

RESTÖLGEHALTSMESSUNG

Ulrich Verhoefen, Haan

Verhoefen, Ulrich:

Prüfverfahren für den Nachweis von Flüssigölanteilen in komprimierten Gasen/Druckluft
Restölgehaltsmessung

Staub - Reinhalt. Luft 45 (1985) Nr. 5, S. 215/218, 6 Bilder, 2 Tab., 13 Lit.-Ang.

Es wird eine Methode zur Bestimmung des Flüssigkeitsgehaltes von Druckluft vorgestellt.

Das Verfahren verwendet ein Probenahmesystem mit einer speziell ausgebildeten Sonde, die unter isokinetischen Bedingungen eine repräsentative Teilluftmenge dem Hauptstrom entnimmt. Ein Mikrofaserfilter hält praktisch alle Flüssigölanteile bis herab zu 0,01 Mikron zurück.

Das gesamte Probenahmesystem wird nach der Probenahme mit einem geeigneten Lösungsmittel gespült, der Extrakt wird im Anschluß daran infrarotspektroskopisch untersucht. Die Entnahmepunkte im Druckluftsystem werden genau definiert.

Das Verfahren ist sowohl für komprimierte Luft als auch für alle anderen Gase anwendbar.

A method to determine oil in compressed air

A method to determine liquid oil in compressed air is presented. This method is basically using a sampling system with a special probe and a microfibre filter, which is able to remove aerosols down to 0,01 microns.

At defined sampling points in the compressed air system a representative sample is taken under isokinetic conditions. The complete sampling system inclusive filter and probe is extracted with a suitable solvent. The extract is then analyzed by infrared spectroscopy and the oil content calculated.

This method is suitable for compressed air as well as for any other gases.

Schlagwörter: Aerosol-, Messung / Meßtechnik-, Gerät u. Verfahren

Einleitung

Der Nachweis von flüssigem Öl in Gasen unter komprimierten Bedingungen ist bis heute ein noch ungelöstes Problem. Druckluft z. B. stellt mit seinen vielfältigen Verunreinigungen eine Vielphasenströmung dar. Kompressoröl in der Druckluft kann sowohl als Schwebstoff, als große Tropfen, aber auch in Form von Wandströmen als Film- oder Schwallströ-

mung auftreten. Öldämpfe und andere Kohlenwasserstoffe sind als gasförmige Verunreinigungen in der Druckluft auch kondensationsfähig.

Flüssigölanteile in Druckgassystemen stellen somit eine äußerst schwierige Meßgröße dar.

Die verschiedenen z. Z. angewendeten Methoden haben eine unzureichende Genauigkeit. Die Einführung einer handhab-

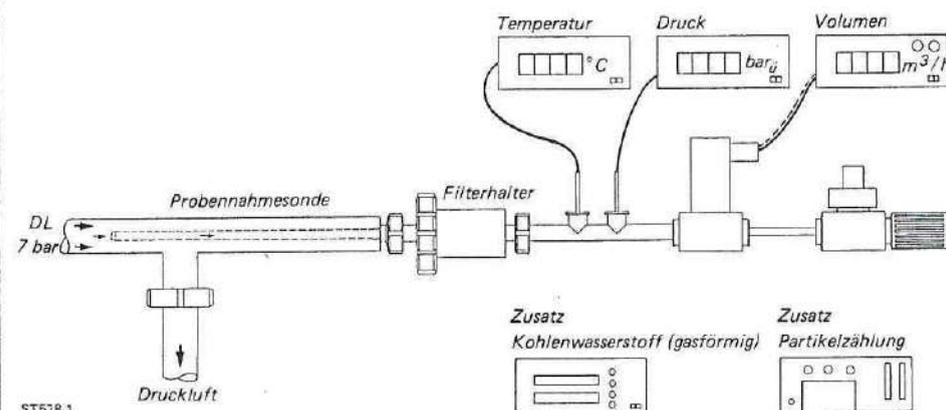


Bild 1: Probenahme- und Meßeinrichtung

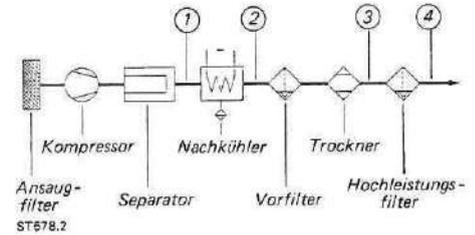


Bild 2: Probenahmestellen im Druckluftsystem. Zur Verbesserung der Luftqualität, entsprechend den Erfordernissen der Anwendung, werden verschiedenste Systeme nach diesem Aufbereitungssystem installiert. Zur Beurteilung der Luftqualität wird zweckmäßigerweise der Meßpunkt direkt nach den Aggregaten gemäß Bild 4 festgelegt

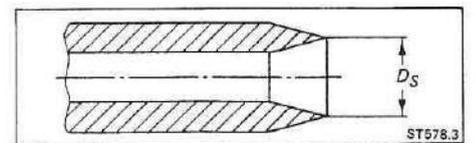


Bild 3: Sondenform nach Suter und Fernandez [5]

baren Meßmethode, die reproduzierbare Meßergebnisse sichert, ermöglicht es, den stetig wachsenden Anforderungen im Umweltschutz gerecht zu werden und die Einhaltung bestehender Normen zu prüfen und ggf. zu erfüllen.

Die Testmethode ist geeignet für den Nachweis von Flüssigölanteilen in Luft und Gasen, sowohl unter komprimierten wie auch atmosphärischen Betriebsbedingungen bei Temperaturen von 0 °C bis 100 °C mit einer Genauigkeit von ca. 10% in einem Nachweisbereich, der außerordentlich weit gestreckt ist. Der Mindestanteil an Öl im Extraktionsmittel sollte 1 ppm betragen.

Beschreibung der Methode

Die Gesamtanlage besteht aus drei Komponenten, Bild 1:

- Filterhalter und Probenahmesonde.
- Druck-, Temperatur- und Volumensensoren als Definitionssysteme.
- Infrarot-Zweistrahlspektrometer, Extraktionsgerät und Tetrachlorkohlenstoff für die Analyse.

Dem Druckluftstrom wird eine definierte Menge Luft im komprimierten Zustand entnommen (Bild 2) durch eine spezielle Probensonde (Bild 3) [5] und unter isokinetischen Bedingungen dem Filterhalter zugeführt. Das mitgeführte Öl in

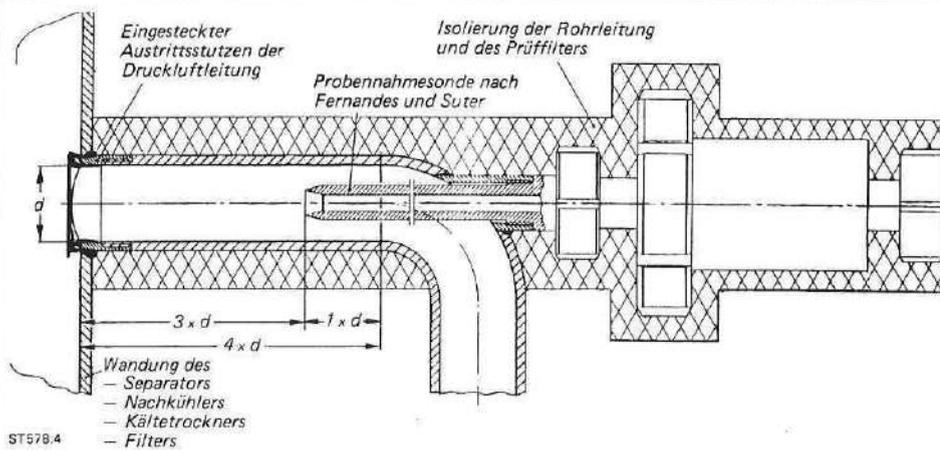


Bild 4: Die Entnahmestellen im Druckluftsystem müssen definiert sein. Eindeutig turbulente Strömung ist für die repräsentative isokinetische Teilstromentnahme erforderlich. Die Probennahmesonde muß da angeordnet sein, wo Wandströme unberücksichtigt bleiben können. In Anwesenheit kondensationsfähiger Stoffe ist isothermische Probenahme sicherzustellen, ggf. durch Isolierung der Meßstellen

Form von Tröpfchen oder Aerosolen wird bis herab zu 0,01 Mikron in den Probenahmesystemen aufgefangen, **Bild 4**. Im Filterhalter ist ein spezielles Prüffilterelement eingeschraubt. Das Filtermaterial besteht aus mikrofeinen Fasern. Die Durchlässigkeit beträgt nach der DOP-Methode weniger als 0,0001%, **Bild 5**. Je nach Durchflußleistung können unterschiedlich große Filterelemente installiert werden. Die Probenahmezeit ist entsprechend den zu erwartenden Restölmengen festzulegen.

Die nachfolgende Analyse wird infrarot-spektroskopisch durchgeführt. Hierzu muß das Öl aus dem Prüffilter und der Probennahmesonde extrahiert werden. Dazu wird das gesamte Prüfgerät mit Tetrachlorkohlenstoff durchgespült. Die Spülung dauert so lange, bis alle Ölbestandteile gelöst sind. Von dem Extrakt wird ein Infrarotspektrogramm angefertigt. Ausgemessen wird anschließend die Infrarotlichtabsorption bei den Wellenzahlen 2960 cm^{-1} , 2925 cm^{-1} und 2870 cm^{-1} . Dies sind die für Kohlenwasserstoffgruppen charakteristischen Absorptionsbereiche.

Die Höhe der in den Spektrogrammen erscheinenden Ausschläge ist proportional zu den Konzentrationen der Kohlenwasserstoffe in Tetrachlorkohlenstoff. Bei bekanntem Lösungsmittelvolumen läßt sich so der Absolutgehalt an Kohlenwasserstoffen quantitativ bestimmen [9].

Um Eigenabsorption des Tetrachlorkohlenstoffs weitgehendst auszuschließen, sollte ein Zweistrahlenspektrometer verwendet werden, in dessen Referenzkanal reines CCl_4 eingebracht wird. Damit lassen sich auch Schwankungen der I.R.-Intensität ausgleichen.

Probenahme

Die Probenahme aus strömenden Gasen ist die schwierigste Phase bei der Ermittlung von Restölgehalten in Druckluft [4].

Eine repräsentative Probe der in Gas transportierten Verunreinigungen läßt sich nur dann nehmen, wenn die Strömung an der Sondenöffnung ungestört verlaufen kann und alle ursprünglich in einer Strömungsröhre vom Innendurchmesser des Sondenrohres an die Sonde herangetragenen Partikel auch wirklich von der Sonde aufgenommen werden. Es hat sich gezeigt, daß dies nur mit einer bestimmten Sondenform und nur bei isokinetischer Absaugung möglich ist [4; 5]. Bei falscher Probenahme können Fehlmessungen mit dem Faktor 10 bis 100 gemacht werden, besonders dann, wenn es sich um stark kontaminierte Luft mit Partikeln und Tropfen größer als $1\text{ }\mu\text{m}$ handelt [5].

Randbedingungen für die Probenahme in Druckluftsystemen

Man muß vier verschiedene Probenahmestellen unterscheiden, die auf Art, Ver-

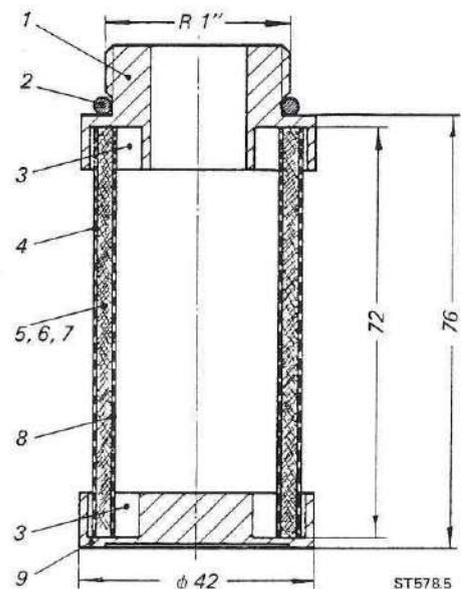


Bild 5: Spezialprüffilterelement aus bindemittelfreiem Mikrofaservlies mit einer Rückhalterate bis herab zu $0,01\text{ }\mu\text{m}$. Die Durchlässigkeit nach der DOP-Methode ist geringer als $0,0001\%$

teilung und Menge des Öls [7] in Druckluft Einfluß haben.

- Nach dem Verdichter/Separator bei Verdichtertemperatur:
Schraubenverdichter $70\text{ }^\circ\text{C}$ bis $100\text{ }^\circ\text{C}$, 7 bis 10 bar
Rotationsverdichter $70\text{ }^\circ\text{C}$ bis $100\text{ }^\circ\text{C}$, 7 bis 10 bar
Zu erwartender Grad der Verunreinigungen an dieser Meßstelle:
Ölnebelanteil: 5 bis 20 mg/m^{3*}) im Spektrum von $0,01\text{ }\mu\text{m}$ bis $10\text{ }\mu\text{m}$
Öltropfenanteil: kein
Öldampfanteil: 5 bis 20 mg/m^{3*})
Feststoffe: weniger als $0,1\text{ mg/m}^{3*}$)
Wasserkondensat: kein
Wasserdampfanteil: unbekannt
- Nach dem Nachkühler/Zentrifugalabscheider:
Betriebstemperatur: 20 bis $45\text{ }^\circ\text{C}$
Betriebsdruck: 5 bis 10 bar
Wasserkondensat: geringe Spuren
Wasserdampfanteil: 100% gesättigte Luft
Öltröpfchen: keine
Ölnebelanteil: 10 bis 50 mg/m^{3*}) im Spektrum von $0,01\text{ Mikrometer}$ bis $50\text{ }\mu\text{m}$
Öldampfanteil: $<0,1$ bis 2 mg/m^{3*})
Feststoffe: weniger als $0,1\text{ mg/m}^{3*}$)
- Beim Einsatz von Vorfiltern und Kältetrocknern:
Betriebstemperatur: 20 bis $40\text{ }^\circ\text{C}$
Betriebsdruck: 5 bis 10 bar
Wasserkondensat: kein
Wasserdampfanteil: Drucktaupunkt $\leq 10\text{ }^\circ\text{C}$
Öltröpfchen: keine
Ölnebelanteil: 5 bis 10 mg/m^{3*}) im Spektrum von $0,01\text{ }\mu\text{m}$ bis $2\text{ }\mu\text{m}$
Öldampfanteil: $<0,1$ bis 1 mg/m^{3*})
Feststoffe: weniger als 1 mg/m^{3*})
- Beim Einsatz von Aerosolfiltern:
Betriebstemperatur: 20 bis $45\text{ }^\circ\text{C}$
Betriebsdruck: 5 bis 10 bar
Wasserkondensat: kein (nach Trocknern)
Wasserdampf: Drucktaupunkt $\leq 10\text{ }^\circ\text{C}$ (nach Trocknern)
Öltropfen: keine
Ölnebel: weniger als $0,1\text{ mg/Nm}^3$ im Bereich von $0,01$ bis $0,5\text{ }\mu\text{m}$
Öldampfanteil: $0,1$ bis 2 mg/m^{3*}) bei Schraubenverdichtern $0,01\text{ mg/m}^{3*}$) bei Kolbenverdichtern
Feststoffe: weniger als $0,01\text{ mg/m}^{3*}$)

Versuchsdurchführung

Die Genauigkeit der Messung wird weitgehend von zwei Faktoren beeinflusst:

- exakte isokinetische Probenahme
- Extraktion aller aufgefangenen Verunreinigungen im Prüf- und Probenahmesystem

*) m^3 bezogen auf 1 bar absolut, $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Hauptluftstrom

Um repräsentativ alle Verunreinigungen in strömenden Gasen nachzuweisen, ist es erforderlich, daß die Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Hauptkanal mit der Strömungsgeschwindigkeit im Meßkanal identisch ist. Es muß sichergestellt sein, daß im Druckluftsystem eindeutig turbulente Strömung herrscht. Um die Geschwindigkeit der Druckluft festzustellen, empfehlen wir ein System entsprechend dem *Prandtl'schen* Staurohr o. ä.

Betriebszustand

Über digitale Thermometer und Druckmesser werden Betriebstemperatur und Betriebsdruck erfaßt.

Durchflußmesser

Entsprechend der Strömungsgeschwindigkeit des Hauptvolumenstromes wird die Probenahmemenge rechnerisch proportional ermittelt. Ein Massendurchflußmesser wird auf die erforderliche Probenmenge eingestellt. Der zu analysierende Luftmassenstrom, der den Filterhalter passieren muß, ist abhängig von der Ölkonzentration in der Druckluft, der Nachweisbarkeitsgrenze im Spektrometer und der Extraktionsmittelmenge. **Tabelle 1** gibt Hinweise über die Versuchsdauer.

Filter

Für die mechanische Filtration aller Flüssigölanteile empfiehlt sich ein Spezialfilter mit bindemittelfreiem Faservlies höchster Reinheit. Die Filtrationswirkung muß bis herab zu 0,01 Mikron einen Wirkungsgrad >99,9999% haben. Das Filterelement darf nur aus lösemittelbeständigen Materialien bestehen und keine extrahierbaren Bestandteile enthalten. Das Filtergehäuse muß das geringstmögliche Leervolumen aufweisen und frei von Toträumen sein.

Probenluftmassenstrom

Die Strömungsgeschwindigkeit in der Druckluftleitung muß konstant gehalten werden. Die isokinetische Probenahme erfordert gleiche Strömungsgeschwindigkeiten in der Probensonde und der Rohrleitung.

Tabelle 1: Die Abhängigkeit zwischen Sonden-durchmesser, Probenluftmenge und Strömungsgeschwindigkeit in der Druckluftleitung

Druckluft- leitung Strömungs- geschwin- digkeit	Probenahme		
	Proben- sonde	Proben- luft- strom	D_s
5 m/s	Typ 1	7,8 kg/h	7,3 mm
10 m/s	Typ 2	7,8 kg/h	5,15 mm
15 m/s	Typ 3	7,8 kg/h	4,2 mm
20 m/s	Typ 4	7,8 kg/h	3,6 mm

Tabelle 2: Berechnungsbeispiel für den Restölgehalt der Druckluft in Abhängigkeit von der Extinktionslänge

Verhältnis D_0/D_1	Extinktion in mm	Ölanteil in 50 ml CCl_4	Restölgehalt bei einem Probenluftstrom von 7,8 kg/h
1,021	3	$2,15 \times 10^{-6}$ ml	0,016 mg/Nm ³
1,09	12	$8,9 \times 10^{-6}$ ml	0,065 mg/Nm ³
1,21	25	$1,99 \times 10^{-5}$ ml	0,145 mg/Nm ³
1,51	50	$4,28 \times 10^{-5}$ ml	0,31 mg/Nm ³
5,76	121	$1,83 \times 10^{-4}$ ml	1,33 mg/Nm ³

Entsprechend der Strömungsgeschwindigkeit in der Druckluftleitung wird die Probensonde hinsichtlich Durchmesser und Probenluftmenge bestimmt.

Datenerfassung

Luftmenge, Druck und Temperatur sollten graphisch erfaßt werden, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten und Fehlerquellen durch stark differierende Betriebszustände erkennen zu können.

Reinigung vor Inbetriebnahme

Vor Installation und Probenahme muß das gesamte System mit CCl_4 extrahiert werden. Filterhalter, Filterelement und Probensonde werden einzeln gewaschen und anschließend mindestens zweimal im zusammengebauten Zustand mit CCl_4 und kohlenwasserstofffreiem Stickstoff gespült. Vom zweiten Spülvorgang wird eine Referenzmenge Tetrachlorkohlenstoff entnommen und I.R.-spektroskopisch analysiert. Es dürfen keine kohlenwasserstoffcharakteristischen Schwingungen erkennbar sein. Sicherheitshalber wird die Rohrleitung an der Probenahmestelle ebenfalls gereinigt.

Extraktion

Die Extraktion des Prüflings erfolgt zweckmäßigerweise mit 50 ml CCl_4 . Bei einem Probevolumenstrom von 6 m³/h*) entsprechend 7,8 kg/h ergeben sich die Restölgehalte in Abhängigkeit von der Extraktionslänge gemäß **Tabelle 2**. Es wird sowohl die Sonde als auch das komplette Filter gespült. Das zur Extraktion verwendete CCl_4 sollte mindestens dreimal im Kreislauf durch das Probenahmesystem fließen, um sicherzustellen, daß alles abgeschiedene Öl ausgetrieben ist. Zur Beweisführung, daß alles Öl extrahiert worden ist, wird anschließend nochmals eine zweite Spülung mit reinem CCl_4 durchgeführt und analysiert.

Öldampf

Je nach Art des Öles und der Temperatur der Druckluft kann der Restöldampfgehalt eine besondere Rolle spielen [8]. Um Kondensation von Öldämpfen im System zu verhindern, sollte die Probe unter

isothermischen Bedingungen entnommen werden, d. h., Filterhalter und Rohrleitungen sollten gut isoliert und die Temperatur der Druckluft im Haupt- und im Probenstrom gemessen werden. Besonders bei Temperaturen oberhalb von 40 °C und Ölen mit einem Flammpunkt von weniger als 250 °C sind die Öldampfmengen zu berücksichtigen [10].

Analyse

Die Versuchsauswertung geschieht in einem Infrarotphotospektrometer. Dabei nutzt man die Eigenschaft des Öls, in einem Wellenzahlbereich des Infrarotlichtes von 2980 cm⁻¹ bis 2870 cm⁻¹ die Intensität des Infrarotlichtes zu mindern [9], **Bild 6**.

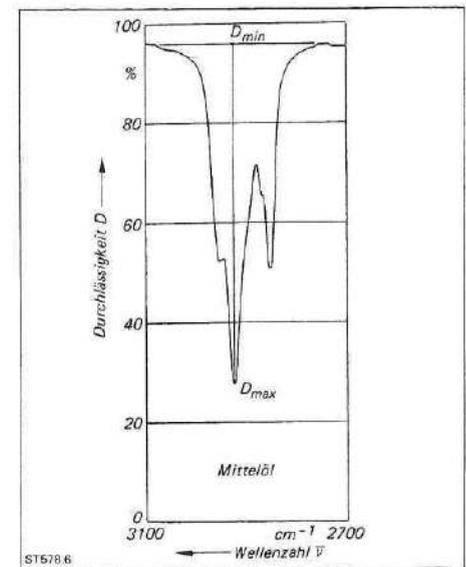


Bild 6: Typisches Spektrogramm von Kompressoröl gelöst in Tetrachlorkohlenstoff. Die Stärke der Infrarotlichtabsorption ist proportional der im Extrakt gelösten Ölmenge

Nach Aufnahme einer Eichkurve, d. h. Analyse des verwendeten Kompressoröls mit bekannter Konzentration in Tetrachlorkohlenstoff, kann man durch Vergleich der Extinktionen (Durchlässigkeiten) eine quantitative Analyse vornehmen.

Bestimmung der Extinktion E_0 als Eichmessung:

$$E_0 = \log \frac{D_0}{D}$$

*) m³ bezogen auf 1 bar absolut und 20 °C.

Die Extinktion ist definiert durch

$$E = \epsilon \cdot d \cdot c$$

ϵ = Stoffkonstante

c = Konzentration

d = Schichtdicke

$$E_0 = \epsilon \cdot d_0 \cdot c_0 \text{ (Eichmessung)}$$

$$E_1 = \epsilon \cdot d_1 \cdot c_1$$

Da ϵ konstant ist, kürzt sich dieses aus der Gleichung, so daß die Konzentration berechnet werden kann:

$$c = \frac{E_1}{E_0} \times c_0 \times \frac{d_0}{d_1}$$

Zur Messung empfiehlt sich ein Zweistrahlenspektrometer, um Schwankungen in der Lichtintensität und der Qualität des Lösemittels auszugleichen. [ST 578]

Schrifttum

- [1] Vollmer: Einsatz und Prüfung von Druckluftfiltern. RW TÜV, Schriftenreihe 9.
- [2] VDI 1319 Blatt 1 bis 3. Grundbegriffe der Meßtechnik.
- [3] VDI 2449 Blatt 1. Prüfkriterien von Meßverfahren.
- [4] Analysen- und Meßverfahren. Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 5.

- [5] Fernandez, E., und P. Suier: Absaugsonden für Gas-/Partikel-Suspension ohne Störung der Zu- und Abströmung, Brennstoff-Wärme-Kraft 26, 1974 Nr. 12, S. 502.
- [6] Kalide, C.: Techn. Strömungslehre. Hanser Verlag 1971.
- [7] Verhoefen, U.: Filtration technischer Gase, Teil 1. Pneumatik Digest 4/82.
- [8] Kusch: Öle und ihr Verhalten in Schrauben- und Kolbenverdichtern. Druckluftpraxis 1/74.
- [9] Bosch, Techn. Bericht 2. Heft 5, Nov. 1968.
- [10] DIN 51383 Entwurf, Teil 1.
- [11] DIN 24185.
- [12] VDI 2066 Blatt 1 und 2.
- [13] Druckluft für allg. Anwendungen. Pneurop 6611/1984.

IST DIE WHO-EMPFEHLUNG FÜR CADMIUM NOCH AKTUELL?

Christiane Markard, Berlin

Markard, Christiane:

Ist die WHO-Empfehlung für Cadmium noch aktuell?

Staub - Reinhalt. Luft 45 (1985) Nr. 5, S. 218-221, 1 Bild, 1 Tab., 27 Lit.-Ang.

Der Richtwert der WHO für die tolerierbare wöchentliche Cadmiumaufnahme durch die Nahrung wurde 1972 toxikologisch begründet. In den vergangenen Jahren wurde die Gültigkeit dieses Wertes des öfteren in Frage gestellt. Die vorliegende Arbeit soll zur Klärung dieser Diskussion beitragen.

Is the WHO provisional tolerable weekly intake for cadmium still valid?

In 1972, WHO promulgated a provisional tolerable weekly intake for cadmium on the basis of a toxicological evaluation. In recent years questions as to the validity of this value were repeated. The following feature shall contribute to clarify the discussion.

Schlagwörter: Cadmium-, Wirkung / Grenzwert-, toxische Substanz / Wirkung von Substanzen-, Mensch

1 Einleitung und Problemstellung

1972 nahm das Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives eine toxikologische Bewertung der Kontamination von Nahrungsmitteln durch Schwermetalle vor und stellte für Cadmium, Blei und Quecksilber vorläufige Richtwerte für die tolerierbare wöchentliche Aufnahme (provisional tolerable weekly intake) auf. Für Cadmium lautet die Empfehlung für eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme 0,4 bis 0,5 mg/Woche, entsprechend 70 µg/d [1]. Dieser Wert wurde in den letzten 10 Jahren in zahlreichen nationalen Publikationen für die Abschätzung eines gesundheitlichen Risikos durch die umweltbedingte Cadmiumexposition herangezogen. Auch neuere Publikationen der WHO [2] enthalten keinen Hinweis auf eine Revision der Angaben von 1972.

Aufgrund der geringen Sicherheitsspanne zwischen der realen Cadmiumbelastung durch Nahrungsmittel und dem

WHO-Wert gibt es in der Bundesrepublik Deutschland immer wieder Hinweise auf Überschreitungen dieses Werts und Warnungen vor einem weiteren Ansteigen der Cadmiumbelastung der Umwelt. Gleichzeitig wird der WHO-Wert mit gewisser Regelmäßigkeit als zu hoch angezweifelt [3, 4]. Seine Angemessenheit wurde jedoch stets von den toxikologischen Sachverständigen bestätigt [3, 4, 5]; es wurde darüber hinaus auch die Meinung vertreten, der WHO-Wert sei zu senken.

Für eine Erhöhung des WHO-Werts plädiert hingegen der Hannoveraner Tier-Toxikologe und Vorsitzende der DFG-Rückstandskommission, Prof. Hapke [6, 7, 8]. Ergebnis seiner toxikologischen Bewertung ist, daß die Toleranz des Menschen gegenüber Cadmium doppelt so hoch sei, wie der WHO-Wert zuläßt. Diese Äußerung wäre im vorfindlichen Meinungsspektrum zum Thema Cadmium nicht Anlaß zu einer besonderen Erwiderung,

wenn nicht erstaunlicherweise zu beobachten wäre, daß diese Position inzwischen ohne weitere Diskussion zunehmend Eingang in die Argumentation meinungsbildender wissenschaftlicher Expertenpublikationen findet [9, 10, 11].

Unter Bezugnahme auf die Arbeiten von Hapke wird der WHO-Wert nicht nur als „umstritten“ bezeichnet, es wird vielmehr darauf hingewiesen, daß aufgrund „neuerer Erkenntnisse“ höhere Belastungen unbedenklich seien, oder es wird die von Hapke ermittelte „duldbare Aufnahme“ als gleichwertig begründete Alternativposition zum WHO-Wert dargestellt. Um die Rationalität der Vorschläge Hapkes zu überprüfen, ist es notwendig, die zugrundeliegenden „neueren Erkenntnisse“ zu bewerten. Sieht man die angeführten Arbeiten von Hapke daraufhin durch, so ist eine Prüfung dadurch erschwert, daß die seine Bewertung fundierenden Ergebnisse aus Tierversuchen nicht durch Literaturangaben belegt sind. Dennoch soll hier der Versuch unternommen werden, die toxikologische Bewertung der WHO mit der Hapkes zu vergleichen und zu untersuchen, ob der WHO-Wert tatsächlich revisionsbedürftig ist.

2 Toxikologische Grundlage des WHO-Wertes

Aufgrund der jahrzehntelangen intensiven industriellen Verwendung von Cadmium (etwa ab 1920) und der weltweit bekannt gewordenen tragischen Vergiftungsfälle in Japan in den 40er und 50er Jahren durch cadmiumverseuchten Reis liegt eine Vielzahl von arbeitsmedizinischen und epidemiologischen Untersuchungen vor, die eine ausreichende Grundlage für eine Risikoabschätzung geben.