

**Wachstum und Struktur von dünnen  
Silber- und Goldfilmen auf einer  
Re(10-10)-Oberfläche**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
des Fachbereichs Biologie, Chemie, Pharmazie  
der Freien Universität Berlin

von  
Antje Vollmer  
aus München  
1999

1. Gutachter: Prof. Dr. K. Christmann
2. Gutachter: Prof. Dr. G. Ertl

Tag der mündlichen Prüfung: 17.06.1999

**42**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
<hr/>		
<b>2</b>	<b>DAS SYSTEM SILBER-RHENIUM</b>	<b>6</b>
<hr/>		
2.1	RHENIUM	6
2.2	SILBER	8
2.3	EIGENSCHAFTEN VON RE UND AG UND LEGIERUNGSBILDUNG	8
<b>3</b>	<b>DIE APPARATUR</b>	<b>10</b>
<hr/>		
3.1	DER UHV-REZIPIENT	10
3.2	DER PROBEHALTER	12
<b>4</b>	<b>GRUNDLAGEN ZUM WACHSTUM METALLISCHER FILME</b>	<b>14</b>
<hr/>		
4.1	ATOMARE PROZESSE AUF OBERFLÄCHEN	14
4.1.1	OBERFLÄCHENDIFFUSION	14
4.1.2	KEIMBILDUNG UND INSELWACHSTUM	17
4.1.3	INSELFORMEN	18
4.1.4	STUFENKANTEN UND FEHLSTELLEN	19
4.2	DREIDIMENSIONALES WACHSTUM	21
4.2.1	ABBAU VON GITTERSPANNUNG	22
<b>5</b>	<b>DIE MESSMETHODEN</b>	<b>24</b>
<hr/>		
5.1	BEUGUNG NIEDERENERGETISCHER ELEKTRONEN (LEED)	25
5.1.1	STRUKTURBESTIMMUNG MITTELS LEED	25
5.1.2	VIDEO LEED	27
5.2	AUGER-ELEKTRONENSPEKTROSKOPIE	28
5.3	THERMODESORPTIONSSPEKTROSKOPIE	30
5.3.1	THERMODESORPTIONSSPEKTROSKOPIE (TDS)	30
5.3.2	AUSWERTEVERFAHREN ZUR THERMODESORPTIONSSPEKTROSKOPIE	32
5.3.2.1	Desorptionsraten und Bedeckungsgrad	33
5.3.2.2	Desorptionsisothermen und -isosteren	36
5.3.3	APPARATIVES	40
5.4	RASTERTUNNELMIKROSKOPIE (STM)	41
5.4.1	GRUNDLAGEN DER METHODE	41
5.4.2	APPARATIVES	43
5.5	PHOTOELEKTRONENSPEKTROSKOPIE	45
5.5.1	WINKELAUFGELÖSTE ULTRAVIOLETT PHOTOELEKTRONEN SPEKTROSKOPIE (ARUPS)	46
5.5.2	RÖNTGEN-PHOTOELEKTRONENSPEKTROSKOPIE (XPS)	51
5.5.3	APPARATIVES	51

---

**6 ERGEBNISSE: SILBER AUF RHENIUM (10-10) 54**


---

<b>6.1</b>	<b>PRÄPARATIONEN</b>	<b>54</b>
6.1.1	PROBENPRÄPARATION	54
6.1.2	FILMPRÄPARATION	55
6.1.3	BEDECKUNGSGRAD-KALIBRIERUNG	55
<b>6.2</b>	<b>NIEDERENERGETISCHE ELEKTRONENBEUGUNG (LEED), PHASENBILDUNG</b>	<b>56</b>
6.2.1	DER SUBMONOLAGENBEREICH	56
6.2.1.1	Video-LEED	60
6.2.2	LEED-PHASENDIAGRAMM	65
6.2.3	KINEMATISCHE LEED-RECHNUNGEN	66
6.2.4	MULTILAGENBEREICH	67
<b>6.3</b>	<b>AUGER-ELEKTRONENSPEKTROSKOPIE (AES)</b>	<b>69</b>
<b>6.4</b>	<b>THERMODESORPTIONSSPEKTROSKOPIE (TDS)</b>	<b>74</b>
6.4.1	MESSUNG	74
6.4.2	DIE BEDECKUNGSGRAD-KALIBRIERUNG	78
6.4.3	BESTIMMUNG DER DESORPTIONSORDNUNG	80
6.4.4	ENERGETIK	83
6.4.4.1	das Verfahren nach Bauer	83
6.4.4.2	Auswertung nach Habenschaden und Küppers	86
<b>6.5</b>	<b>RASTERTUNNELMIKROSKOPIE (STM)</b>	<b>88</b>
6.5.1	DIE REINE Re(10-10)-OBERFLÄCHE	88
6.5.2	WACHSTUMSMODUS	89
6.5.3	DIE STRUKTUR DER Ag-INSELN IM SUBMONOLAGENBEREICH	95
<b>6.6</b>	<b>WINKELAUFGELÖSTE ULTRAVIOLETT-PHOTO-ELEKTRONENSPEKTROSKOPIE (ARUPS)</b>	<b>99</b>
6.6.1	BEDECKUNGSSERIEN	99
6.6.2	WINKELABHÄNGIGE MESSUNGEN UND BANDSTRUKTUREN	100
6.6.2.1	die reine Rheniumoberfläche	101
6.6.2.2	die (1x4)-Phase	102
6.6.2.3	die c(2x2)-Phase	103
6.6.2.4	die Multilage	103
<b>6.7</b>	<b>RÖNTGENPHOTOEMISSION</b>	<b>111</b>

---

**7 ERGEBNISSE: GOLD AUF Re(10-10) 114**


---

<b>7.1</b>	<b>AUGER-ELEKTRONENSPEKTROSKOPIE</b>	<b>115</b>
<b>7.2</b>	<b>LEED-UNTERSUCHUNGEN</b>	<b>118</b>

---

**8 DISKUSSION 126**


---

<b>8.1</b>	<b>DAS SILBER-Re(10-10)-SYSTEM</b>	<b>126</b>
8.1.1	GEOMETRISCHE STRUKTUR DER SILBERFILME UND ORDNUNGSPHASEN	126
8.1.2	ÜBERLEGUNGEN ZUM PHASENÜBERGANG	130
8.1.3	WACHSTUM DER SILBERFILME	133
8.1.4	DER EINFLUSS VON STUFEN	136
8.1.5	SILBERBINDUNGSZUSTÄNDE UND ENERGETIK	137
8.1.6	VERGLEICHE MIT ANDEREN SYSTEMEN	138
8.1.6.1	Vergleich mit Systemen der Art Metall/Re(10-10)	139
8.1.6.2	Vergleich mit Systemen der Art Ag/anisotrope Fläche	141
8.1.6.3	Vergleich mit Ag/Re(0001)	145
8.1.7	STRUKTURMODELLE VON SILBER AUF RHENIUM (10-10)	148
<b>8.2</b>	<b>DAS GOLD-Re(10-10)-SYSTEM</b>	<b>150</b>

8.2.1	GEOMETRISCHE STRUKTUR DER GOLDFILME UND ORDNUNGSPHASEN	150
8.2.2	PHASENUMWANDLUNGEN IM SUBMONOLAGENBEREICH	152
8.2.3	WACHSTUM DER GOLDFILME	153
8.2.4	LITERATURVERGLEICH MIT AU/RU(10-10) UND AU/W(211)	153
8.2.5	STRUKTURMODELL	155
<b>8.3</b>	<b>VERGLEICH ZWISCHEN AG/RE(10-10) UND AU/RE(10-10)</b>	<b>158</b>

---

## **9 ZUSAMMENFASSUNG**

---

160

---

## **10 SUMMARY**

---

162

---

## **11 ANHANG: AUFBAU EINER APPARATUR FÜR NEXAFS-MESSUNGEN AM SYNCHROTRON**

---

163

---

## **12 LITERATUR**

---

165

# **Danksagung**

- ☺ *meinem Lehrer Prof. Christmann für die gewährte Freiheit beim Experimentieren, das in mich gesetzte Vertrauen, die vielen Gespräche, für die Überlassung des Themas natürlich und dafür, daß er die Bezeichnung Doktorvater mit ihrem eigentlichen Sinn ausfüllt*
- ☺ *Dr. Sven Schröder, der immer ein offenes Ohr für die Probleme, aber auch für die Begeisterung beim Experimentieren hatte, immer diskussionsbereit war und sich sehr vor allem (aber nicht nur) für das Gold-Rhenium-System engagiert hat und der trotz aller Arbeit oft wußte, wann es Zeit für ein "BESSY-Bier" war; er hat durch Motivation, aber auch durch Humor sehr viel zu dieser Arbeit beigetragen*
- ☺ *meinen Eltern dafür, daß sie überzeugt waren, daß aus mir doch noch was wird, für die Unterstützung, das Vertrauen in meine Entscheidungen und dafür daß sie mir das Studium in jeder Hinsicht ermöglicht haben; dafür, daß sie mich immer tun ließen was ich wollte und mir nie Vorschriften gemacht haben in meiner Studienplanung und Ortswahl*
- ☺ *meinem Bruder Andreas-Michael ohne dessen kompetente Hilfe in allen nicht naturwissenschaftlichen Dingen meine Karriere schon frühzeitig an meiner Unfähigkeit Formulare auszufüllen gescheitert wäre und der "s'Kind" bei seinen Besuchen immer wieder aufgeheitert hat mit den Worten "Kind, des wird' scho' werd'n"*
- ☺ *meinem guten Freund Stefan Guffler, der sich bei vielen Bieren mein oft stundenlanges Lamento über die Welt im allgemeinen und den wissenschaftlichen Mikrokosmos im besonderen angehört hat und mich immer unterstützt hat, während des Studiums und auch hier in Berlin.*
- ☺ *meinem Kollegen Ronald Wagner, der seine Thermodesorptions-Auswerteverfahren der Gruppe zur Verfügung stellt und mich in langen Computer-Sessions mit den Geheimnissen der Thermodesorption etwas vertrauter gemacht hat*
- ☺ *meiner Kollegin Astrid Heiland für die gute Zusammenarbeit im Labor und die fachlichen und nicht fachlichen Gespräche, die über so manches Tief hinweg geholfen haben.*
- ☺ *meinem Kollegen Klaus Schmidt für die vielen Diskussionen "chemistry meets physics" und die stets gewährte Hilfe, insbesondere in Fragen der Elektronik*
- ☺ *Rudolf Cames für die stete und schnelle Hilfe, tatkräftiges Zupacken, die vielen Gespräche und die herzliche Aufnahme in die Gruppe*
- ☺ *Karin Schubert für die künstlerische Unterstützung und die vielen Zeichnungen, die diese Arbeit verschönern*
- ☺ *ich möchte auch all die anderen Kolleginnen und Kollegen nicht vergessen - Pia Schmidt, Michael Gottfried, Dr. Olaf Kurtz, Dr. Dirk Schlatterbeck, Dr. Uwe Muschiol, Astrid*

*Mohr, Dr. Manfred Parschau, Regine Küster, Dr. Claudia Luhmann, Dr. Felix Stolze, Norbert Weiher - sie und alle oben genannten haben sehr zum guten Arbeitsklima in der Gruppe beigetragen. Ich bedanke mich bei allen für die gute Atmosphäre, die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit*

- ☺ *des weiteren möchte ich mich bei der feinmechanischen Werkstatt, den Kollegen Herrn Gilardoni, Herrn Hesse, Herrn Binkowski und Herrn Dede bedanken, ohne deren kräftiges Zutun diese Arbeit so nicht entstanden wäre und deren Unterstützung und Ideen oft einen großen Schritt nach vorne gebracht haben*
- ☺ *Markus Oppel und Boris Proppe für die stets gewährte Hilfe in allen Computer-Fragen und die bewundernswerte Geduld, die sie dabei mit mir hatten*
- ☺ *Frau Polinske und allen Kolleginnen und Kollegen aus dem Praktikum, der Elektrikwerkstatt und dem Fotolabor*
- ☺ *ich möchte mich auch bei allen Studentinnen und Studenten bedanken, die durch ihre mehr und manchmal auch weniger motivierte die Mitarbeit im Praktikum dies oft zu einer Freude gemacht haben*
- ☺ *ein besonderer, herzlicher Dank gilt jedoch meinem Forschungspraktikanten Dschun Song, ohne dessen Zutun diese Arbeit so nicht dastehen würde, der durch sein Engagement und seine Mitarbeit an meiner Apparatur die Messung des Gold-Rhenium-Systems ermöglicht hat und weit über das übliche Maß in unserer Arbeitsgruppe tätig war; durch seine positive Art hat er nicht nur Ergebnisse, sondern auch Spaß und Freude in die Arbeit gebracht*
- ☺ *Herrn Prof. Neumann und den Kollegen Helmut Schürmann und Stefan Plogmann von der Universität Osnabrück für die schöne, fast einjährige Zusammenarbeit bei BESSY und den Mordsspaß bei den gemeinsamen Meßzeiten und Reparaturaktionen*
- ☺ *Herrn Dr. Braun für die gewährten Meßzeiten bei BESSY und die tatkräftige Unterstützung bei allen Problemen am TGM2*
- ☺ *den Kollegen Dr. Olaf Schwarzkopf, Dr. Christian Jung, Helmut Pfau und Matthias Mast und den vielen weiteren Kolleginnen und Kollegen von BESSY dafür, daß sie immer zur Stelle waren, wenn's Probleme gab und für die gute Atmosphäre während der zahlreichen Meßzeiten bei BESSY*
- ☺ *meinen Freundinnen und Freunden Gida Nothofer, Stefan Guffler, Rajeev Dadoo, Olaf Schwarzkopf, Adam Patchett und Stephen Hashmi für alles*

# Publikationsliste

A.S.K. Hashmi, A. Vollmer und G.Szeimies,  
*Nickel Catalyzed Cross Coupling Reactions of Bicyclo[1.1.0]butylmagnesium Bromide and Bicyclo[1.1.0]butyllithium Derivatives with Alkynyl Chlorides and Bromides*  
Liebigs Ann. Chem., **1995**, 471-475

U. Muschiol, P. Rech, A. Vollmer, F.Schneider und K.Christmann  
*Photoemissionsuntersuchungen am System Wasserstoff auf Re(10-10)*  
BESSY-Jahresbericht 1994, herausgegeben von der Berliner Elektronenspeicher-  
ringesellschaft m. b. H. (1995), p.302

P. Rech, A. Vollmer, K. Schmidt, U. Muschiol, E. Schwarz, F. Schneider und K. Christmann  
*Zur Wechselwirkung von Sauerstoff mit einer Rhodium(110)- und einer Ruthenium (10-10)-  
Oberfläche*  
BESSY-Jahresbericht 1995, p.342

K. Schmidt, A. Vollmer, P. Rech und K. Christmann  
*Über die Wechselwirkung von molekularem Sauerstoff mit einer Ruthenium (10-10)-  
Oberfläche*  
BESSY-Jahresbericht 1996, p.340

A. Heiland, A. Vollmer, S. Moldenhauer und K. Christmann  
*NEXAFS-Messungen zur Adsorption von 1,4-Dioxan auf einer Silber (110)-Oberfläche*  
BESSY-Jahresbericht 1996, p.373

K. Schmidt, A. Vollmer, S. L .M. Schröder und K. Christmann  
*Photoemission Studies with Xenon Adsorbed on a Ruthenium (10-10)-Surface*  
BESSY-Jahresbericht 1997, p.326

A.Heiland, A. Vollmer, K. Schmidt, S. L. M. Schröder und K. Christmann  
*A NEXAFS Study of the Adsorption of 1,4-Dioxane on Ag(110)*  
BESSY-Jahresbericht 1997, p.355

A. Vollmer, K. Schmidt, S.L.M. Schröder und K. Christmann  
*Angle Resolved Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy of Ag Films on Re(10-10)*  
BESSY-Jahresbericht 1997, p.379

H. Schürmann, N. Koch, A. Vollmer, S. Schrader, M. Neumann  
*Angle Resolved Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy (ARUPS) of oriented Sexiphenyl*  
BESSY-Jahresbericht 1998, p.

K. Schmidt, S. L. M. Schroeder, A. Vollmer, und K. Christmann  
*Polarisation-Resolved-UPS of Molecular Oxygen on Ru(10-10)*  
BESSY-Jahresbericht 1998, p.

A. Vollmer K. Schmidt und K. Christmann

*Silver Films Grown on a Rhenium(10-10) Surface, A Combined LEED, AES and TDS Study*  
in preparation

A. Vollmer und K. Christmann

*Growth and Structure of Silver on Re(10-10) - a STM investigation*  
in preparation

A. Vollmer, S. L. M. Schroeder, D. Song und K. Christmann

*Gold Films Grown on a Rhenium(10-10) Surface, A Combined LEED and AES Study*  
in preparation

## **Konferenzbeiträge und Fachvorträge**

U. Muschiol, P. Rech, F.Schneider, A. Vollmer, E. Schwarz und K.Christmann

*ARUPS-Untersuchungen zu Wasserstoff auf einen Re(10-10)-Oberfläche*  
Verhandlungen DPG **7** (1995) 1544

K. Schmidt, A. Vollmer, A. Heiland, S. Moldenhauer und K. Christmann

*Adsorption von Xenon auf eine Ru(10-10)-Oberfläche*  
Verhandlungen DPG **5** (1997) 883

A. Vollmer, S. L. M. Schröder und K. Christmann

*AES-, TDS-, und LEED-Untersuchungen zum Wachstum von Silber auf Re(10-10)*  
Verhandlungen DPG **5** (1998) 893

K. Schmidt, A. Vollmer, S. L. M. Schröder und K. Christmann

*Adsorption von molekularem Sauerstoff auf eine Ru(10-10)-Oberfläche*  
Verhandlungen DPG **5** (1998) 888

A. Heiland, A. Vollmer, K. Schmidt, S. Moldenhauer, S. L. M. Schröder und K. Christmann

*NEXAFS-Messungen zur Adsorption von 1,4-Dioxan auf Ag(110)*  
Verhandlungen DPG **5** (1998) 920

A. Vollmer, K. Schmidt, A. Mohr, R. Wagner und K. Christmann

*LEED, TDS, AES und STM-Untersuchungen zur Struktur und zum Wachstum von Silber auf Re(10-10)*  
Verhandlungen DPG **5** (1999) 907

H. Schürmann, A. Vollmer, N. Koch, S. Schrader, M. Neumann

*Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy of oriented Sexiphenyl*  
Verhandlungen DPG **5** (1999) 885

H. Schürmann, N. Koch, A. Vollmer, S. Schrader, M. Neumann

*Angle Resolved Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy (ARUPS) of oriented Sexiphenyl*  
ICEL 2 in Sheffield, Poster proceedings

## Posterpräsentationen

U. Muschiol, P. Rech, A. Vollmer, F. Schneider und K. Christmann  
*ARUPS-Untersuchungen zu Wasserstoff auf einer Re(10-10)-Oberfläche*  
BESSY Nutzertreffen 1995

K. Schmidt, P. Rech, U. Muschiol, A. Vollmer und K. Christmann  
*Wechselwirkung von Sauerstoff und Wasserstoff mit 4d Übergangsmetalloberflächen - eine kombinierte LEED/TDS/ $\Delta\Phi$ /HREELS und ARUPS Studie*  
BESSY Nutzertreffen 1996

K. Schmidt, A. Vollmer, S. L. M. Schröder und K. Christmann  
*Tiefemperaturadsorption von Atomen und Molekülen auf Ru(10-10)*  
BESSY Nutzertreffen 1997

D. Schlatterbeck, O. Kurtz, A. Vollmer, R. Wagner, A. Mohr, M. Parschau und K. Christmann  
*Untersuchungen zu Struktur, Energetik und Kinetik von dünnen Metallfilmen auf Metallsubstraten*  
Begutachtung Sonderforschungsbereich 290 - dünne Filme, 1998

K. Schmidt, S. L. M. Schröder, A. Vollmer, und K. Christmann  
*Adsorption von Xenon und Sauerstoff auf Ru(10-10)*  
BESSY Nutzertreffen 1998

N. Koch, U. Theissl, E. J. W. List, A. Vollmer, S. Schrader, G. Leising  
*The Valence Electronic Structure of n-Doped p-Sexiphenyl*  
BESSY Nutzertreffen 1998

H. Schürmann, N. Koch, A. Vollmer, S. Schrader, M. Neumann  
*Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy of oriented Sexiphenyl*  
BESSY Nutzertreffen 1998

## Lebenslauf



**Name:** Antje Vollmer  
**Geburtsdatum und -ort:** 15.01.1966 in München  
**Eltern:** Andreas Vollmer,  
Maria-Johanna Vollmer  
**Geschwister:** ein Bruder  
**Familienstand:** ledig

## Schulbesuch

**1972-1976:** Grundschule am Kennedy-Platz, Unterschleißheim  
**1976-1980:** Camerloher-Gymnasium, Freising  
**1980-1985:** Wittelsbacher-Gymnasium München  
**1985:** Abitur

## Studium

**1985-1986:** Abendstudium an der Hochschule für Politik in München,  
Tätigkeit bei Hoechst Veterinär GmbH, Unterschleißheim

**1986-1992:** Chemiestudium an der Ludwig Maximilians Universität  
München  
Mai 1989: Vordiplom-Prüfung  
Februar 1992: Hauptdiplom-Prüfung  
April - September 1992: Anfertigung einer Diplomarbeit unter  
Anleitung von Prof. Dr. G. Szeimies am Institut für Organische  
Chemie der Universität München  
Thema: Untersuchung zu Nickelkatalysierten Kupplungen nach  
Kumada und Beiträge zur Chemie der 1-Alkynyltricyclo-  
[4.1.0.0<sup>2,7</sup>]heptane

**1992-1993:**

Aufenthalt in den USA

Januar - September 1993: wissenschaftliche Mitarbeit in der Arbeitsgruppe von Prof. R. N. Zare an der Stanford University

**1994-1998:**

teilzeitbeschäftigte wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Freien Universität Berlin in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. K. Christmann

März 1994 - April 1995: beschäftigt in einem drittmittel-finanzierten BMBF Forschungsprojekt

Juli 1994: Bewilligung eines Promotionsstipendiums der Friedrich-Ebert-Stiftung

Juli 1995 - Juli 1998: teilzeitbeschäftigte wissenschaftliche Mitarbeiterin mit Lehrverpflichtung (Hauptstudiumspraktikum, Seminare, Vorlesungsbetreuung)

**seit Juli 1998:**

Mitarbeit an der Universität Osnabrück in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. M. Neumann zur Nutzer-Betreuung am Synchrotron BESSY in Berlin (TGM2)

