

EIN WHITEPAPER VON  
SPECTRO ANALYTICAL INSTRUMENTS

A vertical, close-up photograph of a large, faceted diamond. The diamond is highly reflective, showing numerous facets and a complex pattern of light and shadow. The background is dark, making the diamond stand out prominently.

# Edelsteine und Perlen: Herkunftsbestimmung und Überprüfung auf Echtheit mittels RFA

---

## Einführung

Seit Jahrtausenden stellen Perlen, Smaragde, Rubine und Saphire, aber auch andere Edel-, Schmuck und Mineralsteine wie Alexandrite, Aquamarin, etc. aufgrund ihrer Seltenheit, Endlichkeit und Schönheit einen beträchtlichen Wert dar. Heutzutage werden sie vor allem in der Schmuckindustrie, der Wissenschaft und Gemmologie benötigt.

Es ist inzwischen technisch möglich, Edelsteine auch künstlich herzustellen. Diese künstlichen Edelsteine sind in der Regel allerdings signifikant weniger wert als die natürlichen Edelsteine, unterscheiden sich aber kaum in Farbe und Form. Des Weiteren sind natürliche Edelsteine und Perlen je nach Herkunft unterschiedlich wertvoll aufgrund von Farbe, Farbverhalten bei Lichteinfall und Vorkommen.

## METHODIK

Wie ist also eine derartige Unterscheidung von Edelsteinen, ob synthetisch oder echt bzw. ob Salz- oder Süßwasserperle möglich? Eine Elementanalyse mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (ED-RFA) gibt Rückschlüsse auf die elementare Zusammensetzung der Edelsteine und Perlen und ist zudem noch zerstörungsfrei. Die Probe wird also nicht beschädigt und kann außerdem ohne Probenvorbereitung direkt analysiert werden.

Die Analyse kann mit dem verschiedenen Spektrometern, wie dem SPECTROCUBE, SPECTRO MIDEX oder SPECTROSCOUT durchgeführt werden, beim Letzteren auch vor Ort, beispielsweise auf Schmuckmessen. Als vorteilhaft für die Analyse der reinen unverarbeiteten Steine und Perlen haben sich Geräte bewährt, in denen die zu untersuchenden Proben direkt aufgelegt und von unten analysiert werden können.

Zur Analyse von Schmuck und somit komplexen Geometrien ist die Analyse von oben wie beim SPECTRO MIDEX vorteilhafter. Dieses Gerät mit integriertem Videosystem unterstützt die Positionierung und Dokumentation des jeweiligen Messpunktes und kann ebenfalls auch das Edelmetall schnell und präzise analysieren.



Abbildung 1: Das SPECTRO MIDEX bietet ein integriertes Videosystem



So kann zwischen künstlichen und natürlichen Edelsteinen unterschieden werden. Abbildung 2 zeigt ein Vergleichsspektrum eines künstlichen und natürlichen Saphirs.

Künstliche Edelsteine lassen sich etwa an Hand der farbgebenden Elemente von natürlichen Edelsteinen unterscheiden. Im obigen Spektrum ist die blaue Farbe des synthetischen Saphirs durch Hinzufügen von Kobaltoxid erzeugt worden. Im natürlichen Edelstein hingegen ist kein Kobaltoxid vorhanden, die Farbe wird durch Eisenoxid erzeugt.

Abbildung 3 zeigt ein Vergleichsspektrum eines natürlichen und eines synthetischen Rubins. Es sind Spuren an zusätzlichen Elementen wie Gallium und Bismut im natürlichen Edelstein detektierbar, welche nicht im synthetischen Edelstein vorhanden sind. Dieser ist spektral reiner, enthält also kaum zusätzliche Spurenelemente.

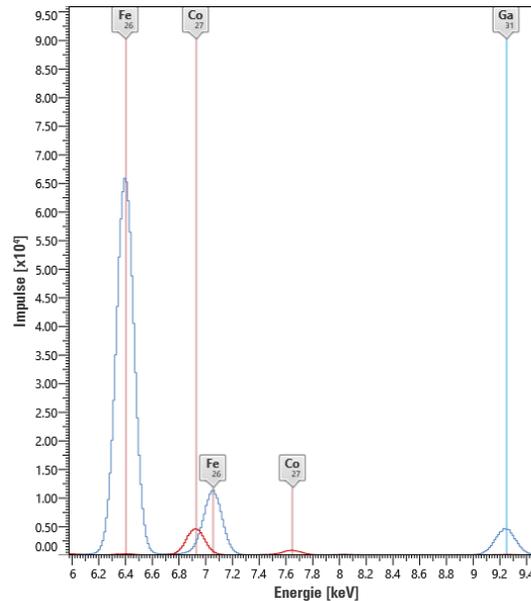


Abbildung 2: Vergleichsspektrum eines synthetischen (rotes Spektrum) und eines natürlichen Saphirs (blaues Spektrum)

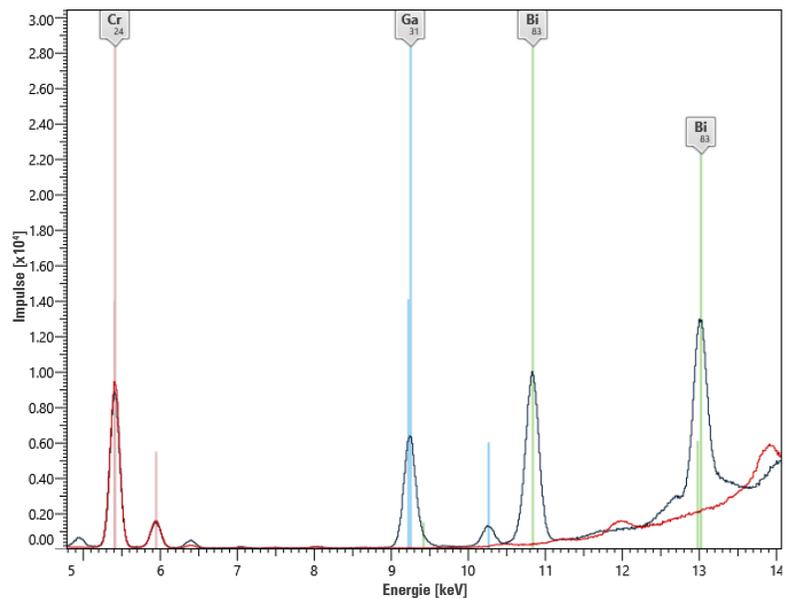


Abbildung 3: Vergleichsspektrum eines synthetischen (rotes Spektrum) und eines natürlichen Rubins (schwarzes Spektrum)

Auch ist eine Unterscheidung an Hand von Hauptkomponenten möglich, ob es sich also beispielsweise bei einem Rubin oder Saphir wirklich um einen Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) handelt, oder ob es nur eingefärbtes Glas ( $\text{SiO}_2$ ) ist. Das Spektrum in Abbildung 4 zeigt die Korunde Rubin und Saphir, sowie einen Smaragd mit deutlichen unterschiedlichen Signalen der Hauptkomponenten Al und Si.

Die Gehalte der detektierbaren Elemente reichen von etwa 10 ppm bis in den Prozentbereich. Grundsätzlich lassen sich alle Elemente von Na-U detektieren, typischerweise kommen allerdings die in Tabelle 1 aufgeführten Elemente in Edelsteinen vor.

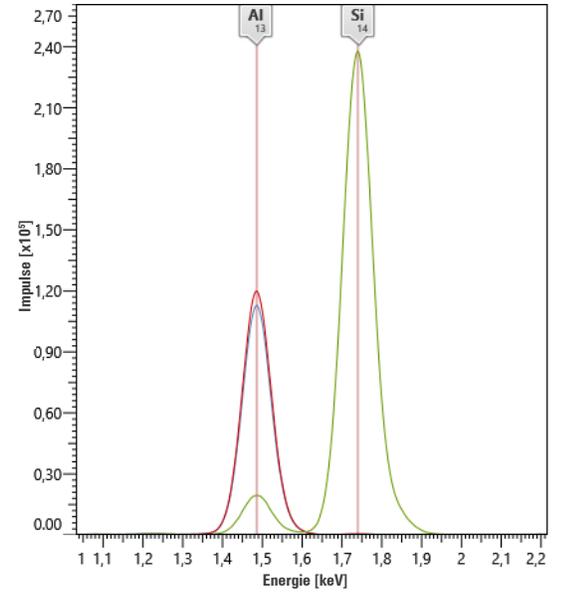


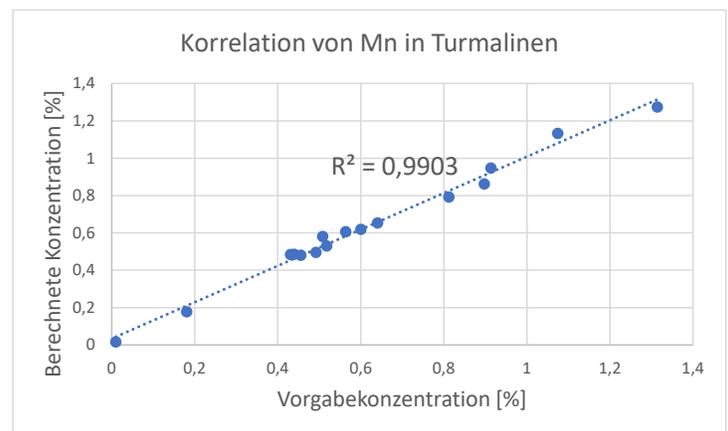
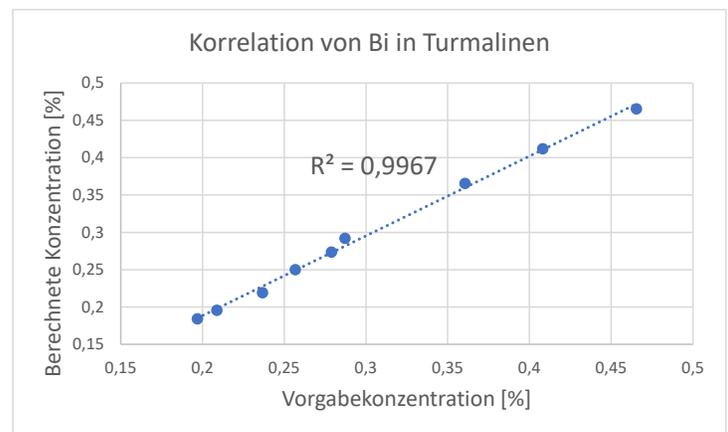
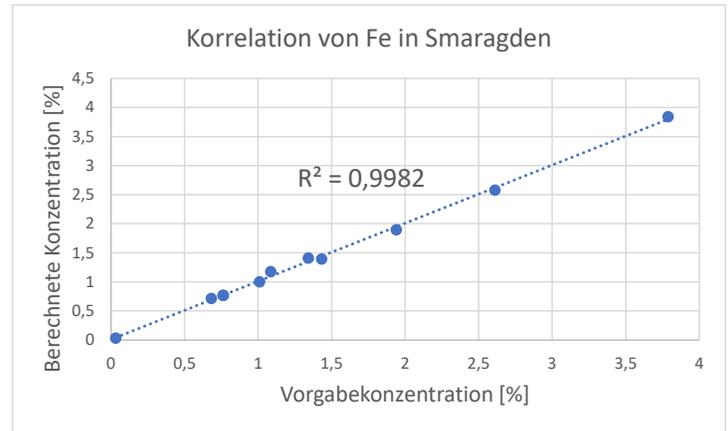
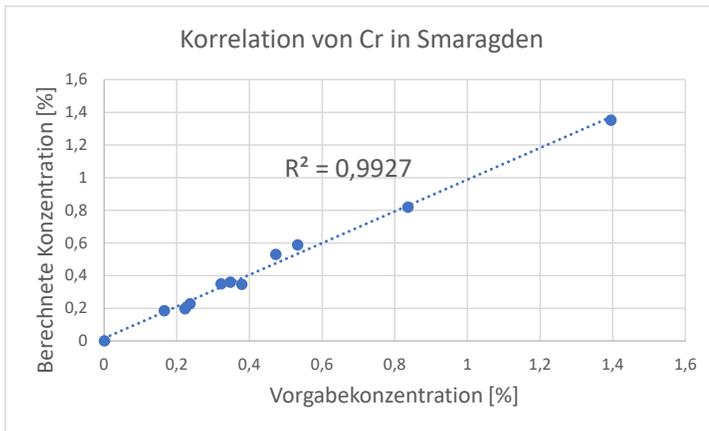
Abbildung 4: Spektren von Rubin, Saphir und Smaragd

Elemente	Konzentrationsbereich	Elemente	Konzentrationsbereich
Mg	Matrix [%]	Zn	10-3000 ppm
Al	Matrix [%]	Ga	10-600 ppm
Si	Matrix [%]	Rb	10-300 ppm
K	10-3000 ppm	Sr	10-500 ppm
Ca	10-35000 ppm	Zr	10-600 ppm
Sc	10-100 ppm	Nb	10-20 ppm
Ti	10-500 ppm	Mo	10-100ppm
V	100-2000 ppm	Sn	10-200 ppm
Cr	10-18000 ppm	Sb	10-100 ppm
Mn	50-13000 ppm	Cs	50-2000 ppm
Fe	10-100000 ppm	Ta	10-100 ppm
Co	10-100 ppm	W	10-50 ppm
Cu	10-15000 ppm	Pb	10-2000 ppm
Ni	10-500 ppm	Bi	10-10000 ppm

Tabelle 1: Typische Elemente in Edelsteinen und ihre Konzentrationsbereiche



Die folgenden vier Abbildungen zeigen Korrelationskurven einiger relevanter Elemente. Diese zeigen eine gute Übereinstimmung von Referenzkonzentration und Analysenergebnis.



Abbildungen 5-8: Korrelationen von Cr, Fe, Bi und Mn in Smaragden bzw. Turmalinen

Möchte man die Herkunft von Edelsteinen bestimmen, benötigt man entweder bereits Wissen über die für die Region typische elementare Zusammensetzung oder es bedarf dem Aufbau einer Datenbank.

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen das Verhältnis von Eisen zu Chrom in Smaragden und Rubinen in unterschiedlichen Regionen der Welt. So weist ein Smaragd aus Kolumbien verhältnismäßig geringen Eisengehalt im Vergleich zu Smaragden aus Sambia auf. Für Rubine sind die Länder Burma, Mozambique und Tansania als Cluster dargestellt.

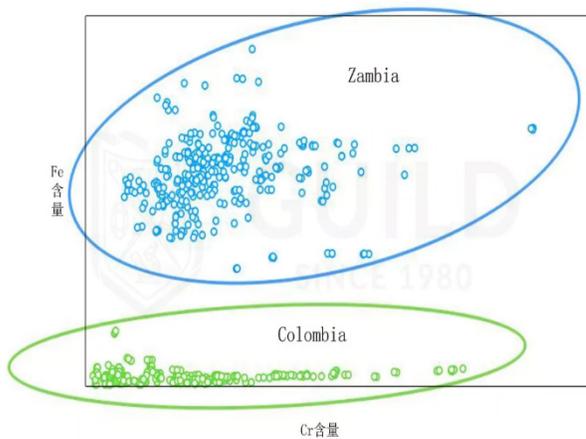


Abbildung 9: Elementverteilung von Chrom zu Eisen in Smaragden [Quelle: Guild]

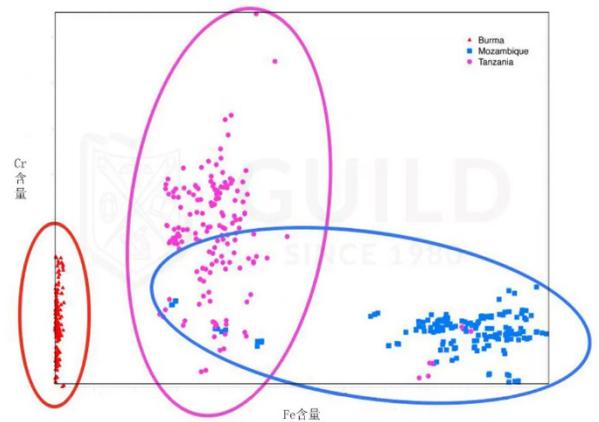


Abbildung 10: Elementverteilung von Eisen zu Chrom in Rubinen [Quelle: Guild]



## PERLEN

Was für Edelsteine gilt, ist in ähnlicher Weise auch für Perlen gültig. Inzwischen können Perlen gezüchtet werden, eine Salzwasserperle ist allerdings deutlich wertvoller aufgrund des Zuchtaufwands als eine Süßwasserperle, und das bei sehr ähnlichem Aussehen.

Ob es sich um Süß- oder Salzwasserperlen handelt, kann man mit einem RFA-Instrument nur anhand des Mangangehalts feststellen, denn die Matrix ist bei beiden Arten Kalziumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) und somit identisch. Wird eine Perle im Süßwasser gezüchtet lagert sich in ihr mehr Mangan an als in einer Salzwasserperle. Im Süßwasser befindet sich verhältnismäßig viel Mangan (5 ppb) im Vergleich zu Salzwasser der Ozeane (0,03 - 2 ppb). Diesen Unterschied kann man mit einer ED-RFA detektieren wie das Spektrum in Abbildung 11 zeigt, was einen Vergleich einer Analyse einer Süß- und einer Salzwasserperle zeigt.

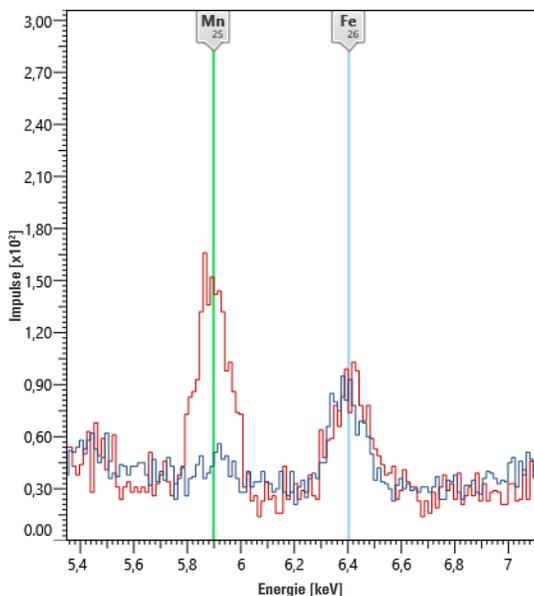


Abbildung 11: Vergleich einer Analyse einer Süß- und einer Salzwasserperle

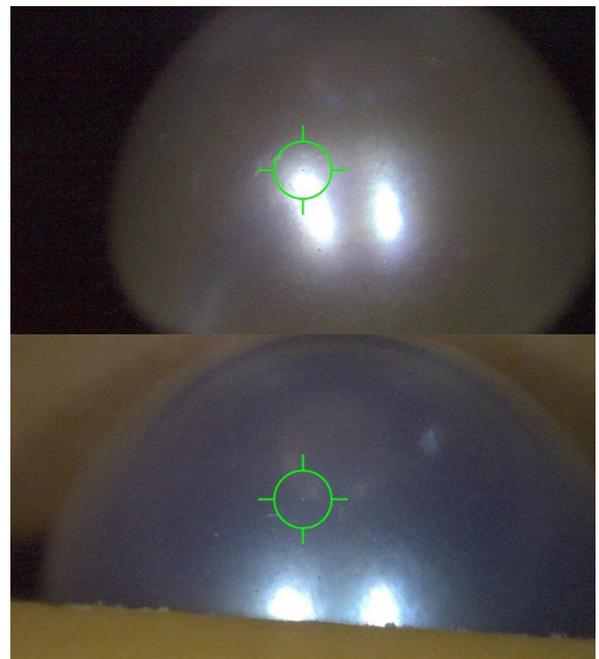


Abbildung 12: Oben Süßwasserperle, unten Salzwasserperle

### Zusammenfassung:

Durch die Reinheit und das Vorhandensein signifikanter Elemente kann auf die Echtheit und sogar Herkunft der Edelsteine geschlossen werden. Dies hilft zum Beispiel bei der Wertermittlung. Insbesondere zur Bestimmung der Herkunft bedarf es Hintergrundwissen zum Vorhandensein von für die jeweilige Region typischen Spurenelementen. Bei Perlen ist dieses Element im wesentlichen Mangan, was den Unterschied zwischen Salz- und Süßwasserperlen ausmacht. Für all diese Aufgaben kann eine energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalytik (ED-RFA) verwendet werden und somit einen großen Beitrag leisten, Gewissheit über Angaben zu Edelsteinen und Perlen zu erzielen und letztendlich natürlichen von synthetischen Edelsteinen zu unterscheiden.

[www.spectro.com](http://www.spectro.com)

#### DEUTSCHLAND

SPECTRO Analytical Instruments GmbH  
 Boschstrasse 10  
 D-47533 Kleve  
 Tel: +49.2821.892.0  
 Fax: +49.2821.892.2202  
[spectro.sales@ametek.com](mailto: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](mailto: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](mailto:spectro-china.sales@ametek.com)

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

► SPECTRO ist in mehr als 50 Ländern aktiv. Für Ihren lokalen SPECTRO Ansprechpartner besuchen Sie bitte [www.spectro.de/weltweit](http://www.spectro.de/weltweit)

© 2020 AMETEK Inc., Technische Änderungen vorbehalten • I-20, Rev. 0 • Photos: SPECTRO, Adobe Stock, Getty Images, iStockphoto •

Registered trademarks of SPECTRO Analytical Instruments GmbH •  SPECTRO : USA (3,645,267); EU (005673694); "SPECTRO": EU (009693763); "SPECTROSCOUT": EU (10705424); USA (4,394,468); Japan (1141441); South Korea (1141441); China (1141441); "MIDEX": USA (2,864,548), EU (003131984), Germany (30315393); "SPECTROCUBE": USA (6,082,269), EU (017937930)