



Application Note AN-EC-033

Verwendung einer EC-Raman-Kombination zur Untersuchung eines Modellsystems

Beispiel für die Reduktion von 4-Nitrothiophenol

ZUSAMMENFASSUNG

Die Kombination aus Raman-Spektroskopie und Elektrochemie (kurz EC-Raman-Kombination), ist ein leistungsfähiges Tool für Wissenschaftler. Aus dieser Kombination lassen sich mehr Informationen gewinnen, als mit jeder der beiden Techniken allein. 4-Nitrothiophenol (4-NTP) ist ein stark Raman-aktives Molekül, das auch elektrochemisch aktiv ist. Bei leicht kathodischen Potentialen wird 4-NTP durch eine Protonen-gekoppelte Sechs-Elektronen-Reduktion zu 4-Aminothiophenol (4-ATP) umgesetzt. Die Reduktion kann somit gut mithilfe herkömmlicher elektrochemischer Techniken (z. B. zyklische

Voltammetrie), aber auch durch die Veränderungen des Raman-Spektrums, überwacht werden. 4-NTP diente in der Vergangenheit als Modellsystem zur Untersuchung des SERS-Effekts (surface-enhanced Raman spectroscopy, oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie) und ist bspw. für Anwendungen im Bereich der Korrosion [1] und der Elektrokatalyse [2] von Bedeutung.

In dieser Application Note wird die Durchführung eines kombinierten EC-Raman-Experiments mit 4-NTP beschrieben.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Es wurde eine EC-Raman-Kombination von Metrohm verwendet, bestehend aus einem VIONIC-Potentiostaten und einem i-Raman Plus 532H-System (B&W TEK). Zudem wurde eine spezielle Zelle für den EC-Raman-Versuch eingesetzt (RAMAN ECFC, RedoxMe). Die Zelle enthält drei Elektroden: eine Ag/AgCl-Referenzelektrode, eine Pt-Draht-Gegenelektrode und eine Au-Scheiben-Arbeitselektrode.

Ein SERS-Substrat wurde in-situ durch elektrochemisches Aufrauen der Oberfläche der Au-Scheibenelektrode hergestellt. Das 4-NTP wurde in einer Oberflächenmonoschicht immobilisiert, das durch Drop-Casting auf dieses elektrochemisch

aufgerauta Au-SERS-Substrat hergestellt wurde. Die Oberfläche wurde vor der Verwendung gründlich mit Ethanol gespült. Die Zelle wurde mit 0,05 mol/L H₂SO₄ gefüllt.

Mit dem Vionic-Messsystem wurde ein Potentialstufenexperiment durchgeführt, bei dem das Potential alle 40 Sekunden in 0,05-V-Schritten von 0,2 V auf -0,55 V verändert wurde. Bei jedem Potentialschritt wurden Raman-Spektren mit einem i-Raman Plus 532H aufgenommen, das von der BWSpec-Software gesteuert wurde. Die Raman-Spektren wurden bei 100 % Laserleistung mit einer Integrationszeit von 10 s aufgenommen und mit dem BWSpec Timeline-Plugin dreimal gemittelt.

ERGEBNISSE

Das zyklische Voltammogramm (CV) der 4-NTP-Monoschicht ist in **Abbildung 1** dargestellt. Dieses gibt Aufschluss darüber, welche Potentiale später im Potentialstufen-Experiment benötigt werden.

Das CV zeigt außerdem einen einzelnen, irreversiblen kathodischen Peak bei ungefähr $-0,3$ V gegenüber Ag/AgCl. Dieser Peak entspricht der vollständigen Reduktion von 4-NTP zu 4-ATP (**Abbildung 1**, mit eingefügtem Bild des Reaktionsmechanismus).

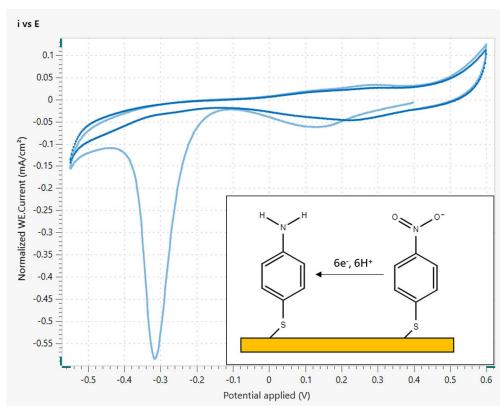


Abbildung 1. Zyklisches Voltammogramm von 4-NTP, adsorbiert auf einer aufgerauten Au-Oberfläche in 0,05 mol/L Schwefelsäure.

Die während des Potentialschritt-Experiments aufgezeichnete elektrochemische Reaktion ist in **Abbildung 2** dargestellt. VIONIC sendet TTL-Impulse an das i-Raman-plus-System, das zu Beginn jedes Spannungsschritts die Messung eines neuen Spektrums auslöst.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in **Abbildung 3** nur das erste und das letzte aufgezeichnete Raman-Spektrum (entspricht 0,2 V bzw. $-0,55$ V) dargestellt.

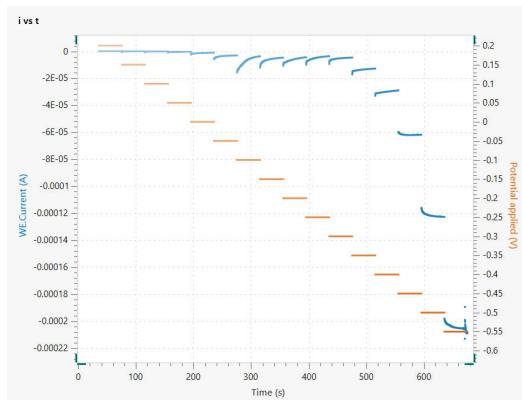


Abbildung 2. Die elektrochemische Reaktion der 4-NTP-Monoschicht, aufgezeichnet während des Potentialstufen-Experiments in 0,05 mol/L Schwefelsäure.

Die Umwandlung von 4-NTP in 4-ATP ist am einfachsten am Verlust des NO₂-Streckmodus bei 1337 cm⁻¹ zu erkennen. Der C-C-Streckmodus bei 1572 cm⁻¹ in 4-NTP verschiebt sich zudem zu höheren Wellenzahlen in 4-ATP (1578 cm⁻¹). Eine vollständige Zuordnung der beobachteten Banden finden Sie in **Tabelle 1**.

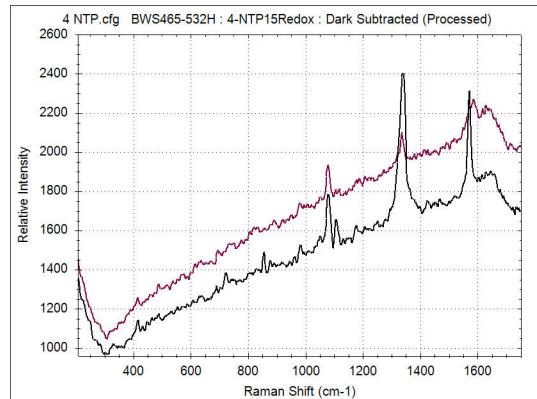


Abbildung 3. Raman-Spektren, die beim ersten und letzten Spannungsschritt während des Potentialstufen-Experiments aufgenommen wurden (Abbildung 2).

Tabelle 1. Raman-Verschiebungen und zugehörige Schwingungsmodi [3,4] von 4-NTP und 4-ATP, gemessen während dieses Experiments.

Verbindung	Raman-Verschiebung (cm ⁻¹)	Schwingungsmodus
4-NTP	1078	C-H-Deformation
	1105	C-H-Deformation
	1337	NO ₂ Streckung
	1572	C-C-Streckung
4-ATP	1078	C-H-Deformation
	1578	C-C-Streckung

FAZIT

Es wurde ein Modellexperiment für eine EC-Raman-Kombination am Beispiel von 4-Nitrothiophenol gezeigt. Während das Molekül selbst dazu verwendet werden kann, um neue Materialien auf den SERS-Effekt zu testen, bietet die Kopplung von EC-Raman den Forschern eine bequeme Möglichkeit, die

Reduktion des Moleküls zu verfolgen. Im Allgemeinen bietet die EC-Raman-Kombination ausgezeichnete molekulare Einblicke in Elektronentransferreaktionen in organischen Molekülen.

REFERENZEN

1. Morávková, Z.; Dmitrieva, E. Structural Changes in Polyaniline near the Middle Oxidation Peak Studied by in Situ Raman Spectroelectrochemistry. *Journal of Raman Spectroscopy* **2017**, *48* (9), 1229–1234.
<https://doi.org/10.1002/jrs.5197>.
2. Dong, J.-C.; Zhang, X.-G.; Briega-Martos, V.; et al. In Situ Raman Spectroscopic Evidence for Oxygen Reduction Reaction Intermediates at Platinum Single-Crystal Surfaces. *Nat Energy* **2019**, *4* (1), 60–67.
<https://doi.org/10.1038/s41560-018-0292-z>.
3. Lopez-Ramirez, M. R.; Aranda Ruiz, D.; Avila Ferrer, F. J.; et al. Analysis of the Potential Dependent Surface-Enhanced Raman Scattering of p-Aminothiophenol on the Basis of MS-CASPT2 Calculations. *J. Phys. Chem. C* **2016**, *120* (34), 19322–19328.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b05891>.
4. Tabatabaei, M.; Sangar, A.; Kazemi-Zanjani, N.; et al. Optical Properties of Silver and Gold Tetrahedral Nanopyramid Arrays Prepared by Nanosphere Lithography. *J. Phys. Chem. C* **2013**, *117* (28), 14778–14786.
<https://doi.org/10.1021/jp405125c>.

CONTACT

Metrohm Deutschland
In den Birken 3
70794 Filderstadt

info@metrohm.de

KONFIGURATION



VIONIC

VIONIC ist unser Potentiostat/Galvanostat der neuesten Generation, der mit der neuen Software **INTELLO** von Autolab ausgestattet ist.

VIONIC bietet die **am vielseitigsten kombinierten Spezifikationen aller Einzelgeräte**, die derzeit auf dem Markt sind.

- Ausgangsspannung: ± 50 V
- Standardstrom: ± 6 A
- EIS-Frequenz: bis zu 10 MHz
- Probennahmeintervall: bis zu 1 μ s

Im Preis für den **VIONIC** sind auch Funktionen enthalten, die bei den meisten anderen Geräten normalerweise mit zusätzlichen Kosten verbunden sind:

- Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS)
- 4 Floating Modi (bei geerdeten Proben oder Messzellen)
- Zweite Messelektrode (S2)
- Analoger Scan



i-Raman Plus 532H Tragbares Raman-Spektrometer

Das i-Raman® Plus 532H ist Bestandteil unserer preisgekrönten Serie der i-Raman tragbaren Raman-Spektrometer mit unserer innovativen intelligenten Spektrometertechnologie. Dieses tragbare Raman-Spektrometer nutzt einen CCD-Array-Detektor mit hoher Quanteneffizienz, TE-Kühlung sowie hohem Dynamikbereich und liefert so eine hervorragende Leistung mit geringem Rauschen, selbst bei Integrationszeiten von bis zu 30 Minuten. Somit können auch schwache Raman-Signale gemessen werden.

Das i-Raman Plus 532H verfügt über die einzigartige Kombination aus einem breiten Spektralbereich und einer hohen Auflösung mit Konfigurationen, die Messungen von 65 cm^{-1} bis 3400 cm^{-1} ermöglichen. Die kleine Grundfläche des Systems, die leichte Bauweise und der geringe Energieverbrauch sorgen überall für die Möglichkeit, Raman-Analysen auf Forschungsniveau durchzuführen. Das i-Raman Plus ist mit einer faseroptischen Sonde zur leichten Probennahme ausgestattet und kann mit einem Küvettenhalter, einem Videomikroskop, einem XYZ-Verschiebetisch mit Sondenhalter sowie unserer unternehmenseigenen multivariaten Analysesoftware BWIQ® und der Identifikationssoftware BWID® verwendet werden. Mit dem i-Raman Plus haben Sie immer eine hochpräzise Raman-Lösung für qualitative und quantitative Analysen zur Hand.