden

- Normungsgegenstand
- Anwendungsbereich
- Normative Verweisungen
- Probenahme
- Kennzeichnung Tanksäulen
- Anforderungen und Prüfverfahren
 - Grenzwerte
 - Zulässigkeit von Beimischungen (Additive, Farbstoffe)
 - klimatisch abhängige Anforderungen
- Präzision und Streitfall
- nationaler Anhang, landesspezifische Regelungen
- Anhang informeller Charakter (Ringversuche, zusätzliche Messdaten)

- Kennwerte definieren Kraftstoffeigenschaften
- Kontroll- und Eignungswerte
- Beschreibung charakteristischer Eigenschaften oder variabler Eigenschaften (Einfluss Produktionsprozess, Alterung, Verunreinigung)
- Kennwertermittlung erfolgt mittels chemischer, physikalischer oder motorischer Messverfahren

Vorraussetzungen für Aufnahme eines Kennwertes in eine Norm:

- Bedeutung, Auswirkungen von Grenzwertüberschreitungen
- Vorhandensein genormter Prüfverfahren
- Präzision
- Flächendeckung geeigneter Messgeräte in den Prüflaboratorien
- Wechselbeziehung zwischen Kenngrößen
- vertretbarer finanzieller/zeitlicher Aufwand für die Bestimmung des Kennwertes

- physikalische Messverfahren
- chemische Messverfahren
- motorische Messverfahren



sind gekennzeichnet durch:

- Prüffehler DIN 51848
- Toleranzen – wahrer Wert
- Genauigkeit, Richtigkeit
- Wiederholbarkeit
- Vergleichbarkeit
- Ringversuche!

Definition von Ablehnungsgrenzwerten!

Richtigkeit (accuracy)

Gibt Auskunft darüber, wie weit ein ermittelter Messwert vom „wahren“ Wert abweicht.

Die Richtigkeit ist also ein Maß für die Abweichung aufgrund eines systematischen Fehlers.

Genauigkeit (precision)

Ist ein Maß für die Übereinstimmung (Reproduzierbarkeit) unabhängig voneinander ermittelter Messwerte (Messwiederholung)..

Die Genauigkeit beschreibt also die zufällige Streuung von Messwerten (zufälliger Fehler).

Kennwert				
Gesamtverschmutzung	Grenzwert aus DIN 12662		24 mg/kg	
	Vergleichbarkeit aus DIN 12662		30% vom Mittelwert	
	Ablehnungsgrenzwert für den Produzenten		16,8 mg/kg	
	Ablehnungsgrenzwert für den Käufer/Anwender		31,2 mg/kg	

**GSV < 16,8
mg/kg**

Grenzwert wird von Seiten des
Produzenten sicher eingehalten



24 mg/kg



**GSV > 31,2
mg/kg**

Grenzwert ist mit statistischer Sicherheit
überschritten, Regressforderungen
berechtigt!

Probenahme nach DIN 51574, DIN 51750

- repräsentative Probenahme wichtig! – Messwertabweichungen um mehr als 100%!
- homogene Probe, Entnahme am richtigen Ort,
geeignete Anzahl (Mischproben), Behälterhöhe!, Entnahmezeitpunkt (V-T)
- Aussage über Einzel- und/oder Mischproben
- geeignetes Equipment, geeignete Gefäße verwenden
- Durchmischen/Umpumpen, Vorlauf verwerfen
- Rückstellproben, richtig lagern, eindeutig beschriften, verplomben



4. Einleitung – Definition und Bedeutung von Kraftstoffnormen

4.1 Dichte

4.2 Siedeverhalten und Flüchtigkeit

4.3 Flamm- und Zündpunkt

4.4 Fließverhalten

4.5 Kälteverhalten und Filtrierbarkeit

4.6 Energiegehalt

4.7 Wassergehalt

4.8 Ablagerungsneigung und Verschmutzung

4.9 Klopfestigkeit und Zündfähigkeit von Kraftstoffen

4.9.1 Oktanzahl

4.9.2 Cetanzahl und Cetanindex

4.9.3 CCAI

- physikalische Kenngröße

$$\rho(t, p) = \frac{m}{V} \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

- Quotient aus Masse und Volumen, Zahlenwert der Massenkonzentration

- Relative Dichte ρ_n :

$$\rho_n = \rho / \rho_0$$

Verhältnis der Masse eines Körpers zur Masse
einer volumengleichen Menge einer Standardsubstanz ρ_0
(meist Wasser bei 4°C)

- Die Temperaturabhängigkeit wird durch den Ausdehnungskoeffizienten, die Druckabhängigkeit durch die Kompressibilität ausgedrückt.
- Eine präzise Dichteangabe, insbesondere für fluide Stoffe, umfasst unbedingt die Nennung der zugehörigen Temperatur!
- Die Druckabhängigkeit der Dichte im Schwankungsbereich des Normaldruckes ist, außer bei Gasen, vernachlässigbar.
- Genormte Prüfverfahren:
 - EN ISO 3675 (Aräometer-Verfahren),
 - DIN EN ISO 12185 (U-Rohr-Oszillations-Verfahren)
 - DIN 51757 (verschiedene Verfahren)

Liefert als Summenparameter Aussagen über Stoffgemische.

Kein Qualitätsmerkmal für Kraftstoffe, kein Rückschluss auf motorisches Verhalten möglich!

Wichtige Kenngröße für:

- Klassifizierung und Identifizierung von Rohölen, Kraft- und Brennstoffen

z. B. Dichtebereiche Schiffahrtskraftstoffe nach DIN ISO 8217:2009-08:

825 – 900 kg/m³ Destillatkraftstoff (Kategorie DMX, DMA, DMB)

bis 920 kg/m³ blended Type (Kategorie DMC)

960 – 1110 kg/m³ Rückstandsöl (Kategorie RMA bis RMK)

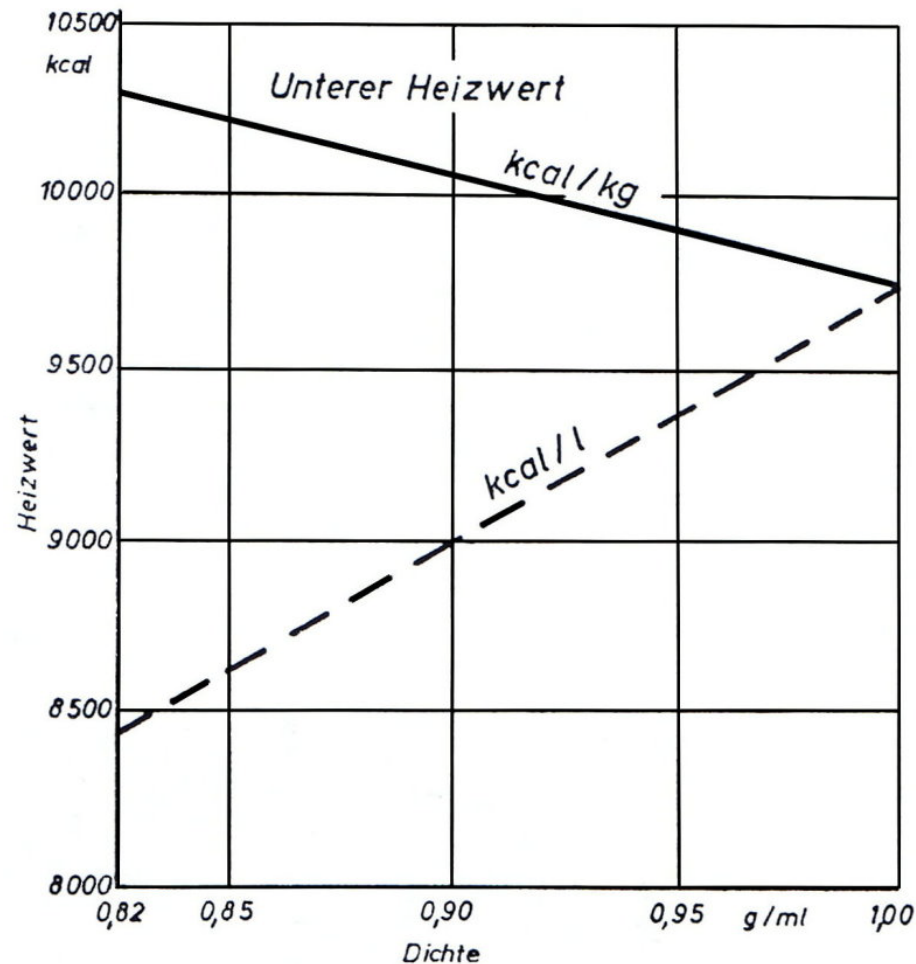
- Zuordnung zu verschiedenen Rohöltypen:

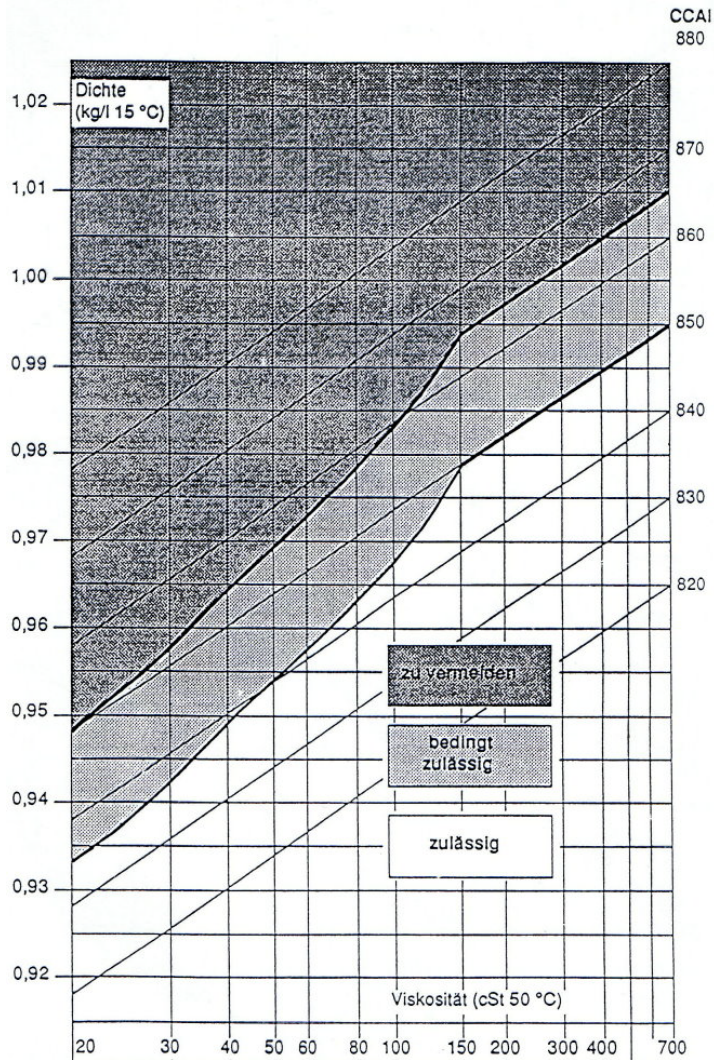
naphtenbasisches Rohöl (ρ_n) > gemischtbasisches Rohöl (ρ_g) > paraffinbasisches Rohöl (ρ_p)

Wichtige Kenngröße für:

- die Aufdeckung von **Verunreinigungen** bzw. Vermischungen mit anderen Kraftstoffen, Konzentrationsbestimmung von Mischungen
- den Umschlag und Handel mit Kraft- und Schmierstoffen (Umrechnung Masse/ Volumen - Versteuerung Kraftstoffe nach Masse)
- die **Herleitung von Kraftstoffeigenschaften** in Form statistischer Gesetze (z. B. Heizwert, Zündwilligkeit)
- die Umrechnung der dynamischen Viskosität in die kinematische Viskosität
- die Brennstoffaufbereitung in Zentrifugalseparatoren (herkömmlich 991 kg/m^3 , Separatoren unter Verwendung von Schwerflüssigkeiten bis $1,010 \text{ kg/m}^3$)
- Berechnung der Durchflussmenge durch Düsen

Beispiel 1: Heizwert von handelsüblichem DK



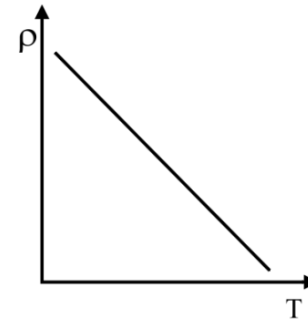


Beispiel 2: CCAI
Grenzkurven, gültig für MAK-
Motoren der Baureihen
M 282/332, M 452, M 453,
M 551/552

- spez. Dichte von H₂O im Normzustand bei 3,98 °C = 0,976 g/cm³
- Bezugstemperatur bei Kraftstoffen und Schmierölen
15°C (ρ_{15})
- Umrechnung auf andere Temperaturen Tabellenwerke, Normen

$$\rho = f(T)$$

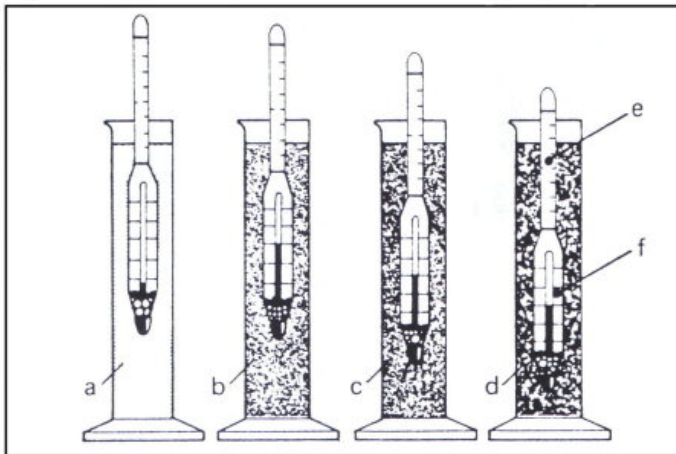
$$\rho_{15} = \rho_{gem.T} + a (T - 15)$$



↑ z.B. $a = 0,8$ Schweröl

Änderung der Dichte pro Grad

Aräometerverfahren nach EN ISO 3675



a Wasser bei + 4°C
b naphthenbasisches Öl bei 15°C
c gemischtbasisches Öl bei 15°C
d paraffinbasisches Öl bei 15°C
e Dichteskala
f Thermometerskala

Synonyme:
Spindel, Senkspindel,
Senkwaage

- zylindrische Schwimmkörper mit Dichte Skala
- Funktionalität beruht auf dem hydrostatischen Prinzip: Aräometer verdrängt das Flüssigkeitsvolumen, das dem Gewicht der Flüssigkeit entspricht
- je tiefer das Aräometer einsinkt, desto geringer ist die Dichte der Flüssigkeit

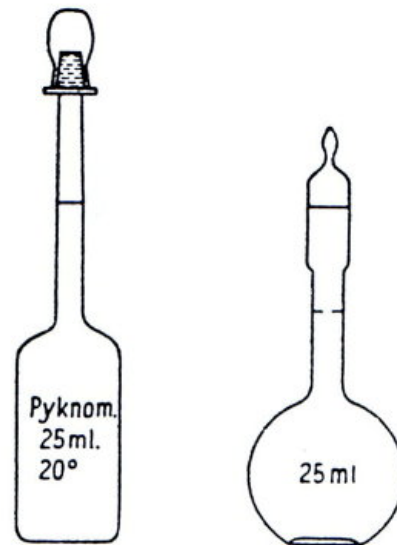
- **Temperierung** der Probe mit Thermostat auf Bezugstemperatur
- **Suchspindel** zur groben Auswahl des Dichtebereichs (DIN 12793)
- **Laboratoriumsspindeln 1 – 5**: decken Messbereich von $0,63 - 1,000 \text{ g/cm}^3$ ab
- **Ablesestelle**:
 - durchsichtige Flüssigkeiten von unten her in Ebene des Flüssigkeitsspiegels (unterer Meniskus)
 - undurchsichtige Flüssigkeiten, oberer Wulstrand minus 2mm
- **Wartezeit vor Ablesung**:
 - Otto- bzw. Dieselkraftstoff nach 1 min
 - Schmier-, Heiz- und Schweröl nach 10 min
- **Messunsicherheit**: typischerweise $1 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ bis bestenfalls $1 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ bei sehr speziellen Spindelausführungen

- mangelnde Durchmischung, Homogenität
- Wandberührung vermeiden \emptyset Standgefäß > 5 cm
- Luftblasen am Senkkörper (zusätzlicher Auftrieb!)
- statische Aufladungen
- Spindel nicht gewaltsam in Flüssigkeit hineindrücken, Flüssigkeitsfilm am Schaft führt zu Ergebnisverfälschung!
- Temperaturmessung muss mit gesondertem, geeichtem Thermometer erfolgen! (Spindeln mit Thermometer haben großen Streubereich, nach DIN nicht zulässig!)
- flüchtige Flüssigkeiten (Siedegrenze $< 100^\circ\text{C}$) in geschlossenen Gefäß auf 15°C herunter kühlen (Verluste!)



- bei Spezial-Aräometern sind die jeweiligen Konzentrationen direkt ablesbar (z. B. Aräometer für Akkumulatorensäure, Saccharometer für Zucker-Lösungen, Alkoholometer, Milcharäometer)
- in der Regel ist die Verwendung an den Gebrauch einer Tabelle (enthält Wertepaare Dichte/Konzentration) gebunden

Dichte-Bestimmung mit dem Pyknometer nach DIN 51757



Pyknometer: Glasgefäße verschiedener Form mit einem bis zu einer bestimmten Marke genau definierten Rauminhalt, werden mit Öl gewogen

- Wägen des leeren, dann des gefüllten und auf 20 Grad Celsius temperierten Pyknometers
- für die Dichtebestimmung von Flüssigkeiten gilt:

$$\rho_{Fl} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \cdot \rho_W$$

m_0 die Masse des leeren Pyknometers,

m_1 die Masse des mit Wasser gefüllten Pyknometers,

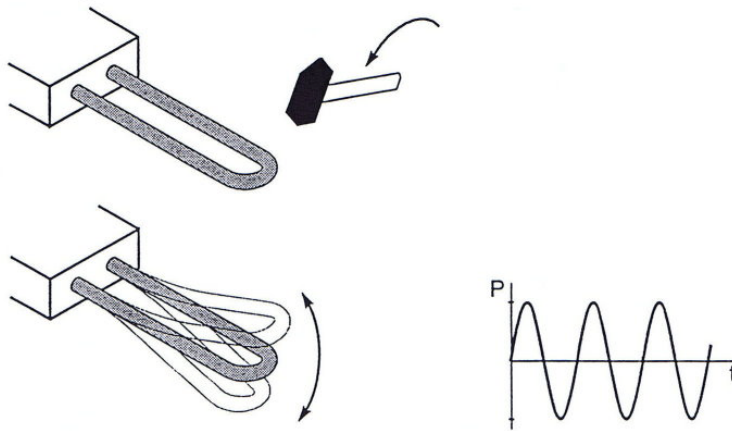
m_2 die Masse des Pyknometers, gefüllt mit der zu untersuchenden Flüssigkeit,

ρ_W die Dichte des Wassers

- Pyknometer muss vor Verwendung völlig sauber und trocken sein
- Befüllung erfolgt so hoch, dass beim Einsetzen des Stopfens, Flüssigkeit durch die Kapillare des Stopfens nach außen dringt
- nach dem Befüllen wird die Außenseite gut abgetrocknet (Gefäß und Kapillare)
- Temperaturnausgleich (z. B. im Wasserbad der gewünschten Temperatur)
- Einsetzen des Stöpsels (fest, blasenfrei, vollständige Füllung der Kapillare)
- abwarten und beobachten, ob der Spiegel am Ende der Kapillare stabil ist
- aus dem Bad nehmen und gut trocknen

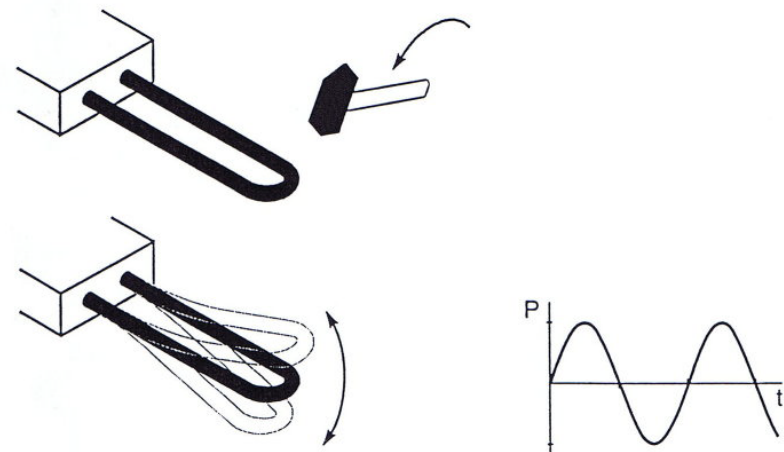
Prinzip des Biegeschwingers

U-Rohr gefüllt mit Luft:



niedrige Dichte → hoher Ton

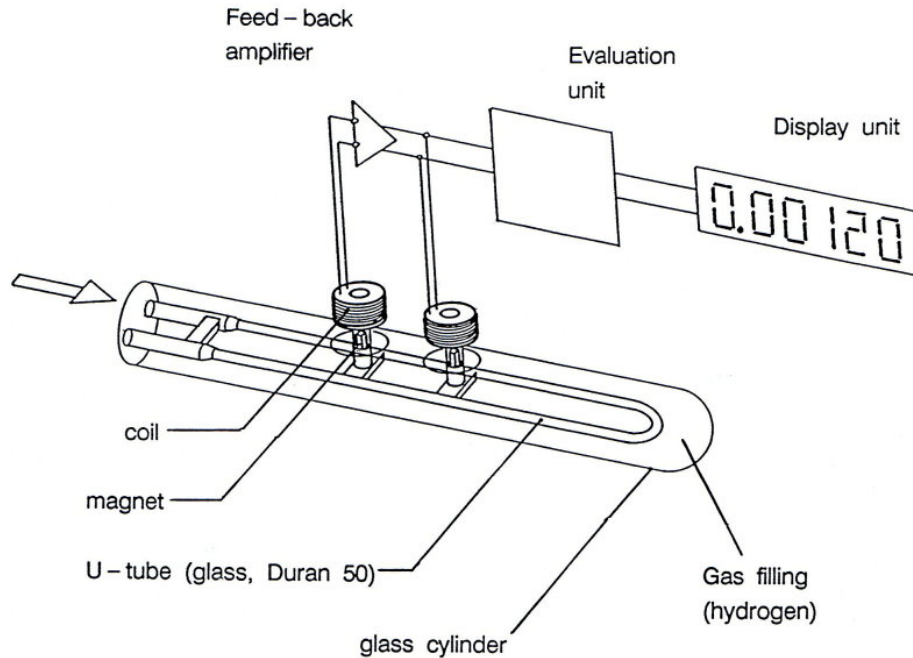
U-Rohr gefüllt mit Wasser:



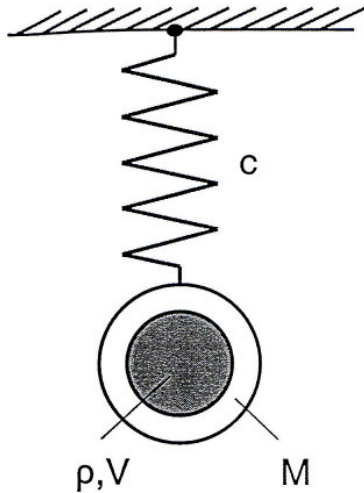
hohe Dichte → niedriger Ton

Die Eigenfrequenz des U-Rohres hängt von der Dichte der eingefüllten Probe ab.

Der oszillierende U-Rohr-Dichte-Sensor



- * The U-tube is kept continuously oscillating its natural frequency by means of a magneto-electrical excitation system.
- * The natural frequency depends on the density of the filled-in sample.
- * The oscillation period is measured and converted into density.



- f Frequenz
- c Federkonstante
- M Masse
- ρ Dichte
- V Volumen
- P Schwingungsperiode

$$f = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{c}{M + \rho * V}}$$

$$P = 2\pi * \sqrt{\frac{M + \rho * V}{c}}$$

$$\rho = P^2 * \underbrace{\frac{c}{4\pi^2 * V}}_A - \underbrace{\frac{M}{V}}_B$$

$$\rho = A * P^2 - B$$

Masse-Feder-Modell des Biegeschwingers

Vorteile gegenüber anderen Messverfahren

- Bestimmt die wahre Dichte, kein Einfluss des Luftauftriebs, unabhängig von der Erdbeschleunigung
- Einfache Justierung
- Kleinste Probenmengen: 0.1 ... 1 ml
- Einfache Bedienung
- Schnell und einfach zu thermostatisieren
- Höchste Präzision (Wiederholbarkeit)
- Kurze Messzeit: 1 ... 5 Minuten
- Messbereich: -25 bis 105°C

U-Rohr-Oszillations-Verfahren DIN EN ISO 12185

- Bereich laut Norm 600 – 1100 kg/cm³
- Fehlerquellen: Sedimente, Wasser, Phasentrennung
- Probenvorbereitung:
- Temperatur darf nicht unter Cloudpoint (ISO 3015), Beginn der Paraffinausscheidung (BPA) oder Wax Appearance Temperature (WAT) sinken oder muss 20°C über dem Pourpoint liegen
(3°C über WAT oder Cloudpoint → beginnt Paraffinausscheidung!)
- Heizöle → erwärmen bis sie flüssig sind
- Fehlerquelle:
 - Sedimente, Wasser, Phasentrennung
 - erwärmen → Verlust flüchtiger Substanzen beachten
- Temperatur sollte kleiner sein, als Temperatur bei der erste Gasblasen auftreten

- in den USA benutzte relative, dimensionslose Größe
- API (American Petroleum Institut)
- Bezugstemperatur 60°F (15,56°C)
- Dichte von luftfreiem Wasser bei 15,56°C 999,012 kg/m³
- willkürliche Zuordnung: rel. Dichte 0,6112 = 100 API-Grade
0,1076 = 0 API-Grad

- API Gravity = $(141,5 * 999,012 / \rho_{15}) - 131$ API [Grad]
- $\rho_{15} = (141,5 * 999,012 / \rho_{15}) / (131 + \text{API})$ [kg/m³]