

14 Online-Verfahren zur Kontrolle der Ölqualität von Verbrennungsmotoren

Wolfgang Fichtner, Heiner Kaden

Abstract

The significant extension of oil change intervals in combustion engines requires the reliable online monitoring of oil parameters, which can indicate the degree of abrasion. Today, prediction systems that calculate oil abrasion approximately from engine operating parameters like revolution, load, operating time and oil temperature are mostly used. In contrast to that approach, the article is directed on measurement systems, which can detect abrasion relevant oil parameters directly. A survey is given on the sensor principles for online measurements in engine oils. Capacitive electrode arrangements with the oil to be measured as dielectric fluid take a central position for this application. This group of sensors is completed by surface acoustic wave (SAW) sensors, based on piezo-electric elements, and some more rarely used developments, based on inductive, magnetic, electrochemical or optical sensor principles.

Kurzfassung

Um die Ölwechselintervalle verlängern zu können, ist die Online-Überwachung der Veränderung von verschleißrelevanten Ölparametern erforderlich. Derzeit sind zu diesem Zweck Prognosesysteme für die näherungsweise Bestimmung der Ölqualität aus Betriebsparametern, wie Motordrehzahl, Motorlast, Fahrstrecke und Öltemperatur, verbreitet. Dem entgegen sollen hier Messsysteme betrachtet werden, deren Signale vom tatsächlichen Ölzustand abhängig sind. Es wird ein Überblick über die für die Online-Messung an Motorenölen relevanten Sensorprinzipien gegeben. Eine zentrale Stellung nehmen dabei kapazitive Anordnungen ein, bei denen das zu charakterisierende Motorenöl als Dielektrikum fungiert. Ergänzt wird diese Gruppe der Sensoren durch Oberflächenwellen-Sensoren (SAW-Sensoren) auf Basis von Piezoelementen und einigen selteneren Entwicklungen unter Einsatz induktiver, magnetischer, elektrochemischer oder optischer Prinzipien.

1. Einleitung

Untersuchungen gebrauchter Motorenöle von Kraftfahrzeugen zeigen, dass diese nach unterschiedlichen, schwer voraussagbaren Intervallen verbraucht sein können. Mit der Verlängerung der Wartungsintervalle von PKW und LKW nehmen die Anforderungen an die Qualität von Motorschmierstoffen in den letzten Jahren stark zu. Berücksichtigt man die große Anzahl zugelassener Kraftfahrzeuge im Straßenverkehr sowie die von Diesellokomotiven und Dieseltriebwagen der Bahn, so bekommen

Sensoren zur Online-Anzeige des Zustandes von Schmierölen einen hohen wirtschaftlichen und zugleich ökologischen Wert, da die mit Sensoren erhaltenen Informationen die Einsatzdauer der Öle verlängern können. Der aktuelle Schmierölzustand kann mit unterschiedlichen messtechnischen Verfahren charakterisiert werden. Etabliert sind Onboard-Systeme, die Betriebsparameter wie Motordrehzahl, Motorlast, Fahrstrecke und Öltemperatur erfassen. Mit diesen Größen wird der Schmierölzustand charakterisiert und ein optimaler Ölwechselzeitpunkt ermittelt [1]. Nachteilig hierbei ist, dass unerkannte Abweichungen zwischen dem berechneten und dem tatsächlichen Ölzustand auftreten können. Motorschäden, die sich frühzeitig in veränderten Öleigenschaften äußern, werden von derartigen Systemen ebenfalls nicht erkannt. Diese Nachteile werden durch Messung des Ölzustandes in situ umgangen.

2. Online-Verfahren

2.1 Ölkenngößen

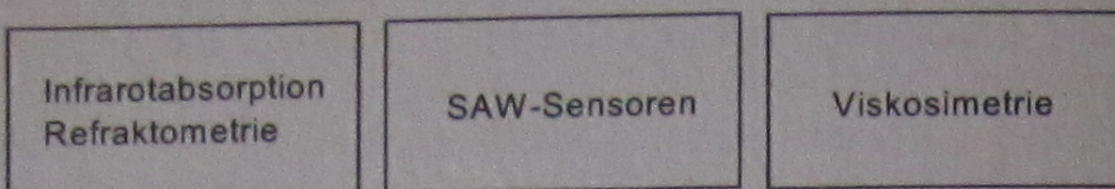
In mehreren Prospekten und Zeitschrifteninformationen einschlägiger Firmen werden Sensoren zu kontinuierlichen Messungen für die Insitu-Ölkennzeichnung vorgestellt (u.a.: Robert Bosch GmbH [2]; TEMIC Telefunken microelectronic GmbH [3]; Delphi Energy & Chassis Systems Emerson Process Management [4], Hella KG Hueck & Co. [5]). Diesen Sensoren liegt das Prinzip der Impedanzmessung zugrunde. Aus der von der Fa. Bosch veröffentlichten Beschreibung eines derartigen Sensors sei zitiert: ... „Die Informationen dieser Sensoren lassen auch Rückschlüsse auf den Zustand des Motors zu. Oftmals können technische Defekte auf diese Weise frühzeitig erkannt und Motorschäden vermieden werden. Darüber hinaus kann das bisherige Ablesen des Ölstands mit dem Messstab entfallen. Abhängig von Faktoren wie der individuellen Fahrweise, der Häufigkeit von Kaltstarts, der Kraftstoffqualität oder der Umgebungstemperatur verschleißt Motoröl mehr oder weniger stark. In vielen Serienfahrzeugen schätzt heute ein Bordcomputer anhand dieser Faktoren den Zustand des Öls ab. Der neue Sensor von Bosch dagegen ermittelt den tatsächlichen, aktuellen Zustand des Schmiermittels, indem er Viskosität, Temperatur und elektrische Parameter des Öls misst. Anhand dieser Daten lässt sich der optimale Zeitpunkt eines Ölwechsels wesentlich präziser und zuverlässiger bestimmen als bisher.“ Das Zitat umreißt die für eine Online-Schmierölsensorik zu lösende Aufgabe treffend.

Generell kann die Charakterisierung des Zustandes von Schmierölen und anderen Ölen mit einer Reihe unterschiedlicher Messverfahren vorgenommen werden; in Bild 1 sind die wichtigsten dafür bisher angewandten nichtelektrischen und elektrischen Methoden zusammengestellt.

Alle für den Verschleiß relevanten Ölkenngößen lassen sich mit Labormethoden offline ermitteln. Diese Methoden sind im Allgemeinen ausgereift, teilweise sogar als Standardmethoden eingeführt, sehr genau und für viele Parameter verfügbar. Oft stehen sie aber nur als Stichprobenmethoden mit Probenahme zur Wahl, sind sehr zeitaufwändig und damit relativ teuer. So werden diskontinuierliche Auftragsölanalysen angeboten, bei denen der Alterungsgrad von Ölen durch Bestimmung einer Reihe von Parametern, u.a. Viskosität, Wassergehalt, TBN, Partikelzahl und Flammpunkt, charakterisiert wird (Fa. Karl Schaeff GmbH [6]). Sensoren könnten dagegen die gewünschten Parameter permanent online oder inline erfassen, sind bisher aber häufig nur auf einen oder wenige Parameter beschränkt. Sie sind nicht

nur für die Automobilindustrie, sondern auch für die Messung der Qualität von Brems- bzw. Hydraulikflüssigkeit sowie für besonders sicherheitsrelevante Anwendungen, so in der Flugzeugindustrie, interessant. Von besonderem Interesse sind In-situ-Messverfahren.

Nichtelektrische Verfahren



Elektrische Verfahren

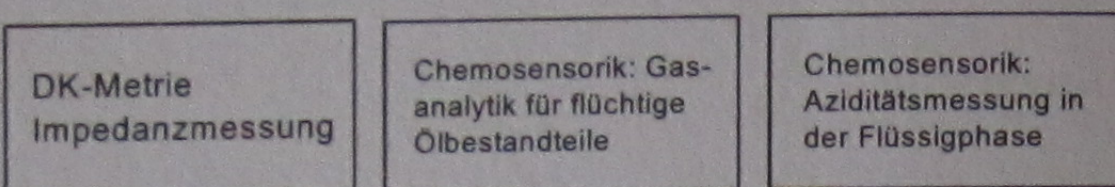


Bild 1: Aufstellung elektrischer und nichtelektrischer Messverfahren zur Charakterisierung von Schmierölen

Die nachfolgende Übersicht betrifft den aktuellen Stand der Kenntnisse zu elektrischen und teilweise optischen Messverfahren, mit denen der Ölzustand charakterisiert werden kann. Im Folgenden wird auch auf die konventionelle Methodik der Charakterisierung saurer Ölbestandteile eingegangen. Für große Verbrennungsmaschinen stellt die Messung und Kontrolle der Qualität des Schmieröls einen effektiven und vergleichsweise kostengünstigen Weg zur Beurteilung des technischen Zustandes bzw. des Verschleißgrades einzelner Komponenten der Maschine dar. Ölanalysen, die meist Bestandteil der regelmäßigen Wartungsprogramme sind, umfassen Messungen zu Viskosität, TBN, TAN (Erläuterung s. unten), Glykol- sowie Wassergehalt, Zahl nichtlöslicher Partikel. Diese Messungen können kurz wie folgt beschrieben werden:

- Viskositätsmessung

Die Ölviskosität gebrauchter Öle kann nach ASTM D445 bei 40°C und 100°C gemessen werden. Die Ergebnisse werden mit der Viskosität von neuem Öl verglichen. Daraus lassen sich Parameter wie Verdickung (einem Indikator für Oxidation), ansteigender Kontaminationsgrad und/oder ansteigender Partikelgehalt ableiten. Eine Verringerung der Viskosität kann eine Entmischung des Öls anzeigen.

- Basenzahl (Total Base Number TBN) [7]

Die Basenzahl ist ein Indikator für die Alkalitätsreserve der im Öl enthaltenen puffernden Additive. Diese sollen freie Säuren binden und damit deren Korrosionspotential vermindern. Ein Standardtest ist in ASTM D2896 angegeben. Das Messergebnis wird mit Frischöl verglichen. Niedrige TBN gehen meist einher mit einer Erhöhung der Viskosität. Die TBN ist auch ein wichtiger Test, ob der Treibstoff einen hohen Gehalt an Schwefel oder organischen Halogeniden wie Chloriden oder Fluoriden aufweist. Danach ist eine Verstärkung der alkalischen Pufferung erforderlich, um Korrosion durch Abbauprodukte zu verhindern.

- Säuren-Zahl (Total Acid Number - TAN)

Die Säurezahl ist ein Indikator für den Säuregehalt in Ölen. Ein Anstieg geht häufig einher mit einem Anstieg der Viskosität. TAN-Tests werden oft genutzt, um Ölwechsel-Intervalle zu bestimmen. Ein Standardtest ist in ASTM D664 enthalten, er wird am häufigsten genutzt. Ausfallkriterium ist eine Verdopplung der TAN gegenüber Frischöl.

- Glykol-Gehalt

In Übereinstimmung z.B. mit ASTM D2982 wird in jeder Öl-Analyse ein Test auf Glykol-Gehalt vorgenommen. Ein ansteigender Glykol-Gehalt weist auf Lecks im Kühlsystem hin. Glykol im Öl wirkt korrosiv und verändert die Schmiereigenschaften des Öls und kann damit zu schweren Maschinenschäden führen.

- Wasser-Gehalt

Der Wasser-Gehalt kann ein Problem in Maschinen mit schneller und turbulenter Ölströmung sein. Er wird nach den Standards ASTM D1744 oder D93 bestimmt. Probleme mit Öl-Aufschäumung können bereits bei einem Wassergehalt von 100 bis 300 ppm entstehen. Das ist allerdings bei Maschinen mit niedriger Öltemperatur von geringerem Interesse. Da bei niedrigen Öltemperaturen die Gefahr der sog. Nitration steigt, werden die meisten Maschinen in einem Öl-Temperaturbereich von etwa 82 bis 85°C betrieben.

- Nichtlösliche Partikel

Als nichtlösliche Partikel in Schmierölen werden Kontaminationen wie Staub, Schmutz und Kohlenstoff-Partikel sowie Metallabrieb bezeichnet, die durch eine Filtration nicht zurückgehalten werden können. Nichtlösliche Partikel in größerer Menge können das Ölschäumen begünstigen und bewirken ein Ansteigen der Viskosität. Es ist wichtig, solche Partikel durch Absetzttests, Zentrifugieren, Gravimetrie oder Partikelzählung zu quantifizieren. Eine solche Technik ist z.B. im Standard ASTM D4055 beschrieben. Das mit Pentan verdünnte Öl wird hierbei über einen 0,8µm-Filter geleitet. Die Rückstände werden gewogen und können optisch klassiert und gezählt werden. Die obige Aufstellung verdeutlicht, welchen großen Einzelaufwand die geschilderten Analysemethoden erfordern.

Die Begriffe „Säuregrad“ oder „Säurezahl“ werden bereits seit Jahrzehnten für die Kennzeichnung der Öleigenschaften verwendet [8]. In gebrauchten Motorenölen sind saure Verbrennungsprodukte und alkalische Additive gleichzeitig vorhanden; deshalb kann in einem mittleren pH-Bereich sowohl eine TBN als auch eine TAN gemessen werden (s. Bild 2). Dies gilt auch für säurefreie Frischöle, weil amphotere Additive wie Zinkdithiophosphat sowohl mit dem sauren als auch mit dem basischen Reagenz für die Bestimmung von TBN bzw. TAN reagieren. Der Anstieg des Säuregehalts in Motorenöl ist ein Maß für die Alterung des Öls. Die Überlagerung des Einflusses saurer und basischer Bestandteile führt dazu, dass TAN mit steigender Laufleistung eines Motors zunächst durch einen Abfall, danach durch einen graduellen Anstieg gekennzeichnet ist. TBN nimmt mit fortwährendem Ölgebrauch ab und ist ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der verbliebenen Leistungsfähigkeit oder den notwendigen Ölwechsel. Nach Angaben in der Literatur ist der Abfall auf 50 % des Frischölwertes das Anzeichen dafür, dass eine Neutralisation der sauren Verbrennungsprodukte erforderlich ist.

Als saure Bestandteile in Schmierölen können folgende Verbindungen vorkommen:

- Oxidationsprodukte von Paraffinen und Cycloparaffinen, die -OH-Gruppen oder -COOH-Gruppen tragen bzw. Hydroxy- und Ketonensäuren enthalten,
- sauer reagierende, viskositätssteigernde, korrosiv wirkende Abbauprodukte des Öls,
- Viskositäts-Index-Verbesserer, deren oxidativer Abbau ebenfalls zu aciden Verbindungen führen kann,
- Detergentia als öllösliche Metallsalze organischer Säuren.

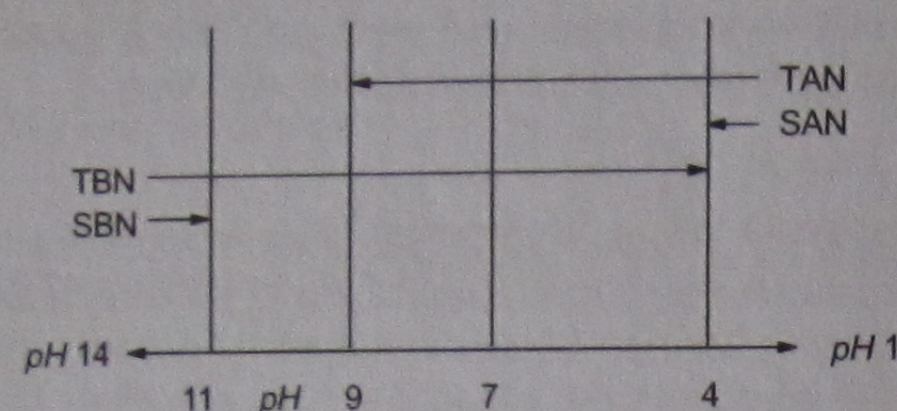


Bild 2: Bereich der Kenndaten TBN, SBN, TAN und SAN in gebrauchten Motorenölen. Im Bereich pH = 4 ... 9 ist sowohl TBN als auch TAN messbar (nach [7]).

Zu der Analyse von Schmierölen ist weiterhin der Gehalt an sulfatisierten Resten zu erwähnen, die sich als Abscheidungen und Schlämme zeigen und u.a. aus Metallsulfaten, gebildet aus Additiven und Ionen von Barium, Calcium, Zink oder Magnesium, bestehen. Das Problem für die Ölhersteller besteht darin, dass die Additiv-Konzentration hoch genug ist, um einem Ventil-Verschleiß vorzubeugen und niedrig genug, um lediglich harmlose Rückstände entstehen zu lassen. Weiterhin dürfen die Additive nicht katalytisch wirken bzw. andere katalytische Prozesse negativ beeinflussen. Schließlich seien noch Nitration und Oxidation als natürliche Prozesse aufgeführt, die hauptsächlich vom Luft-Treibstoff-Verhältnis und von der Öl-Arbeits-temperatur abhängen. Die Oxidation wird bestimmt von der Reaktion des Öls mit Sauerstoff in Kombination mit Katalysatoren, wie sie als Verschleiß-Partikel aus Kupfer bei Temperaturen über 95°C vorliegen. Oxidation tritt graduell in allen Schmierstoffsystemen auf und führt zu einem Anstieg der Öl-Viskosität.

Die Nitration tritt meist in Dieselmotoren auf und kann, wenn sie nicht unter Kontrolle gebracht wird, zur Verfestigung des Öls führen. Die Nitration ist eine chemische Reaktion im Öl, bei der die Kohlenstoffketten mit NO₂ reagieren.

• Spektrochemische Analyse

Die spektroskopische Untersuchung von Ölen ermöglicht die Messung der Konzentration von Additiven und einen Rückschluss auf den Verschleißgrad eines Motors. Verschleißpartikel haben eine Größe von max. 5 bis 6 µm. Sie sind Ergebnis des Verschleißes, nicht deren Ursache. Verschleißuntersuchungen erfordern längere Beobachtungsintervalle und sind von Motor zu Motor nicht vergleichbar. Jede Maschine erzeugt ein charakteristisches Verschleißbild.

2.2 Elektrische Ölsensoren

Die nach dem Prinzip der DK-Messung (DK Dielektrizitätskonstante) oder Impedanzmessung funktionierenden, teilweise kommerziell angebotenen Automobilsensoren (vgl. beispielsweise [9]) für die Kennzeichnung des Ölzustandes sind vorwiegend feinmechanisch hergestellte kapazitive Sensoren, deren Messsignale impedanzspektroskopisch ausgewertet werden, wobei Umfang und Qualität der Signalauswertung offenbar sehr unterschiedlich sind. In Bild 3 ist die Ansicht eines kapazitiven On-Board-Sensors der Kavlico Corp., der seit zwei Jahren auf dem Markt ist, abgebildet, mit dem nach Angaben in [10] durch kapazitive Messungen die Azidität als Indikator für den Ölabbau ermittelt wird.

In eigenen Publikationen [11-16] sind Resultate, die mit am Kurt-Schwabe-Institut entwickelten kapazitiven Sensoren zur Impedanzmessung in Ölen erhalten wurden, angegeben. Diese Arbeiten enthalten auch ausführliche Angaben zu dem aus der Literatur bekannten Stand der Technik. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass Impedanzmessungen nicht sämtliche Öleigenschaften befriedigend widerspiegeln. Dazu seien hier kurz die folgenden drei Ergebnisse kommentiert:

1. Feststoffteilchen können sowohl zu einem monotonen Anstieg des Modulus des komplexen Widerstandes (ansteigende Konzentration von Fe-Teilchen) als auch zu nur sehr geringen Widerstandsänderungen führen (Cr-Teilchen).
2. Im Frequenzfenster 1 ... 100 Hz steigen mit zunehmendem Wassergehalt eines Öls die Widerstandswerte zunächst an, erreichen bei 0,29 Vol.-% ein Maximum und nehmen bei noch höherem Wassergehalt wieder ab.
3. Es tritt eine temperaturabhängige Verschiebung der Lage von Messpunkten, die bei einer konstanten Messfrequenz erfasst werden, auf.

Es gibt daher Bestrebungen, ein unabhängiges elektrisches, nicht auf der Impedanzmessung beruhendes Sensorsystem für die Charakterisierung des Ölzustandes zu entwickeln. Smiechowski et al. [17] untersuchten den Einfluss von Wasser auf die Eigenschaften von Schmierölen mit einer Sensorkombination, deren experimentelle Einzelheiten allerdings nur kurz dargestellt sind, nach zwei Prinzipien: Impedanzspektroskopie und zyklische Voltammetrie mit einer Ultramikroelektrode aus Pt und einer Bezugselektrode des Typs Ag/Ag₂O (ein Ag-Draht, an dem sich bereits an Luft eine dünne Oxidschicht ausbildet). Ziel ist die Untersuchung der Wasserbindung im Öl in Mizellen. Ein wesentliches Messergebnis ist u.a. die Masseabnahme an freiem H₂O im Öl, wofür sehr eingehende mathematische Modellierungen diskutiert werden.

In einer Arbeit aus dem Jahr 1989 berichtet Wang [18] über Mikroelektrodenarrays, deren Oberfläche mit ionenleitendem Polyethylenoxid (PEO) bedeckt ist und mit denen Strom-Potential-Kurven von Testölen bei 90 bis 110 °C aufgenommen wurden. Charakteristische Unterschiede der Kurvenformen zwischen einem Mineralöl und einem Motoröl werden als Einfluss der Konzentration von Additiven (Detergentien, Dispergiermitteln, Antischaumzusätzen) gedeutet. Schoess hat ein ähnliches Verfahren in jüngster Zeit schützen lassen [19].

In weiteren Arbeiten von Wang et al. [20-23] werden verschiedene, zur Messung von Öleigenschaften benutzte Sensoren als elektrochemische Sensoren bezeichnet, wobei es sich ebenfalls um Interdigitalstrukturen mit besonders behandelten Oberflächen handelt, zum einen um glatte Oberflächen aus Au (auf Al aufgetragen) bzw. rauhe Oberflächen (in Zinkatlösung geätzte Oberflächen). An diese Elektroden wird

eine Wechselspannung von 5 V angelegt, wobei offenbar verschiedene, auch nicht-harmonische Schwingungsformen der Wechselspannung benutzt werden. Es werden Änderungen der Signalhöhe der Sensoren erhalten, welche auf die Alterung der untersuchten Öle im Laufe ihres Einsatzes zurückzuführen sind. Die Testergebnisse indizieren drei Stadien des Ölzustandes:

- Ölzustand gut
- rapides Anwachsen der TAN-Zahl
- rapides Anwachsen der Viskosität.

Der zweite und der dritte Zustand werden durch Ermittlung des Trends des Sensorausgangssignals (nicht durch den Absolutwert) ermittelt. Im eigentlichen Sinn handelt es sich hierbei nicht um elektrochemische Sensoren, da keine Potentialänderungen an den Elektroden erfasst werden. Ismail et al. [24] verwenden ebenfalls mit Metalloxiden präparierte Elektroden zur Ölzustandsanzeige mit einem elektrischen Verfahren.

Eine aufschlussreiche Studie des Ölabbaus mit ansteigender Motorlaufzeit wurde von Basu [25] vorgelegt. Aus der Messung der Leitfähigkeit wurden vier Stadien der Ölalterung abgeleitet (Abbau von Detergentien, Abbau von Antioxidantien, Anwachsen der Azidität, Anwachsen der Viskosität). Die Messungen wurden mit niedrigfrequentem Wechselstrom ausgeführt, um Polarisierungseffekte an den Elektroden zu vermeiden. Ein zur Messung dieser Stadien geeigneter Sensor wird von Wang et al. angegeben [26, 27].

R. Garvey [28] stellt ein Temperatur- und dielektrisches Monitoringsystem zur Überwachung der Ölqualität vor (smart oil compartment), mit dem insbesondere die Wasseranreicherung im Öl überwacht werden kann. Er gibt eine empirische Gleichung an, die für die in [28] beschriebene Anordnung gültig ist:

$$DK = DK_{neu} + A \cdot \vartheta + B \cdot c_{H_2O} + C \cdot \Delta_{TAN} \quad (1)$$

Mit:

- DK Dielektrizitätskonstante (dielektrische Permittivität),
- DK_{neu} Dielektrizitätskonstante für Frischöl
- A Änderung der DK je °C;
- ϑ Temperatur in °C;
- B Änderung der DK je % Wasser im Öl = 0,09 (typischer Wert);
- c_{H_2O} Wassergehalt: Angabe in %;
- C Änderung der DK pro Einheit TAN = 1,6 (typischer Wert);
- Δ_{TAN} Differenz der Total Acid Number zwischen neuem und gebrauchtem Öl.

Basierend auf Gleichung (1) kann die Veränderung des Wassergehaltes sowie des TAN-Wertes verfolgt werden. Dazu wird ein Inline-Sensor installiert, mit dem die DK sowie die Temperatur gemessen wird; der Temperatureinfluss kann damit kompensiert werden.

Ein sog. „degradation sensor“ für Transformatorenöl wird in [29, 30] beschrieben. Das Sensorprinzip beruht auf der Messung der Änderung des Verluststromes in Transformatorenöl bei Änderung der Temperatur und infolge eines Ölabbaus. Der Sensor besteht aus einer porösen Keramikscheibe aus Al_2O_3 , MgO oder einem anderen geeigneten Material, an die zwei Metallelektroden angepresst sind. Nach Anlegen einer Wechselspannung von 2 kV resultieren aus Temperaturänderungen und

Ölalterung Stromänderungen im Bereich von bis zu ~100 nA, aus denen u.a. Ölwechsel deutlich sichtbar werden.

Über Ölqualitätssensoren arbeitet das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik Freiburg; es wird ein Multisensor entwickelt, der den Ölzustand online und in situ überwacht. Dabei werden verschiedene Ansätze verfolgt, die schließlich in einem kompakten Gesamtsystem zusammengeführt werden sollen, um die komplexen Anforderungen bei der Zustandskontrolle technischer Öle zu erfüllen. Es werden verschiedene Sensoren auf einem Chip integriert (Bild 3). Das Gesamtsystem soll dazu dienen, die TBN- und die TAN-Zahl parallel zu ermitteln. Ein weiterer Ansatz zielt darauf ab, den Wasseranteil im Öl zu quantifizieren. Wasser selbst ist zwar weitgehend unkritisch, wirkt sich aber störend auf die Messung aus. Auch die Temperatur hat Einfluss auf das Messergebnis. Die Sensoren selbst sind der korrosiven Wirkung des Altöls ausgesetzt. Metalloxide wie Zinndioxid SnO_2 sind zwar weitgehend inert, da sie aber über lange Zeiträume in dem aggressiven Medium verbleiben, ist dennoch mit einer Alterung zu rechnen. Ein neuartiger Impedanzsensor, gekoppelt an ein spezielles Auswerteverfahren, soll die Degradation der Sensoren überwachen. Auf diese Weise wird die Zuverlässigkeit des Sensorsystems erhöht.



Bild 3: Ölqualitätssensoren des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik Freiburg

Im Folgenden werden noch einige Beispiele zur sensorischen Ermittlung von Ölparametern bzw. über diesbezügliche Messmethoden angeführt:

• Dielektrizitätskonstante

Die Änderung der Dielektrizitätskonstante eines Öls im elektrostatischen Feld zwischen zwei Elektroden bewirkt eine auswertbare Kapazitätsänderung. Öl-Parameter, die einen Einfluss auf die Dielektrizitätskonstante ausüben, sind Oxidation, Wassergehalt, Säuren, Flüssigkeitsgemische und metallische Verschleiß-Partikel.

• Dielektrischer Verlustfaktor

Die Messung des dielektrischen Verlustfaktors weist gegenüber der Messung der Dielektrizitätskonstante einen größeren Dynamikbereich auf. Der *Lubrigard Onboard Oil Condition Sensor* (Bild. 4) nutzt die Abhängigkeit des dielektrischen Verlustfaktors von den Materialeigenschaften aus und setzt diese in eine an das Messmedium anpassbare Analog-Spannung um. Der Sensor ist für Inline- und Online-Messungen geeignet.

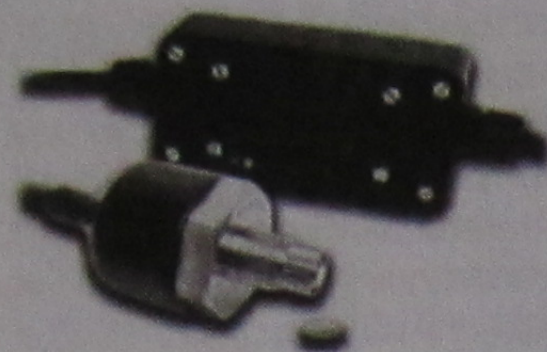


Bild 4: Lubrigard Onboard Oil Condition Sensor

Einen anderen Sensor zur Messung der Ölqualität bietet die Fa. KAVLICO an (Bild 5). Die Funktionsweise des Sensors beruht auf einer patentierten kapazitiven Messtechnologie und nutzt den Umstand, dass die Dielektrizitätszahl des Öls bzw. Schmierstoffes mit zunehmender Alterung des Öls und mit abnehmender Additivkonzentration steigt. Der Sensor arbeitet in Mineral- oder Synthetikölen bei Temperaturen von -40°C bis zu $+125^{\circ}\text{C}$.



Bild 5: Ölqualitätssensor der Fa. KAVLICO

Einen weiteren Ölqualitätssensor bietet die Fa. SAIA BURGESS an (Bild 6). Der Sensor misst Wassergehalt, Kohlenstoff- und Metall-Kontamination sowie Füllstand in Öl oder in Öl-Luft-Gemischen. Bei Abmessungen von $35 \times 85 \times 58 \text{ mm}^3$ hat er Einbaumaße von $12 \times 80 \text{ mm}^2$.



Bild 6: Ölqualitätssensor der Fa. SAIA BURGESS

Viskosität

Die Firma Vectron International, Hudson bietet einen Sensor (ViSmart™-Reihe) an, der mittels piezoelektrischen Akustikwellensensor die Viskosität des Motoröls misst (Bild 7) [31]. Auf einem piezoelektrischen Substrat werden mit Interdigitalelektroden elektroakustische Wellen erzeugt und wieder detektiert. Die Wechselwirkung dieser Wellen mit einer angrenzenden Flüssigkeit führt zu einer Änderung der Ausbrei-

tungsgeschwindigkeit und Amplitude der Wellen. Die Amplitude liegt im Nanometer-Bereich; die Auslenkung ist eine Scherbewegung. Eine Änderung der dynamischen Viskosität wie auch die Dichte der Flüssigkeit können somit elektrisch gemessen werden. Die Sensoren sind als Einschraubsonden für die Viskositätsmessung von Ölen beispielsweise in Dieselmotoren (Verbrennungstriebfahrzeuge) konfektioniert.



Bild 7: SAW-Viskositätssensor der ViSmart™-Reihe von Vectron, Hudson

Elektrostatische Aufladung

Der Sensor der Fa. Smiths Aerospace Electronic Sensors (Bild 8) detektiert elektrostatische Ladungen und spezifische Änderungen der Ladungsmengen, die durch aufladbare bzw. aufgeladene Fremdkörper im Öl transportiert werden.



Bild 8: Ladungsdetektor der Fa. Smiths Aerospace Electronic Sensors

Magnetischer Fluss

Hierbei wird die Konzentration ferromagnetischer Partikel durch ein festes Magnetfeld gemessen. Einerseits werden die Partikel durch das Feld festgehalten und andererseits wird das magnetische Feld durch die Anwesenheit der Partikel beeinflusst. Die Änderung des Flusses wird von Sensoren erfasst. Der Smart Zapper® Electric Chip Detector der Fa. Eaton Engineered Sensors hat zwei konzentrische Elektroden mit magnetischer Stirnfläche, die die metallischen Partikel solange sammeln, bis diese einen Kurzschluss herbeiführen.

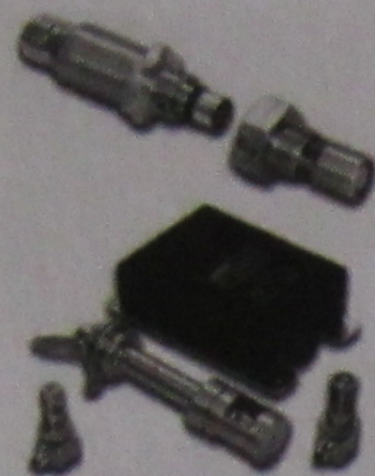


Bild 9: Smart Zapper® Electric Chip Detector der Fa. Eaton Engineered Sensors

Magnetischer Schalter

Mit dieser Technologie werden magnetische Partikel an Netzelektroden oder Elektrodenplatten abgeschieden. Der Stromfluss zwischen den Elektroden ist ein Maß für die Konzentration der magnetischen Partikel.

Induktionssensoren

Induktionssensoren registrieren eine Änderung des magnetischen Flusses bei Eintritt von Partikeln in das elektrische Feld. Verschiedenartige Spulen werden dazu um ein von einem Medium durchflossenes Rohr gelegt. Durch elektronische Beschaltung ist es möglich, Luftblasen zu detektieren. Induktionssensoren können zwischen ferritischen und nichtferritischen Partikeln differenzieren. Beispiele für Induktionssensoren (Bild 10) sind der TechAlert™ 10 der Fa. MACOM Technologies Inc., der MetalSCAN der Fa. GasTOPS Ltd. und der PATROL® der Fa. Manor Technology Monitoring Ltd. PATROL® detektiert z.B. Eisenpartikel bis 25 µm Größe und Nicht-Eisenpartikel bis 90 µm Größe. Der Sensor arbeitet im Temperaturbereich von 0°C bis 125°C (u.U. bis 250°C).

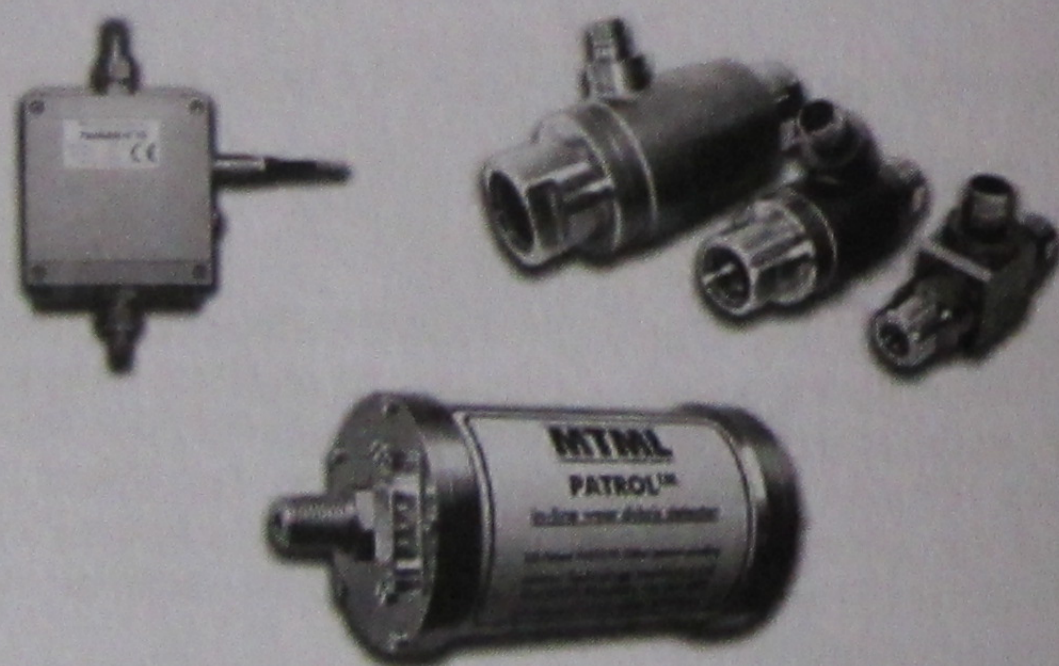


Bild 10: Induktionssensoren TechAlert™ 10, MetalSCAN, PATROL® (v.l.n.r.)

Optischer Ölqualitätssensor

Einer fortgeschrittenen Technik zur Messung der Ölqualität in Flugzeugtriebwerken bedient sich der so genannte online oil condition monitor (OCM) der Fa. Foster-Miller Inc. Die zu messenden Parameter schließen die Additiv-Konzentrationen, den Wassergehalt, die Verdünnung durch Treibstoff und die Konzentration von thermischen und oxidativen Zersetzungsprodukten ein. Das in Bild 11 dargestellte Sensorsystem ist ein miniaturisiertes IR-Spektrometer mit einer angepassten Durchflusszelle.

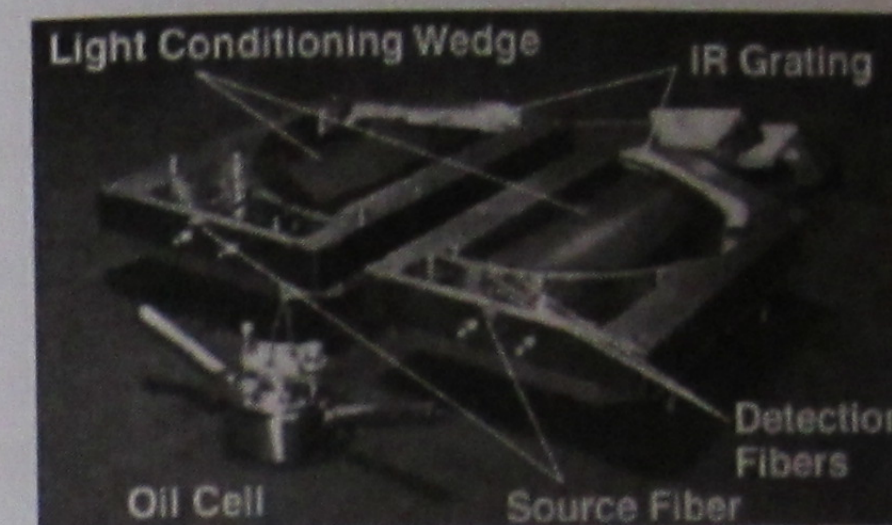


Bild 11: Optischer Sensor zur Qualitätskontrolle von Schmierstoffen in Flugzeugen

Sonstige

Hella entwickelte einen Ultraschall-Ölsensor PULS (Packaged Ultrasonic Level Sensor), der den Füllstand und die Temperatur in der Ölwanne erfasst [32]. Messprinzip ist die Ultraschall-Laufzeitmessung bei der allerdings keine Aussage über die Ölqualität getroffen wird.

Von der Daimler AG wurde für den Einsatz in Nutzfahrzeugen ein Messsystem entwickelt, mit dem sich nach eigenen Angaben die Ölwechselintervalle um ca. 25% verlängern lassen [33]. Dazu wird in einer konzentrischen Rohranordnung die Permittivität ermittelt, die beispielweise durch Wasser oder Rußpartikel im Motoröl ansteigt. Aus dem Zeitverhalten des Motoröls beim Hin-und-her-Schwappen durch Fahrtbewegung wird die aktuelle Viskosität mit Kenntnis der genauen Motoreninnengeometrie berechnet.

Zur Vervollständigung der Literaturübersicht sei auf eine Reihe von Patenten hingewiesen, aus denen weitere Verfeinerungen und Abänderungen der Leitfähigkeits- bzw. Impedanzmessung in Ölen für die Charakterisierung des Ölzustandes zu entnehmen sind [34-36].

In einer Patentanmeldung der Robert Bosch GmbH, Stuttgart [37] wird im Gasraum über der Öloberfläche ein Gassensor integriert, der die Konzentration der flüchtigen Bestandteile bestimmt und somit eine Information über die TBN des Öls liefert.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass gegenwärtig weltweit an unterschiedlichen sensorischen Verfahren zur Ölzustandsanalyse gearbeitet wird. Ein Durchbruch in der Einführung zuverlässig funktionierender Sensoren für den Automobilbereich ist in näherer Zukunft zu erwarten. Insbesondere Systeme, die Kombinationen mehrerer Messprinzipien in einem preiswerten Sensorelement vereinen, erscheinen aussichtsreich.