

Welche Spektrometer- Optiktechnologie bietet die bessere Leistung – Echelle oder ORCA?

Einleitung

Das Herz eines Spektrometers ist das optische System. Daher sollte jeder Labormanager wesentliche Fakten dieser Systeme kennen. Die Herausforderung besteht darin, das geeignete Analysegerät für eine Vielzahl an Anwendungen aus Forschung und Industrie auszuwählen. Dabei muss das Gerät entweder höchste Präzision oder maximale Messempfindlichkeit bieten – oder sogar beides.

Um die täglichen Aufgaben zu bewältigen, setzen viele Labormanager auf ICP-OES-Technologie, also auf optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma.

Heutzutage gibt es bei modernen ICP-OES-Geräten zwei generelle Ansätze in Bezug auf das Optikdesign – diese lauten „Echelle“ oder „Paschen-Runge mit Rowland-Kreis“ (wie im „Optimized Rowland Circle Alignment“ – oder kurz „ORCA“ – angewendet).

Dieses Dokument geht auf die wesentlichen Vor- und Nachteile beider Ansätze ein. Es legt außerdem dar, warum die ORCA-Polychromator-Technologie – obwohl sie scheinbar weniger weit verbreitet ist als die Echelle-Technologie – in vielen Anwendungsbereichen objektiv die bessere Leistung erbringt.

Konventionelle Optiktechnologie: Echelle

Bei der ICP-OES-Analyse geht es grundsätzlich darum, dass Elemente charakteristische Spektrallinien emittieren, wenn sie durch ein sehr heißes Argonplasma angeregt werden. Dabei wird das emittierte Licht durch bestimmte Vorrichtungen, wie etwa einem Beugungsgitter, in die verschiedenen Emissionslinien aufgelöst, die sich durch ihre Wellenlänge unterscheiden. Das wellenlängenaufgelöste Licht wird auf eine Anordnung von Detektoren geleitet, die die Intensität der verschiedenen Linien messen. Auf diese Weise lassen sich die Elemente, die in einer Probe enthalten sind, analysieren und quantitativ bestimmen.

Die Optiken, die heute in der Mehrzahl der ICP-OES-Geräte eingesetzt werden, verwenden Beugungsgitter des Echelle-Typs. Echelle-Optiksysteme sind gut geeignet, um in Verbindung mit zweidimensionalen Halbleiterdetektoren, wie sie in den 1990er Jahren eingeführt wurden, genutzt zu werden. Echelle-Systeme erzeugen ein Spektrum in einer zweidimensionalen Anordnung, bei der das Spektrum in kleine Segmente (Beugungsordnungen) unterteilt ist, die von Infrarot bis Ultraviolett ansteigen. So kam es auch zur Bezeichnung „Echelle“, dem französischen Begriff für „Leiter“.

Im Vergleich zu früheren Technologien kann man durchaus behaupten, dass Echelle-basierte Spektrometer die Vorteile einer relativ hohen spektralen Auflösung mit einem relativ großen Spektralbereich

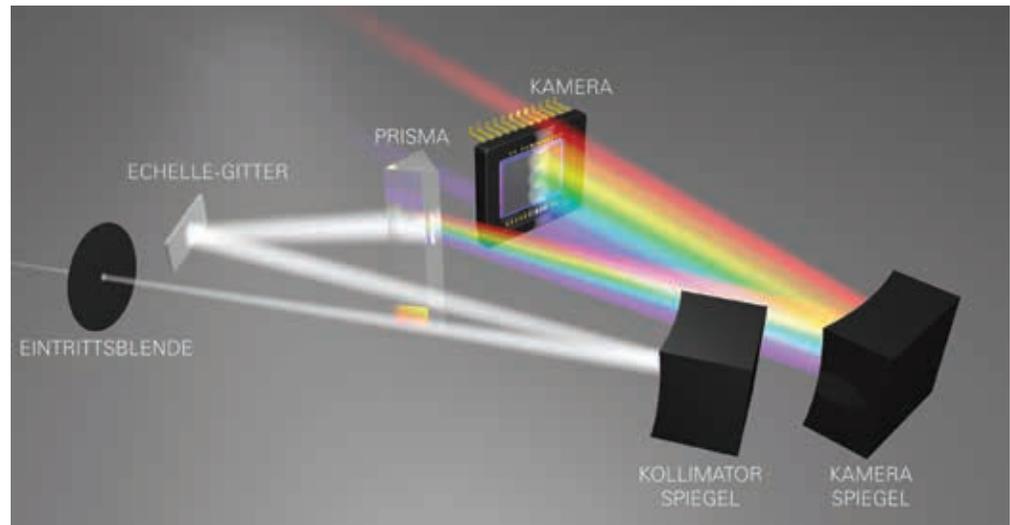
kombinieren. Zudem sind Echelle-Systeme, vor allem weil die Lichtwege zwischen einer Vielzahl reflektierender Oberflächen konzentriert sind, relativ klein und beanspruchen somit auf dem Labortisch recht wenig Platz.

Echelle-basierte Geräte haben ihre Leistungsfähigkeit für eine Reihe von Applikationen in Laboren weltweit unter Beweis gestellt. Allerdings weisen sie bei einigen Anwendungen bestimmte Beschränkungen auf, die in ihrer Technologie begründet sind und teilweise zu einem eher mäßigen Resultat führen, wie im Folgenden beschrieben wird.

Lichtverlust und Streulicht

Wie bereits erwähnt verfügen Echelle-basierte Optiken typischerweise über eine Vielzahl reflektierender Oberflächen – üblicherweise vier bis acht (oder auch mehr) Spiegel oder Prismen. An jeder dieser Oberflächen gehen theoretisch bis zu 15 Prozent des eingehenden Lichtsignals verloren – und im ultravioletten/vakuum-ultravioletten Bereich (UV/VUV) sogar noch mehr. Auch wenn die Entwickler durch bestimmte Maßnahmen versuchen, diese Verluste zu verringern, bleibt die Problematik bei dieser Vielzahl optischer Elemente bestehen. Zwar verfügen Echelle-Systeme typischerweise über einen größeren Öffnungswinkel als ORCA-Systeme und können so einen Teil der Verluste wieder ausgleichen, aber ein gewisser Lichtverlust verbleibt und verringert die optische Empfindlichkeit dieser Geräte.

Schematische Darstellung
eines typischen
Echelle-Systems



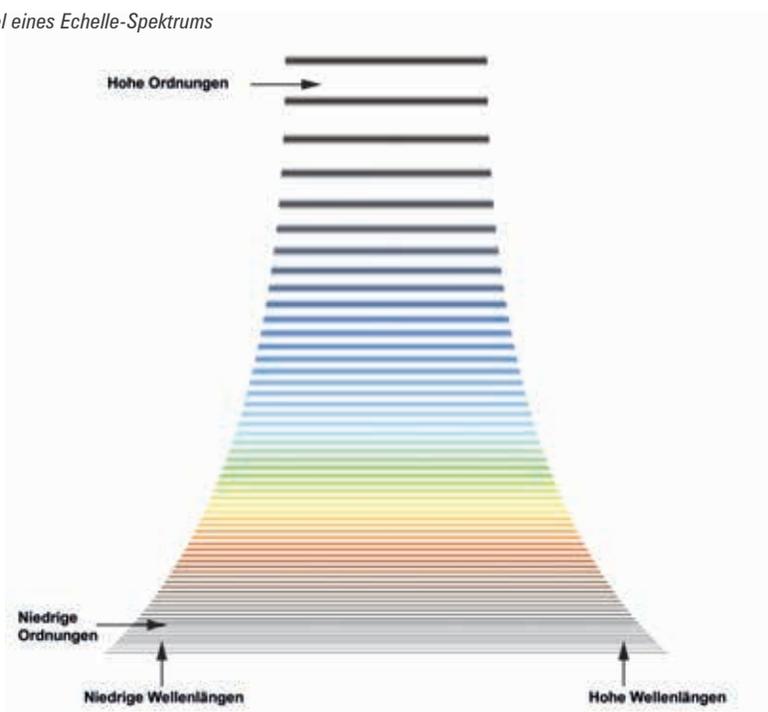
Kritisch wird das Problem im UV/VUV-Bereich zwischen 130 und 190 nm: Der Verlust an Messempfindlichkeit beeinträchtigt hier die Leistung eines Echelle-Systems insbesondere bei der Analyse von Elementen wie Aluminium, Blei,

Phosphor, Quecksilber, Schwefel und den Halogenen.

Paradoxerweise leiden Echelle-basierte Systeme nicht nur unter den Effekten einer zu geringen Lichtmenge, sondern sie haben mitunter auch Probleme mit einer zu großen Lichtmenge. Durch ihre Fülle an reflektierenden Oberflächen erhöht sich zwangsläufig die Menge des innerhalb des optischen Systems gestreuten Lichts. Je mehr Oberflächen enthalten sind, desto schwieriger wird es, dieses Streulicht vom Detektor fernzuhalten.

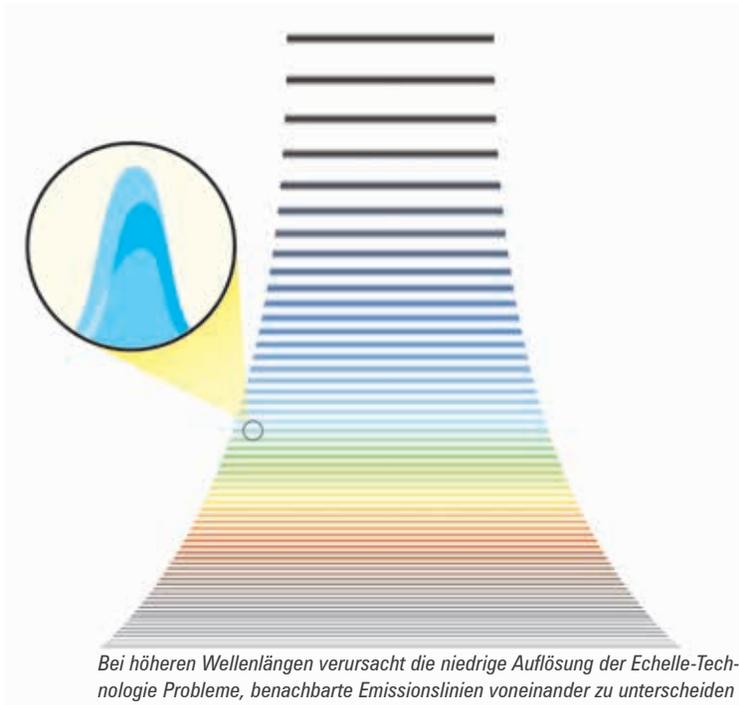
Spektrometer sind auf eine exakte Erfassung des elementspezifischen Lichts angewiesen, um das zu untersuchende Element genau zu bestimmen. Streulicht erhöht dabei das Untergrundsignal, verstärkt das Signalaussehen und verringert die Messempfindlichkeit.

Beispiel eines Echelle-Spektrums



Optische Beschränkungen

Charakteristisch für den Detektoraufbau und die Messdatenverarbeitung von Echelle-Systemen ist die Tatsache, dass das kontinuierliche Spektrum durch die Verwendung vieler Beugungsordnungen



in kleine Abschnitte zerlegt wird. Diese Abschnitte werden zur Analyse und Betrachtung in einer leiterförmigen Anordnung, die als „Echellogramm“ bezeichnet wird, dargestellt.

Wenn eine Probe viele Elemente mit prominenten Spektrallinien bei höheren Wellenlängen enthält, können diese Linien im Echellogramm recht nah beieinander liegen. Spektrallinien haben eine natürliche Breite von 2-3 Pikometern (pm), sodass es schwierig oder gar unmöglich

sein kann, ein bestimmtes Element von seinem „Nachbarn“ zu unterscheiden. In der Praxis erschweren spektrale Interferenzen, die durch eine niedrige Auflösung im höheren Wellenlängenbereich entstehen, die Elementanalytik bei linienreichen Matrices. Diese sind gerade bei vielen gängigen Metallen oder den meisten organischen Materialien typisch. Der Einsatz Echelle-basierter Systeme kann in diesen Anwendungsbereichen zu entsprechend unbefriedigenden Resultaten führen.

Spektrale Überlappung

Nachdem ein polychromatischer Lichtstrahl das Beugungsgitter eines Spektrometers passiert hat, teilt er sich in eine Vielzahl von Lichtstrahlen unterschiedlichster Wellenlängen in verschiedene Richtungen. In eine bestimmte Richtung werden nur Wellenlängen gebeugt, bei denen die Differenz der Lichtweglänge ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist – auf diese Weise erscheinen all diese Spektralordnungen im gleichen Winkel. Um diese Überlappungen voneinander zu trennen, benötigt man eine zweite dispersive Komponente – ein Gitter oder ein Prisma mit einer Beugungsrichtung senkrecht zur Beugungsrichtung des Echellegitters.

Je nach Konstruktion hat ein Echelle-Spektrum dutzende bis hunderte und mehr Beugungsordnungen. In einigen Echelle-Systemen werden Ordnungen allerdings nicht vollständig getrennt, was Probleme verursacht, die als „Spectral Order Overlap“ (Überlappung spektraler Ordnungen) bekannt sind.

Betroffene Echelle-Spektrometer versuchen dieses Problem zu kompensieren, jedoch sind solche Korrekturen nie zu 100 Prozent erfolgreich. Je größer die Überlappungsinterferenz ist und je schwächer das Signal des Analyten, desto geringer ist die Richtigkeit, die für die betroffenen Analyten erreicht werden kann. Anwender von Echelle-Systemen, die mit solchen Überlappungsinterferenzen kämpfen, versuchen sich oft damit zu behelfen, dass sie für ihren Zielanalyten eine andere Emissionslinie auswählen. Aber auch dieser Ansatz kann schwierig sein.

Zum Beispiel weist Bor drei prominente Linien bei 249,77 nm, 249,67 nm und 182,64 nm auf. Die ersten beiden Linien können durch die Eisen-Emissionslinien bei 249,78 nm und 249,65 nm gestört

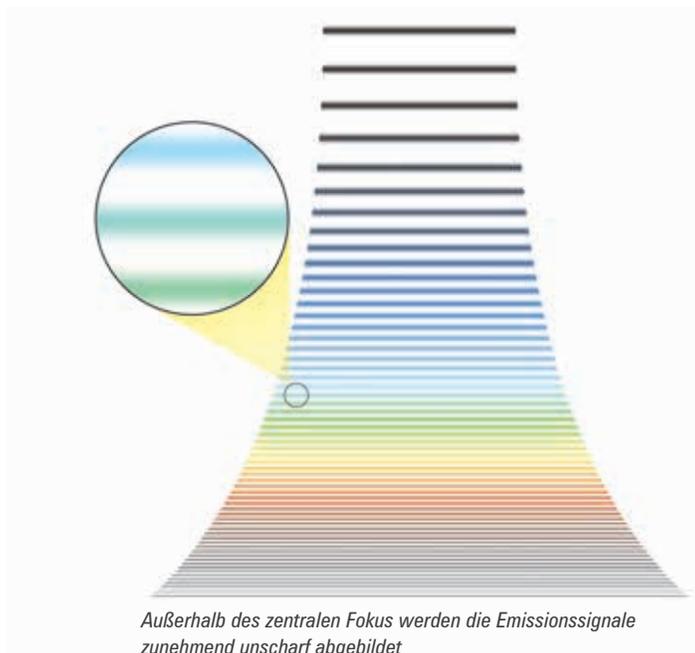
werden, insbesondere bei hohen Eisenkonzentrationen in der Probe. Und die dritte Bor-Emissionslinie bei 182,64 nm befindet sich schon in dem Bereich, in dem Echelle-Systeme typischerweise eine schwächere Empfindlichkeit aufweisen, nämlich dem VUV-Wellenlängenbereich unter 190 nm. Dies hat zur Folge, dass bei Anwendungen wie der Bestimmung von Spuren von Bor in Stahl Echelle-basierte Systeme unter Umständen nicht ausreichen.

Wellenlängenabhängige spektrale Auflösung

Die spektrale Auflösung eines Spektrometers wird anhand seiner Fähigkeit, zwischen benachbarten Wellenlängen zu unterscheiden, bestimmt. Im Allgemeinen weisen Echelle-basierte Optiken ihre beste Auflösung in einem Wellenlängenbereich von 190 bis 240 nm auf.

Doch abseits dieses sogenannten „Sweet Spot“ tauchen Probleme auf. Optische Aberrationen, die die Echelle-Technologie aufweist, bewirken, dass das Bild, das den Detektor erreicht, an Schärfe verlieren kann – und damit verringert sich die Auflösung im Bereich der Ränder. Abseits vom zentralen Fokus sind die Spektrallinien viel breiter.

Daher gelingt es der Echelle-Technologie mitunter nicht, außerhalb der Zone der optimalen Auflösung eine ansprechende Leistung zu erbringen. Sobald z.B. die Wellenlänge unterhalb 190 nm liegt, nimmt ihre Messempfindlichkeit ab. Ein Anwender, der beispielsweise versucht, eine Bodenprobe mit höherem Aluminiumgehalt zu analysieren, wird feststellen, dass die



Außerhalb des zentralen Fokus werden die Emissionssignale zunehmend unscharf abgebildet

umgekehrt zu analysieren, kann Probleme haben, Blei im ppb-Bereich (parts per billion) richtig zu bestimmen, denn die empfindliche Blei-Linie bei 168 nm ist nicht effizient nutzbar, da unterhalb 190 nm viel Licht durch die Komponenten des optischen Systems absorbiert wird.



Plasma bei radialer Betrachtung

Bei noch niedrigeren Wellenlängen wird das Problem geradezu unlösbar. Es ist einfach nicht praktikabel, ein Echelle-basiertes Spektrometer im VUV-Bereich von 130 bis 165 nm einzusetzen. Aber auch in höheren Wellenlängenbereichen kann es zu Problemen kommen, denn die Auflösung verringert sich bei Echelle-Systemen oberhalb von 300 nm kontinuierlich.

Einmal mehr zeigt sich, dass es in linienreichen Matrices mitunter schwierig ist, Elementanalytik mit hoher Richtigkeit durchzuführen. Diese Problematik kann dazu führen, dass man auf andere Spektrometer mit alternativen Analysetechnologien zurückgreifen muss – wie zum Beispiel die Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS) oder die ICP-Massenspek-

trometrie – was wiederum zusätzlich Zeit, Mühe und Kosten verursacht.

Schwierigkeiten bei radialer Plasmabetrachtung

Wie zuvor beschrieben haben Echelle-basierte Systeme mitunter Probleme, Konzentrationen bestimmter Elemente im Spurenbereich zu analysieren, beispielsweise bei Emissionslinien im tiefen UV/VUV-Bereich. Dieses Problem ist häufig besonders ausgeprägt, wenn es sich um ein Gerät mit radialer Plasma-Betrachtung handelt.

Bei radialer Betrachtung des Plasmas steht zur Verarbeitung prinzipiell weniger Licht zur Verfügung als bei axialer Betrachtung (die radiale Betrachtung senkrecht zur Plasmaachse erfasst lediglich einen Querschnitt des Plasmas. Bei der axialen Betrachtung wird hingegen die gesamte Emissionszone längs zur Plasmaachse erfasst); entsprechend bietet sie eine geringere Messempfindlichkeit.

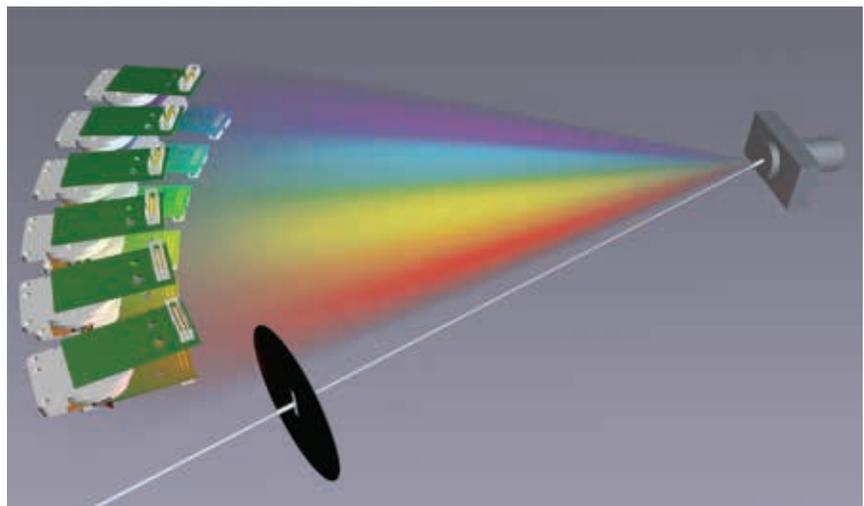
Ein Beispiel: Bei der Produktion von Chlor und Natriumhydroxid nutzt die Chloralkali-Elektrolyse-Methode heutzutage meist einen Membranprozess. Hierbei muss sich der Anwender auf die Analyse der Ausgangssolen verlassen, da bestimmte Verunreinigungen im Spurenbereich – vor allem Calcium, Magnesium und Nickel – den Prozess stören (für Nickel liegt der Grenzwert beispielsweise bei $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ in der Sole). Bei diesen Anwendungen liefern Echelle-basierte Radialsysteme unbefriedigende Ergebnisse. So scheitern sie meist daran, beispielsweise Nickel im einstelligen ppb-Bereich in konzentrierten

Salzmatrices zu bestimmen. Labore, die mit diesen oder ähnlich anspruchsvollen Anwendungen zu tun haben, könnten sich daher gezwungen sehen, ihre Radialgeräte durch Axialgeräte oder sogar Dual-View-Systeme zu ergänzen oder zu ersetzen. Letztere Systeme weisen jedoch unter Umständen eine niedrigere Stabilität und Matrixkompatibilität als Radialgeräte auf. Außerdem benötigen sowohl der Axial- als auch der Dual-View-Ansatz komplexere Technologien, die zusätzliche Wartungs-, Reinigungs- und andere Kosten nach sich ziehen.

ORCA – eine innovative Optiktechnologie

Einen vollkommen anderen Ansatz als die von den meisten Herstellern genutzte, konventionelle Echelle-basierte Technik stellt die innovative, aber gleichzeitig bewährte ORCA-Technologie (Optimized

Rowland Circle Alignment) dar. Statt auf zweidimensionale Sensoren setzen ORCA-Systeme auf moderne lineare Detektoren. Derartige Systeme beinhalten Anordnungen linearer CCD-Detektoren (Charged Coupled Device), die mit Hilfe von gekrümmten Spiegeln genau auf die Fokalebene des Spektrometers abgestimmt sind. Sie weisen eine konkave Reflexionsgitteranordnung auf, die den Lichtverlust während der Beugung minimiert. Zu den wichtigsten ORCA-Eigenschaften zählen hohe Messempfindlichkeit, gleichmäßige spektrale Auflösung über einen weiten Spektralbereich und außergewöhnliche Stabilität. ORCA-Technologie wird bereits in einigen der heute führenden Spektrometer – wie den ARCOS, GENESIS und SPECTROBLUE ICP-OES-Geräten der SPECTRO Analytical Instruments GmbH – eingesetzt.



ORCA erfasst das gesamte relevante Spektrum

Dank der optimierten holographischen Gitter, die zusammen mit 32 Linear-Detektoren in einem Aluminiumguss-Hohlkörper integriert sind, deckt das ARCOS einen Wellenlängenbereich von 130 bis 770 nm ab. Dies ermöglicht die Erfassung des kompletten für die ICP-OES relevanten Spektrums innerhalb von vier Sekunden. Dabei verwendet das Gerät drei separate, optimierte optische Systeme, um die effiziente Abdeckung des gesamten Wellenlängenbereichs zu gewährleisten. ORCA-basierte Systeme sind für gewöhnlich größer als ihre Echelle-basierten Gegenstücke, da mehr Platz für die langen, geraden optischen Strahlengänge benötigt wird. Zwar ist dies selten ein Problem, aber es könnte ein Kriterium für Labore sein, für die ausschließlich ein Kompaktgerät in Frage kommt.

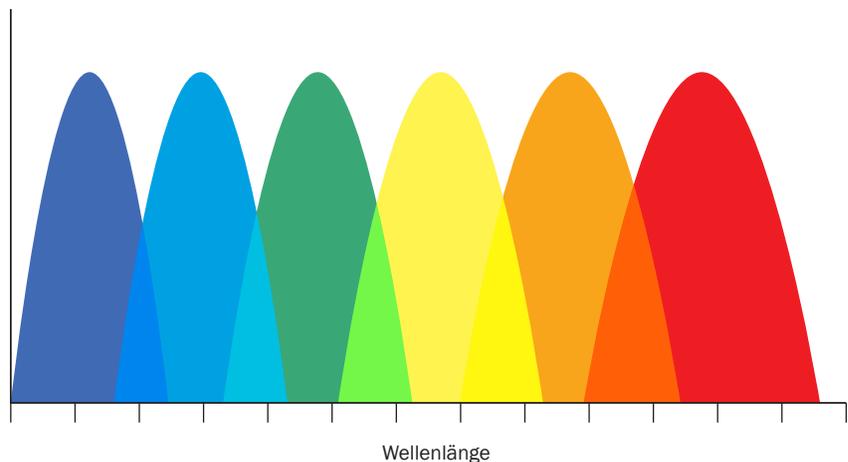
Davon abgesehen sind aber die meisten ORCA-Anwender von den technologischen Vorteilen und der höheren Leistung gegenüber Echelle-basierten Systemen bei einer Reihe von Anwendungen überzeugt. Dies soll im Folgenden genauer untersucht werden.

Minimaler Lichtverlust

Echelle-Optiken verwenden meist vier bis acht reflektierende Oberflächen. Im Gegensatz dazu besitzt ein ORCA-System wie das ARCOS im kritischen UV-Bereich nur zwei reflektierende optische Oberflächen zwischen Eingangsspalt und Detektor. Dies trägt zu einem direkten, lichtstarken Strahlengang bei, der ausschließlich Licht der ersten Beugungsordnung nutzt. So wird der Lichtverlust im optischen System minimiert und Streulicht vermindert.

Gleichzeitig wird der Lichtdurchsatz in den wichtigen Wellenlängenbereichen maximiert. Anders als Echelle-Systeme bieten ORCA-basierte Systeme beispielsweise eine hohe Empfindlichkeit wie sie für die Messungen im UV/VUV-Bereich unterhalb von 190 nm notwendig ist. Dies betrifft beispielsweise Elemente wie Aluminium, Blei, Schwefel, Phosphor und Chlor. Daher ist es mit ORCA-Systemen erheblich einfacher, Spuren von Elementen auch in schwierigen Matrices zu bestimmen.

ORCA-basierte Systeme weisen eine konstante Auflösung über einen weiten Wellenlängenbereich auf



Überlegene optische Leistung

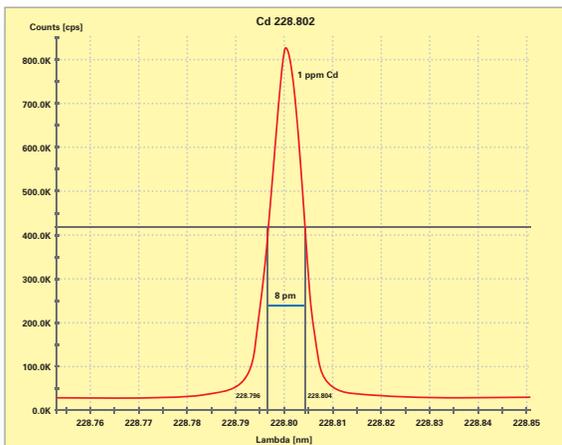
Anders als Echelle-basierte Systeme mit ihren in Abschnitte zerlegten Spektren und ihrer komprimierten Optik bieten ORCA-Systeme eine gleichförmige Spektrabbildung, direkte, lichtstarke optische Pfade sowie eine konstante Auflösung über einen großen Spektralbereich. Lichtverlust und Streulicht werden minimiert. Die Systeme ermöglichen eine gute Trennung der Spektrallinien mit maximalem Lichtdurchsatz (und dementsprechend auch maximaler Spektralinformation) sowie eine Erfassung des gesamten relevanten Spektrums der jeweiligen Probe. Je nach Probe, Matrix und Wellenlänge sind ORCA-Systeme bis zu fünf Mal messempfindlicher als vergleichbare Echelle-basierte Systeme. Linienreiche Spektren, welche für Echelle-Systeme oft problematisch sind, können besser verarbeitet werden. Dies ist vor allem bei der anspruchsvollen Analyse von Werkstoffen aller Art von großer Bedeutung. So werden ORCA-basierte Systeme häufig von Herstellern kerntechnischer Anlagen

eingesetzt, um das Material der Brennelementhüllen zu untersuchen. Hierbei geht es konkret darum, sub-ppm-Gehalte von Bor in einer Zirkoniummatrix zu analysieren. ORCA verbessert die Messgenauigkeit deutlich und reduziert teure Nacharbeiten. Zudem erfordert ORCA häufig weniger Integrationszeit pro Einzelmessung oder Probe – zum Beispiel können mit dem SPECTRO ARCOS Einzelmesszeiten von weniger als 10 Sekunden realisiert werden.

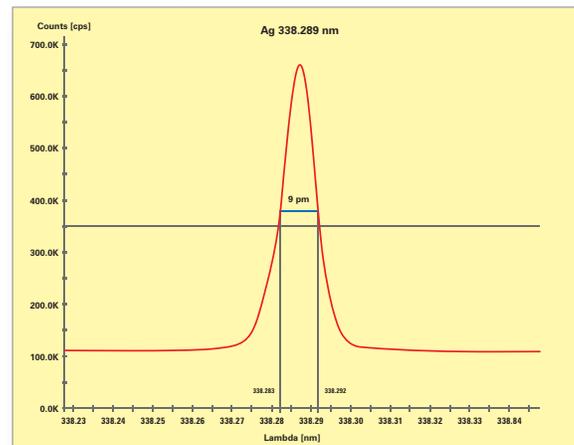
Keine Überlappung spektraler Ordnungen

Das Problem der spektralen Überlappung wird besonders signifikant, wenn das optische System nicht komplett zwischen verschiedenen spektralen Ordnungen trennt. Wie bereits erwähnt können diese Überlappungen bei einigen Echelle-basierten Systemen zu einer Verringerung der Richtigkeit führen – und zwar bei bestimmten Elementen, bei denen sich benachbarte Ordnungen überlagern. ORCA-basierte Systeme arbeiten dagegen

Hohe Auflösung bei
Cd 228 nm — 8 Pikometer



Hohe Auflösung bei
Ag 338 nm — 9 Pikometer



konstruktionsbedingt ausschließlich mit dem Licht aus der ersten Beugungsordnung. Daher existiert dieses Problem für Anwender von ORCA-Systemen nicht.

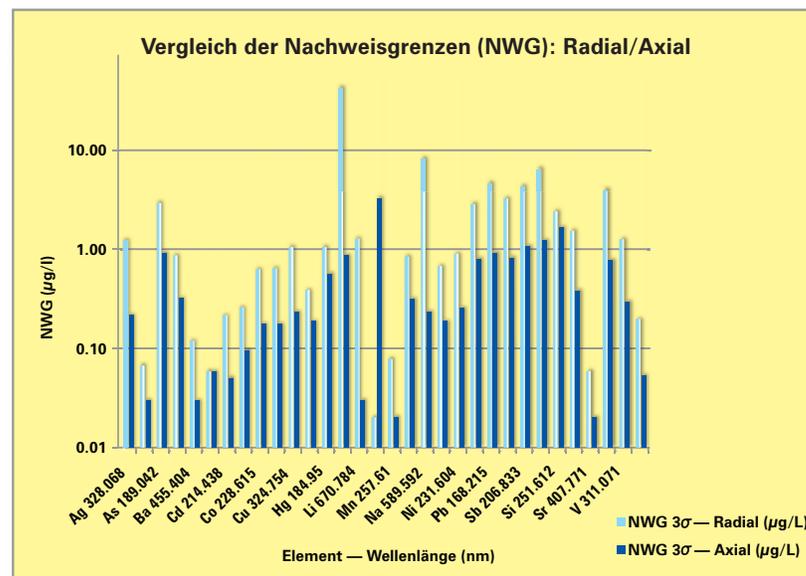
Konstante Wellenlängenauflösung

Ein ORCA-basiertes System vermeidet zudem viele optische Abberationen und die daraus resultierenden Auflösungsprobleme, wie sie bei der Echelle-Technologie auftreten können. Hier ist das „Sweet Spot“ Phänomen, bei dem sich die Auflösung außerhalb eines bestimmten Bereichs verringert, viel geringer ausgeprägt. Das System ist in der Lage, Licht aus dem gesamten Spektrum in idealer Weise auf die Detektoranordnung zu übertragen. ORCA bietet die „natürliche“ Darstellung des Emissionsspektrums ohne Wechsel der Beugungsordnung, der Empfindlichkeit oder der spektralen Auflösung.

Echelle-basierte Systeme erreichen ihre maximale Auflösung in einem Bereich

von 190 bis 240 nm. Zu höheren Wellenlängen nimmt die Auflösung entsprechend ab. Der untere spektrale Arbeitsbereich ist typischerweise auf >165 nm limitiert.

Dagegen weisen ARCOS-Spektrometer eine jeweils gleichmäßige Auflösung im Wellenlängenbereich von 130 bis 340 nm und 340 bis 770 nm auf – dies ermöglicht eine größere Abdeckung sowohl im hohen als auch im niedrigen Spektralbereich. Die exzellente Leistung bis hinab zu 130 nm (insbesondere zwischen 130 und 180 nm weist das System eine extrem hohe Transparenz auf) eröffnet vor allem die Möglichkeit, Elemente wie Aluminium bei 167 nm, Blei bei 168 nm, Phosphor bei 177 nm und Schwefel bei 180 nm empfindlich und präzise zu analysieren. Die optimierte ARCOS-Optik ermöglicht den Zugriff auf weitere Wellenlängen, zum Beispiel im Bereich der Halogene – Chlor bei 133/134 nm, Brom bei 154 nm und Jod bei 161 nm. Gerade im Umfeld von



Petrochemie, Pharmazie, Düngemitteln und der Herstellung von Spezialchemikalien ist dies für die Analyse von großer Bedeutung. Ein drittes optisches System erweitert die Abdeckung auf bis zu 770 nm, um auch Elemente wie Natrium bei 588/589 nm, Lithium bei 670 nm und Kalium bei 766 nm erfassen zu können. Das im ARCOS eingesetzte optische System nach dem ORCA-Prinzip bietet eine konstante und konsistente Auflösung von 8,5 pm im Bereich von 130 bis 340 nm und eine Auflösung von weniger als 16 pm im Bereich von 340 bis 770 nm.

Auf diese Weise ermöglicht es die effiziente Analyse von Elementen in linienreichen Matrices mit weniger Interferenzen. Es erfordert weniger kostspielige, zeitraubende Nachmessungen mittels Atomabsorptions- oder ICP-Massenspektrometrie. Ein Beispiel: Bei Proben mit höherem Aluminiumgehalt kann ein ORCA-basiertes System Blei im ppb-Bereich mit hoher Richtigkeit bestimmen. Selbst in einer Al-Matrix wird die Pb II Emissionslinie bei 168 nm nicht gestört.

Kompromisslose Leistung bei radialer Betrachtungsweise

ORCA-basierte Radialsysteme sind so konstruiert, dass sie Konzentrationen im Spurenbereich für eine große Anzahl von Elementen analysieren können – einschließlich einiger im unteren UV-Bereich, die bei Echelle-basierten Radialmodellen nur schwer oder gar nicht analysiert werden können. Die hohe Messempfindlichkeit und die niedrigen Nachweisgrenzen versetzen ORCA-Systeme in

die Lage, Spurenelemente bei radialer Betrachtungsweise zu „sehen“, die andere Systeme nur mit einer Dual-View-Plasmabetrachtung realisieren könnten.

Insofern ist es kein Wunder, dass Besitzer von ORCA-basierten Radialsystemen diese meist als ausreichend leistungsfähig für die gesamte Bandbreite ihrer analytischen Anwendungen empfinden. Daher sehen sich diese Labormanager nicht gezwungen, zusätzliche Systeme mit axialer Betrachtungsweise oder sogar Dual-View-Systeme anzuschaffen und vermeiden so deren geringere Stabilität und Matrix-Kompatibilität, sowie deren komplexere Technologie, die zusätzliche Wartung, Reinigung und Kosten nach sich zieht.

Weitere Aspekte

ORCA-basierte Systeme sind hermetisch geschlossen und mit Argon gefüllt, welches durch ein Filtersystem zirkuliert. Dadurch lassen sich die Umgebungsbedingungen vollständig kontrollieren. Probleme mit atmosphärischen Druckänderungen, welche die Messstabilität bei offenen, konstant gespülten Echelle-Systemen negativ beeinflussen, werden somit eliminiert. Im SPECTRO ARCOS kommt zudem eine aktive thermische Stabilisierung zum Einsatz, welche die Optik auf einer konstanten Temperatur von +15°C hält. So bleibt der Brechungsindex der Optikatmosphäre stabil und das Risiko einer Wellenlängendrift gering. Diese hohe spektrale Stabilität trägt signifikant zur Richtigkeit der Ergebnisse bei.

Schlussfolgerung

Die meisten Hersteller von ICP-OES-Spektrometern setzen weiterhin Echelle-basierte Optiktechnologien ein. ORCA-basierte Optiksyste me bieten jedoch in vielen Anwendungsgebieten klare Vorteile. Daher ist es wichtig, das Anforderungsprofil und die analytischen Aufgabenstellungen genau zu kennen, um so das geeignetste Analysesystem auswählen zu können.



KONTAKT AUFNEHMEN



ANGEBOT ANFORDERN



DEMO ANFORDERN



RESSOURCEN

www.spectro.com

AMETEK®
MATERIALS ANALYSIS DIVISION

GERMANY

SPECTRO Analytical Instruments GmbH
Boschstrasse 10
D-47533 Kleve
Tel: +49.2821.892.2102
Fax: +49.2821.892.2202
spectro.sales@ametek.com

U.S.A.

SPECTRO Analytical Instruments Inc.
91 McKee Drive
Mahwah, NJ 07430
Tel: +1.800.548.5809
+1.201.642.3000
Fax: +1.201.642.3091
spectro-usa.sales@ametek.com

CHINA

AMETEK Commercial
Enterprise (Shanghai) CO., LTD.
Part A1, A4 2nd Floor Building No.1,
No.526 Fute 3rd Road East, Pilot Free Trade Zone
200131 Shanghai
Tel.: +86.400.100.3885, +86.400.189.7733
Fax: +86.21.586.609.69
spectro-china.sales@ametek.com

Niederlassungen: ► **FRANKREICH:** Tel +33.1.3068.8970, Fax +33.1.3068.8999, spectro-france.sales@ametek.com, ► **GROSSBRITANNIEN** Tel +44.1162.462.950, Fax +44.1162.740.160, spectro-uk.sales@ametek.com, ► **INDIEN:** Tel +91.22.6196 8200, Fax +91.22.2836 3613, sales.spectroindia@ametek.com, ► **ITALIEN:** Tel +39.02.94693.1, Fax +39.02.94693.650, spectro-italy.sales@ametek.com, ► **JAPAN:** Tel +81.3.6809.2405, Fax +81.3.6809.2410, spectro-japan.info@ametek.co.jp, ► **SÜDAFRIKA:** Tel +27.11.979.4241, Fax +27.11.979.3564, spectro-za.sales@ametek.com

► **SPECTRO** ist weltweit in mehr als 50 Ländern aktiv. Ihren örtlichen Ansprechpartner finden Sie unter www.spectro.com/worldwide.

© 2017 AMETEK Inc., all rights reserved, subject to technical modifications • D-17, Rev. 0 • Photos: SPECTRO • Registered trademarks of SPECTRO Analytical Instruments GmbH •  **SPECTRO** : USA (3,645,267); EU (005673694); "SPECTRO": EU (009693763); SPECTRO ARCOS: USA (3,451,924); EU (005326566); Japan (5085474); China (5931712)