

**BILDUNG, CHARAKTERISIERUNG UND AKTIVITÄT  
VON METALLABSCHIEDUNGEN AUF OXIDOBERFLÄCHEN**

**BERICHT ÜBER EINE ALEXANDER VON HUMBOLDT-INSTITUTSPARTNERSCHAFT (2012 – 2015)**

Das Projekt wurde 2011 von Prof. Dr. *Janos Laszlo Kiss* (Lehrstuhl für Physikalische Chemie, Universität Szeged in Ungarn bzw. Forschungsgruppe für Reaktionskinetik und Oberflächenchemie, Ungarischen Akademie der Wissenschaften) und Prof. Dr. *Hans-Peter Steinrück* (Lehrstuhl für Physikalische Chemie II, Universität Erlangen-Nürnberg in Deutschland) gemeinsam beantragt. Es wurde in der beantragten Form bewilligt und hatte eine Laufzeit von 2012-2015. Im Laufe des Projektes entwickelte sich eine außerordentlich enge Kooperation zwischen den beiden Einrichtungen, die auch eine Reihe anderer Wissenschaftler an beiden Standorten beinhaltete. Auf der ungarischen Seite waren dies Prof. Dr. *András Erdőhelyi*, Prof. Dr. *András Berkó* (die beiden waren auch ehemalige Humboldt-Stipendiaten) und der Institutsleiter Prof. Dr. *Zoltán Kónya*. Auf der deutschen Seite nahmen an dem Projekt PD Dr. *Christian Papp*, PD Dr. *Hubertus Marbach* und Prof. Dr. *Jörg Libuda* teil.

Im Verlauf des Projektes gab es sechs längere (1-3 monatige) Aufenthalte von ungarischen Gastwissenschaftlern, Postdocs und Doktoranden in Erlangen (*László Óvári*, *Balázs László*, *Imre Szenti*, *Erika Varga*, *Andras Sapi*). Dazu kamen sechs Kurzaufenthalte (Prof. Dr. *András Erdőhelyi*, Prof. Dr. *János László Kiss*, Prof. Dr. *Zoltán Kónya*, *Imre Szenti*, *László Óvári*). Von deutscher Seite gab es insgesamt fünf Besuche in Szeged (PD Dr. *Hubertus Marbach*, PD Dr. *Christian Papp*, Prof. Dr. *Jörg Libuda*, Dr. *Florian Maier*, Prof. Dr. *Hans-Peter Steinrück*). Insgesamt wurden 13 wissenschaftliche Vorträge in Rahmen dieser Besuche in Szeged oder Erlangen gehalten. Das gesamte Projekt erwies sich als äußerst produktiv. So entstanden in der Projektlaufzeit insgesamt 9 Publikationen zum Antragsthema, 7 dieser Publikationen mit gemeinsamen Autoren aus Szeged und Erlangen. Zusätzlich wurden die Ergebnisse in insgesamt 10 Beiträgen (Poster oder Vortrag) auf internationalen Tagungen vorgestellt.

Im Laufe des Projektes wurden einer Vielzahl neuer, interessanter Ergebnisse in Bezug auf das Verständnis von Modellkatalysatoren mit Metallen auf oxidischen Trägern erhalten, insbesondere durch die gelungene Kombination unterschiedlicher experimenteller Ansätze an den beiden Standorten Szeged in Ungarn und Erlangen in Deutschland. Geträgerte Metallcluster spielen eine große Rolle im Bereich der Nanotechnologie, mit der Katalyse als unmittelbarer technischer Anwendung. Mit der Durchführung des Projektes gelang es vier unterschiedliche Arbeitsgebiete zu kombinieren, nämlich den katalytischen Ansatz und die Ultrahochvakuumuntersuchungen in Szeged mit der kontrollierten Herstellung und Analyse von Nanostrukturen und mit sogenannten Hochdruck XPS-Untersuchungen nahe an Reaktionsbedingungen in Erlangen. Im Rahmen dieses kombinierten Ansatzes wurden einerseits konventionelle Methoden zur Herstellung von Metallclustern auf Oxidoberflächen eingesetzt und andererseits wurde das Erlanger Knowhow im Bereich der Elektronenstahl-induzierten Abscheidung von Nanostrukturen auf Oberflächen ausgenutzt, um kontrolliert reine Metall- oder Oxidnanostrukturen auf unterschiedlichen Oberflächen herzustellen. Die Untersuchungen umfassten insbesondere die folgenden Themen:

- Das kontrollierte Wachstum von Cer und Ceroxid auf einer Cu(111)-Oberfläche.
- Die Wechselwirkung von Kobalt mit ultradünnen CeO<sub>2</sub>(111)-Filmen auf Cu(111).
- Die Wechselwirkung von Kobaltpartikeln auf einem Ceroxid-Support.
- Das Potenzial neuer Prekursoren für Abscheidung von Kobaltnanostrukturen auf Oxidoberflächen.
- Die Wechselwirkung von Ethanol mit gut geordneten CeO<sub>2</sub>(111)-Filmen auf Cu(111) und mit Kobaltnanoteilchen auf diesen Schichten.

- Die katalytische Aktivität von Ceroxid-geträgerten Kobaltkatalysatoren in der Dampfreformierung von Ethanol.
- Die vergleichende Untersuchung der Rolle des Supports und von Rhodium-Additiven auf die Ethanoldampfreformierung für Kobalt-basierte Katalysatoren.
- Die Herstellung und Charakterisierung von Kobaltnanoteilchen auf Titanatnanodrähten
- Die Oxidation von CO auf Pt(111) bei Drucken bis zu 1mbar.
- Infrarot-Studien zur CO Adsorption und Koadsorption auf Kobaltoxidkatalysatoren.

Die Untersuchungen wurden in Szeged und Erlangen mit einer großen Breite experimenteller Methoden durchgeführt. Diese umfassten Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), Elektronenbeugung (LEED), temperaturprogrammierte Desorption (TPD), Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS), Streuung mit niederenergetischen Ionen (LEIS), Rasterelektronenmikroskopie (REM), Infrarotabsorptionsspektroskopie in Reflexion (IRAS) und einige weitere. Erst durch die Kombination der unterschiedlichen experimentellen Methoden und des unterschiedlichen Knowhows an den beiden Standorten Szeged in Ungarn und Erlangen in Deutschland war es möglich, die gewonnenen Einsichten auf höchstem internationalem Niveau zu erhalten. Der Erfolg der sehr fruchtbaren Zusammenarbeit dokumentiert sich unter anderem auch in der Anerkennung der Zusammenarbeit von ungarischer Seite durch die Verleihung des Ehrendoktors an Prof. Dr. *Hans-Peter Steinrück* durch die Universität Szeged im Jahre 2015.

Insgesamt kann dieses Projekt als äußerst fruchtbar für die länderübergreifende Kooperation im Rahmen der Wissenschaft angesehen werden und der erreichte Output von insgesamt neun wissenschaftlichen Publikationen und mehr als fünfzehn gegenseitigen Gastaufenthalten und kürzeren Besuchen dokumentiert die gute Zusammenarbeit und bestätigt das erfolgreiche Konzept der Förderung durch die Alexander von Humboldt-Stiftung.

Die wichtigsten Publikationen der Zusammenarbeit sind die folgenden:

1. L. Óvári, S. Krick Calderon, Y. Lykhach, J. Libuda, A. Erdőhelyi, C. Papp, J. Kiss, H.-P. Steinrück: *Near ambient pressure XPS investigation of the interaction of ethanol with Co/CeO<sub>2</sub>(111)*. Journal of Catalysis 307 (2013) 132-139.
2. Zs. Ferencz, A. Erdőhelyi, K. Baán, A. Oszkó, L. Óvári, Z. Kónya, C. Papp, H.-P. Steinrück, J. Kiss: *Effects of Support and Rh Additive on Co-Based Catalysts in the Ethanol Steam Reforming Reaction*. ACS Catalysis 4 (2014) 1205-1218.
3. E. Varga, P. Pusztai, L. Óvári, A. Erdőhelyi, C. Papp, H.-P. Steinrück, Z. Kónya, J. Kiss: *Probing the interaction of Rh, Co and bimetallic Rh-Co nanoparticles with CeO<sub>2</sub> support: catalytic materials for alternative energy generation*. Physical Chemistry Chemical Physics 17 (2015) 27154-27166.



**Prof. Dr. Hans-Peter STEINRÜCK** Stanford University/USA habilitierte 1992 an der TU München. Im Anschluss an ein Sabbatical an der Rutgers University/USA folgte er 1994 einem Ruf auf eine Professur für Experimentelle Physik an die Universität Würzburg. Seit 1998 hat er einen Lehrstuhl für Physikalische Chemie an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg inne. Von 2009 bis 2015 war er Gastprofessor an der University of Science and Technology of China in Hefei. *Hans-Peter Steinrück* ist Mitglied der Deutschen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Academia Europaea, korrespondierendes auswärtiges Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, sowie APS- und AAAS-Fellow. 2015 erhielt er den Ehrendoktor der Universität Szeged/Ungarn, 2016 einen ERC Advanced Grant, und 2017 in USA den AVS Medard W. Welch Award. An seiner Universität war er Dekan und Vizepräsident, für die Wissenschaftsgemeinschaft war und ist er in einer Vielzahl wissenschaftlicher Beiräte und Beratungsgremien in Deutschland, Europa, Japan und China. Die wissenschaftlichen Aktivitäten liegen im Bereich der Oberflächen- und Grenzflächenforschung. Schwerpunkte sind *in situ* Untersuchungen chemischer Reaktionen, Ionische Flüssigkeiten, Porphyrine, chemische Wasserstoffspeicherung und chemisch modifiziertes Graphen. Die Arbeiten sind in mehr als 320 Beiträgen in referierten Zeitschriften dokumentiert.



**Prof. Dr. János László KISS** ist 1947 in Izsák (Ungarn) geboren. Er absolvierte Abitur in dem Piaristengymnasium Kecskemét. Er studierte Chemie an der Universität Szeged. Er promovierte 1972 in Szeged. Er setzte seine wissenschaftlichen Tätigkeiten in der Forschungsgruppe der Ungarischen Akademie der Wissenschaften an der Universität Szeged fort. Als Humboldt-Stipendiat arbeitete er in dem Institut für Physikalische Chemie der Universität Hamburg 1982-83. Er war wissenschaftlicher Berater an der Texas Universität in Austin von 1990 bis 1993. 1993 erhielt er den DSc-Grad der Ungarischen Akademie der Wissenschaften. 1997 habilitierte an der Universität Szeged und gewann den Professortitel. *János László Kiss* war Leiter der Forschungsgruppe für Reaktionskinetik und Oberflächenchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften zwischen 2001 und 2009. Er war Gastprofessor an der Texas Universität (2001) und an der Erlangen-Nürnberg Universität (2011). Seine wissenschaftlichen Aktivitäten liegen im Bereich der Katalyse, Oberflächenchemie und Nanowissenschaft. Seine Arbeiten sind in etwa 150 Beiträgen in referierten Zeitschriften dokumentiert. Seit 2017 ist er Professor Emeritus an der Universität Szeged.