

DIN ISO 16362



Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 5.

ICS 13.040.20

Außenluft –**Bestimmung partikelgebundener aromatischer Kohlenwasserstoffe mit Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (ISO 16362:2005)**

Ambient air –

Determination of particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons by high performance liquid chromatography (ISO 16362:2005)

Air ambient –

Détermination des particules d'hydrocarbures aromatiques polycycliques par chromatographie liquide à haute performance (ISO 16362:2005)

Gesamtumfang 31 Seiten

Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss



Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 16362:2006 wurde vom Unterkomitee SC 3 „Außenluft“ des Technischen Komitees ISO/TC 146 „Luftbeschaffenheit“ erarbeitet. An der Erstellung dieser Internationalen Norm waren deutsche Experten, die von der Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss – benannt worden sind, beteiligt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 12884:2000-12, *Außenluft — Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe — Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien und anschließender gaschromatographischer/massenspektrometrischer Analyse (ISO 12884:2000)*

Außenluft

Bestimmung partikelgebundener aromatischer Kohlenwasserstoffe mit Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	2
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Begriffe	5
3 Symbole und Abkürzungen	5
3.1 Symbole	5
3.2 Abkürzungen	5
4 Kurzbeschreibung des Verfahrens	6
5 Reagenzien, Geräte und Betriebsmittel	6
5.1 Reagenzien	6
5.2 Geräte	7
5.3 Betriebsmittel	8
6 Durchführung der Messung	8
6.1 Probenahme	8
6.2 Probenaufbereitung	9
6.3 HPLC-Analyse	10
7 Ermittlung der Kalibrierfunktion und Verifizierung der Messwerte	10
7.1 Identifizierung	10
7.2 Gerätekalibrierung	10
7.3 Ermittlung der Responsefaktoren und Quantifizierung	11
7.4 Bestimmung der Extraktionsausbeute	12
8 Berechnung des Ergebnisses	13
9 Verfahrenskenngrößen	13
9.1 Standardabweichungen des vollständigen Messverfahrens	13
9.2 Nachweisgrenzen	13
10 Störeinflüsse	15
11 Qualitätssicherung	15
12 Berichterstattung	16
Anhang A (informativ) Allgemeine Hinweise	17
Anhang B (informativ) Beispiel für Betriebsbedingungen bei der HPLC-Analyse mit FLD und DAD in Reihenschaltung	18
Anhang C (informativ) Extraktionsausbeute für einige PAH-Verbindungen	21
Anhang D (informativ) Ergebnisse von Doppelbestimmungen	22
Anhang E (informativ) Vergleichsmessungen und Test der Invarianz der PAH-Profile	24
Anhang F (informativ) Physikalische Eigenschaften von PAHs	25
Anhang G (informativ) HPLC-Säulen	29
Literaturhinweise	30

Einleitung

Verschiedene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs) stehen im Verdacht, beim Menschen Krebs auszulösen. PAHs werden hauptsächlich durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen und Holz in die Atmosphäre freigesetzt. Zwei- oder Dreiring-PAHs sind in der Stadtluft in Konzentrationen von zehn bis zu einigen hundert Nanogramm je Kubikmeter (ng/m^3) vorhanden; PAHs mit vier und mehr Ringen werden lediglich in Konzentrationen von wenigen ng/m^3 gefunden. Der Sättigungsdampfdruck von PAHs liegt bei 25 °C im Bereich von 10^{-2} kPa bis weniger als 10^{-13} kPa. PAHs mit einem Dampfdruck über 10^{-8} kPa können gasförmig oder partikelgebunden in der Außenluft vorliegen. Die Verteilung zwischen beiden Phasen hängt ab von Umgebungstemperatur, Feuchte, Art und Konzentrationen der PAHs und der Partikel sowie der Verweilzeit in der Luft. Die PAHs, insbesondere diejenigen mit einem Dampfdruck über 10^{-8} kPa, neigen während der Probenahme zur Abdampfung von den Partikelfiltern.

Im Unterschied zur Internationalen Norm ISO 12884 [1], nach der PAHs in der Gasphase gemessen werden können, wird in dieser Internationalen Norm ein Verfahren beschrieben, mit dem die Konzentration schwerflüchtiger, partikelgebundener PAHs bestimmt werden kann. Diese Internationale Norm lässt die Anwendung eines Probenahmeflussstroms in einem großen Bereich zu. Sie legt die Anwendung der Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie in Verbindung mit Fluoreszenzdetektion oder UV-Absorption fest.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Verfahren zur Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse für die quantitative Bestimmung schwerflüchtiger (partikelgebundener) polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAHs) in der Außenluft fest. Für die Probenahme können Geräte mit geringem Volumenstrom (Low-Volume-Probenahmegeräte) oder mit mittlerem bzw. hohem Volumenstrom (Medium-/High-Volume-Probenahmegeräte) verwendet werden. Damit ist eine Probenahmedauer zwischen 1 h und 24 h möglich. Der Probenahmeflussstrom beträgt bei Low-Volume-Geräten zwischen $1 \text{ m}^3/\text{h}$ und $4 \text{ m}^3/\text{h}$ und bei Medium-/High-Volume-Geräten zwischen $10 \text{ m}^3/\text{h}$ und etwa $90 \text{ m}^3/\text{h}$. In jedem Fall sollte die lineare Anströmungsgeschwindigkeit am Sammelfilter im Bereich zwischen etwa 0,5 m/s und 0,9 m/s liegen.

Das Verfahren wurde für eine Probenahmedauer bis zu 24 h validiert. Die Nachweisgrenzen für einzelne PAHs und die durch Doppelbestimmungen ermittelten Standardabweichungen sind in 9.2 bzw. im Anhang D zusammengestellt.

Diese Internationale Norm beschreibt ein Probenahme- und Analysenverfahren für PAHs, bei dem die Probe aus der Luft entnommen, auf einem Filter abgeschieden und anschließend mit Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie in Verbindung mit einem Fluoreszenz-Detektor (FLD) analysiert wird. Die Anwendung eines Dioden-Array-Detektors (DAD) ist ebenso möglich wie die Kombination beider Detektortypen (siehe Anhang B) möglich ist. Die Probenahme erfasst den Gesamt-Schwebstaub.

Verbindungen mit einem Siedepunkt über 430 °C (Dampfdruck bei 25 °C kleiner als 10^{-9} kPa, z. B. Chrysen, Benz[a]anthracen) lassen sich bei niedrigen Temperaturen (z. B. unter 10 °C) gut auf dem Sammelfilter abscheiden. Im Gegensatz dazu werden bei höheren Temperaturen (über 30 °C, siehe auch ISO 12884 [1]) nur PAHs mit einem Siedepunkt über 475 °C (Dampfdruck bei 25 °C kleiner als 10^{-10} kPa) quantitativ erfasst (siehe Anhang F).

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

2.1

Blindwert-Lösung

Lösung, die die Chemikalien zur Herstellung der Probenlösung sowie die Bestandteile, die die Messung beeinflussen, in derselben oder in ähnlicher Konzentration wie die zu analysierende Probe enthält, nicht aber die zu bestimmende Substanz

2.2

Low-Volume-Probenahmegerät

Probenahmegerät mit einem Volumenstrom von 1 m³/h bis 4 m³/h

2.3

Medium-/High-Volume-Probenahmegerät

Probenahmegerät mit einem Volumenstrom von 10 m³/h bis etwa 90 m³/h

3 Symbole und Abkürzungen

3.1 Symbole

A_i	Peakfläche der Komponente i ;
A_{IS}	Peakfläche des internen Standards;
ρ	Massenkonzentration;
f	Responsefaktor;
m_i	Masse der Komponente i ;
m_{IS}	Masse des internen Standards;
M_r	relative molare Masse;
V	Volumen.

3.2 Abkürzungen

ASE	beschleunigte Lösemittelextraktion;
b.p.	Siedepunkt;
DAD	Dioden-Array-Detektor (UV-Absorption);
FLD	Fluoreszenz-Detektor;
HPLC	Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie;
PAH	polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff;
SOP	Standardarbeitsanweisung;
UV	Ultraviolett;
WHO	Weltgesundheitsorganisation.

4 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Für die Probenahme werden Probenahmegeräte eingesetzt, deren Volumenstrom zwischen 1 m³/h und etwa 90 m³/h liegen kann. Die Partikel, an denen die PAHs adsorbiert sind, werden auf Glas- oder Quarzfaserfiltern abgeschieden.

Die PAHs werden extrahiert und der Extrakt wird anschließend eingeeengt. Falls erforderlich, kann der Extrakt säulenchromatographisch unter Verwendung von Kieselgel gereinigt werden.

Die PAHs werden mit HPLC in Verbindung mit einem DAD oder FLD bestimmt. Zur Qualitätssicherung werden interne Standards eingesetzt.

5 Reagenzien, Geräte und Betriebsmittel

5.1 Reagenzien

5.1.1 Lösemittel zur Analyse: Wasser, Acetonitril, Toluol (alle Lösemittel in für HPLC geeigneter Qualität).

5.1.2 Lösemittel zur Probenaufbereitung: Toluol, Cyclohexan und Acetonitril (alle Lösemittel in für HPLC geeigneter Qualität).

Die unter den Bedingungen des Ausführungsbeispiels erhaltenen Chromatogramme der Lösemittel dürfen keine störenden Peaks aufweisen.

5.1.3 Helium, Reinheit 99,999 %; zur Entgasung der Lösemittel.

Zur Vermeidung von Störungen dürfen keine Kunststoffschläuche verwendet werden; empfohlen werden Metallrohre.

5.1.4 Interner Standard

Bei Verwendung eines DAD: In Toluol gelöstes Indeno[1,2,3-*cd*]fluoranthren, Massenkonzentration z. B. 3 µg/ml (siehe 6.2). Bei Verwendung eines FLD: 6-Methylchrysen.

5.1.5 Kalibrierstandards

Cyclopenta[<i>cd</i>]pyren	CPP
Benz[<i>a</i>]anthracen	BaA
Chrysen	CHR
Benzo[<i>b</i>]fluoranthren	BbF
Benzo[<i>j</i>]fluoranthren	BjF
Benzo[<i>k</i>]fluoranthren	BkF
Benzo[<i>a</i>]pyren	BaP
Benzo[<i>e</i>]pyrene	BeP
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyren	INP

Dibenz[a,h]anthracen	DBahA
Dibenz[a,c]anthracen	DBacA
Benzo[ghi]perylene	BghiP
Anthanthren	ANT
Coronen	COR
Dibenzo[a,i]pyren	DBaiP
Dibenzo[a,i]pyren	DBaiP
Dibenzo[a,e]pyren	DBaeP
Dibenzo[a,h]pyren	DBahP
Benzo[a]chrysen (= Picen)	BaC

5.2 Geräte

5.2.1 Probenahmeverrichtung, bestehend aus den folgenden handelsüblichen Komponenten:

5.2.1.1 Probenahmekopf, in dem üblicherweise das Filter untergebracht ist.

5.2.1.2 Förderaggregat, z. B. Drehschieberpumpe oder Turbine.

5.2.1.3 Volumenmessgerät, zur Messung des Probenvolumens, oder Volumenstrommessgerät.

5.2.1.4 Elektronische oder mechanische Vorrichtung, zur Aufrechterhaltung eines konstanten Volumenstroms.

5.2.1.5 Zeitschaltuhr, zur Vorwahl des Zeitpunkts und der Dauer der Probenahme.

5.2.1.6 Pinzette (wahlfrei), zur Handhabung der Filter.

5.2.2 Geräte zur Probenaufbereitung

Die PAH-Extraktion (siehe 7.2) wird mit gebräuchlicher Laborausrüstung durchgeführt. Dazu gehören:

5.2.2.1 Kolben/Rückflusskühler, Rundkolben (z. B. 250 ml oder 100 ml bei Einsatz eines Kleinfiltersgeräts) mit passendem Rückflusskühler sowie Heizbad, oder

5.2.2.2 Ultraschallbad, Becherglas, Fassungsvermögen z. B. 50 ml oder 100 ml oder

5.2.2.3 Soxhletextraktor, Fassungsvermögen z. B. 30 ml bis 50 ml, Extraktionshülse aus Zellulose, Rundkolben (100 ml) mit Rückflusskühler und Heizbad oder

5.2.2.4 ASE-Apparatur, zur Probenextraktion bei höheren Temperaturen und hohem Druck.

5.2.2.5 Vakuumpumpe, z. B. Membran- oder Wasserstrahlpumpe.

5.2.2.6 Zentrifuge, mit Einsätzen (Volumen von jeweils z. B. 20 ml).

5.2.2.7 Chromatographiesäule, innerer Durchmesser z. B. 10 mm, Länge z. B. 230 mm (Kieselgelsäule).

5.2.3 Geräte zur Analyse

5.2.3.1 Hochleistungs-Flüssigkeitschromatograph, für isotherme Betriebsweise geeignet, mit Löse-mittelentgasungsvorrichtung, Gradientenpumpensystem und einem FLD oder DAD.

5.2.3.2 Trennsäulen, für die PAH-Analyse optimierte Säulen mit Umkehrphasensorbens (siehe Anhang G).

5.2.3.3 Arbeitsplatzrechner, mit Bildschirm und Drucker/Plotter, zur Erfassung, Verarbeitung, Speicherung und Auswertung der Daten, einschließlich der Möglichkeit einer nachträglichen Basislinienkorrektur.

5.2.3.4 GC-Mikroliterspritzen, geeignet zur Dosierung aliquoter Volumina.

5.3 Betriebsmittel

5.3.1 Sammelfilter, Glas- oder Quarzfaserfilter, Abscheidegrad besser als 99,9 % für Partikel mit einem Durchmesser $< 0,5 \mu\text{m}$, ohne organisches Bindemittel, für das jeweilige Probenahmegerät geeignet (rund oder quadratisch).

ANMERKUNG Auch mit Polytetrafluorethen (PTFE) beschichtete oder imprägnierte Filter wurden zur Abscheidung partikelgebundener PAHs eingesetzt [2]. Die Verwendung derartiger Filter erfordert den Nachweis ihrer Eignung durch den Anwender.

5.3.2 Sorbens für die Säulenchromatographie

Kieselgel von hoher Reinheit, Typ 60, Korngröße $70 \mu\text{m}$ bis $200 \mu\text{m}$. 24 h vor Gebrauch wird ein Massenanteil von 15 % Wasser zugegeben. Zum Packen der Säule wird eine Suspension aus 10 g angefeuchtetem Kieselgel in 40 ml Cyclohexan hergestellt. Die durch Schütteln von Luftblasen befreite Suspension wird in die Chromatographiesäule gepackt. Vor Gebrauch der Säule wird so viel Cyclohexan abgezogen, dass der Flüssigkeitsspiegel bis zur Oberfläche der Kieselgelschicht reicht.

6 Durchführung der Messung

6.1 Probenahme

Die Probenahmeverrichtung wird der Messaufgabe entsprechend ausgewählt.

Jedes Sammelfilter wird im Labor gekennzeichnet und mit einer Pinzette in den zugehörigen Filterhalter gelegt. Es ist sicherzustellen, dass die Markierung bei der Probenaufbereitung nicht entfernt werden kann. Das Filter wird mit einem Klemmring fixiert. Der Filterhalter mit dem eingelegten Filter wird in eine Petrischale gegeben und diese in einem luftdichten Transportbehälter zum Messort gebracht. Dort wird der Filterhalter in den mit dem Ansaugrohr verbundenen Probenahmekopf eingesetzt und befestigt.

Entsprechend der Messaufgabe wird eine Probenahmedauer von 1 h bis 24 h vorgewählt. Pumpe und Zeitmessgerät werden gleichzeitig gestartet.

Wird eine Volumenstrom-Regelvorrichtung in Verbindung mit einem Volumenmessgerät verwendet, ist das Probenvolumen aus der Anzeige des Volumenmessgerätes zu Beginn und am Ende der Probenahme zu ermitteln.

Wird eine Volumenstrom-Regelvorrichtung in Verbindung mit einem Volumenstrommessgerät verwendet, ist das Probenvolumen aus dem mittleren Volumenstrom (berechnet aus mindestens dem Volumenstrom zu Beginn und am Ende der Probenahme) und der Probenahmedauer ermittelt.

Mit dem Volumenstrommessgerät sollte auch der ordnungsgemäße Betrieb der Volumenstromregelung zu Beginn und am Ende der Probenahme kontrolliert werden.

Nach Ablauf der Probenahmedauer wird die Pumpe abgeschaltet. Der Filterhalter mit dem belegten Filter wird aus dem Probenahmekopf entnommen, zum Transport wiederum in eine Petrischale gelegt und diese so in den Transportbehälter gegeben, dass die belegte Seite des Filters nach oben weist. Der Transportbehälter muss in horizontaler Lage transportiert werden. Im Labor wird das belegte Filter mit einer Pinzette aus dem Filterhalter entnommen.

Vor der Extraktion wird das Filter bei Umgebungstemperatur (oder darunter) im Dunkeln aufbewahrt.

Mindestens 10 % der Proben oder – falls weniger als zehn Proben an einem Messort genommen werden – mindestens eine Probe je Messort müssen Blindproben sein.

6.2 Probenaufbereitung

Die Reinheit der Filter, der Glasgeräte, der verwendeten Lösemittel und der Reagenzien ist zu überprüfen. Dazu wird die Lösung des internen Standards auf ein unbenutztes Filter aufgebracht und das Filter der gesamten Analysenprozedur unterworfen (Blindwert).

Die Blindwerte werden bei der Berechnung des Ergebnisses zwar nicht berücksichtigt, sie dürfen jedoch 10 % des Probenwertes oder 10 % eines zu überwachenden Grenz-/Richtwertes nicht überschreiten.

Die Proben oder Probenlösungen dürfen während der Aufbereitung nicht direktem Licht ausgesetzt werden.

Zur Extraktion wird das Filter in einen 250-ml-Rundkolben gegeben, mit 150 ml Toluol bedeckt (oder 70 ml Toluol in einem 100-ml-Rundkolben bei Verwendung kleiner Filter) und danach mit 50 µl der Lösung des internen Standards versetzt, siehe 5.1.4. Toluol ist besonders gut zur Extraktion der PAHs geeignet [3]. Falls andere Lösemittel (z. B. Dichlormethan, Acetonitril) verwendet werden, muss das Verfahren zuvor mit NIST-Standards validiert worden sein. Nach Aufsetzen des Rückflusskühlers wird der Kolbeninhalt für etwa 20 min zum Sieden erhitzt. Der Extrakt wird dann durch Filtration von Filtermaterial und Staubteilchen abgetrennt.

Die Extraktion kann auch mit anderen Verfahren durchgeführt werden:

- mit einer Soxhlet-Apparatur (Toluol: 8 h, mindestens 10 Zyklen je h);
- in einem Becherglas im Ultraschallbad (Toluol, mindestens 15 min);
- im Ultraschallbad mit anschließendem Zentrifugieren. Das Filter wird zerschnitten, in das Zentrifugenröhrchen gegeben und mit 15 ml Toluol überdeckt. Die Röhrchen werden in das Ultraschallbad gestellt und 15 min extrahiert. Danach werden sie zentrifugiert (10 min, 3 000 1/min), das Lösemittel wird dekantiert. Der gesamte Extraktionsvorgang wird wiederholt. Beide Extraktionslösungen werden vereinigt;
- mit beschleunigter Lösemittelextraktion (ASE). Das Filter wird in das Extraktionsgefäß gegeben und bei 150 °C mit Toluol extrahiert.

Alle Verfahren müssen validiert sein.

Die Toluollösung wird bei Unterdruck (z. B. 13 kPa) auf wenige Mikroliter eingengt. Dieser Verfahrensschritt muss ständig beobachtet werden.

ANMERKUNG 1 Falls bis zur Trockne eingedampft wird und der Rückstand längere Zeit im Vakuum verbleibt, können PAH-Verluste auftreten.

Falls eine weitere Reinigung erforderlich ist, werden 2 ml Cyclohexan zugegeben.

Die Cyclohexanlösung wird mit einer Spritze auf die vorbereitete Kieselgelsäule gegeben (siehe 5.2.2.7). Der Kolben wird mit 2 ml Cyclohexan nachgespült und diese Spüllösung dann ebenfalls mit einer Spritze auf die Kieselgelsäule gegeben. Die Elution wird mit 100 ml Cyclohexan durchgeführt. Zur Entfernung des Cyclohexans wird das Eluat auf wenige Milliliter eingengt und dann in einem Stickstoffstrom bis fast zur Trockne

eingeeengt. Der Rückstand wird dann mit dem für die Injektion in die HPLC-Säule vorgesehenen Lösemittel aufgenommen, z. B. mit 100 µl Acetonitril.

ANMERKUNG 2 Auf die Reinigungsprozedur mit der Kieselgelsäule kann verzichtet werden, wenn die Herkunft der Luftprobe bekannt ist und störende Einflüsse gering sind.

Falls der Extrakt nicht sofort analysiert wird, muss er in einem Kühlschrank gelagert werden. Vor der Analyse muss er wieder Raumtemperatur annehmen.

6.3 HPLC-Analyse

Ein aliquoter Teil der Probe (z. B. 20 µl) wird in die HPLC-Apparatur injiziert.

Ein Beispiel für die Betriebsbedingungen der HPLC-Analyse mit einem DAD und einem FLD in Reihenschaltung ist im Anhang B angegeben.

7 Ermittlung der Kalibrierfunktion und Verifizierung der Messwerte

7.1 Identifizierung

Die Trennbedingungen werden mithilfe von Mehrkomponentenstandardlösungen (siehe 5.1.5) optimiert, sodass eine hinreichende Trennung der interessierenden Substanzen möglich ist.

Die Identität einer Substanz in der Probe wird in erster Linie durch den Vergleich ihrer Retentionszeiten in Probe und Kalibrierlösung, die unter identischen Bedingungen analysiert werden, festgestellt. Der Grad der Übereinstimmung muss angegeben werden.

Die Konzentrationen der Kalibrierstandards sollten, je nach Messaufgabe, in den folgenden Bereichen liegen:

- 2 ng/ml bis 200 ng/ml bei Verwendung eines FLD;
- 20 ng/ml bis 1 000 ng/ml bei Verwendung eines DAD.

7.2 Gerätekalibrierung

Für jede zu bestimmende Substanz werden Kalibrier-Standardlösungen in Acetonitril als Lösemittel in unterschiedlichen Konzentrationen hergestellt. Die Kalibrierung umfasst nicht das vollständige Messverfahren. Die Kalibrier-Standardlösungen werden in gleicher Weise gehandhabt wie die Probenlösungen.

Beginnend mit der niedrigsten Konzentration wird die Standardlösung dreimal in den Chromatographen injiziert. Das Injektionsvolumen sowie alle sonstigen Parameter der Kalibrierung und Messung sind konstant zu halten.

Die Kalibrierfunktionen sind graphisch in einem Diagramm darzustellen. Hierzu werden die Messwerte A_i (Peakflächen in Einheiten des verwendeten Integrators) für jede Substanz i auf der Ordinate und die entsprechende Massenkonzentration m_i der Substanz i auf der Abszisse aufgetragen. Bei Verwendung eines internen Standards werden die Verhältnisse der Messwerte A_i der Substanz i zu den Werten A_{IS} des internen Standards auf der Ordinate und die Verhältnisse der entsprechenden Massenkonzentrationen m_i der Substanz i zu den Werten m_{IS} des internen Standards auf der Abszisse aufgetragen.

Die Funktionsgleichung und der Korrelationskoeffizient werden berechnet; sie sind Bestandteil des Analysenergebnisses.