

# **Das EAM Schülerlabor Chemie**

**Ein Konzept zur Heranführung von Gymnasiasten  
an Inhalte und Studiengänge eines Exzellenzclusters**

**Der Pädagogischen Hochschule Freiburg**

**zur Erlangung des Doktorgrades Dr. phil.**

**vorgelegt von**

**Peter Heinzerling**

**aus Stade(Elbe)**

**Als Dissertation genehmigt**

**von der Pädagogischen Hochschule Freiburg**

**Tag der Disputation: 28. Oktober 2016**

**Vorsitzender des Promotionsorgans: Prof. Dr. Jürgen Nicolaus**

**Gutachter: Prof. Dr. Marco Oetken**

**Prof. Dr. Jens Friedrich**

## Inhalt

1	Einführung .....	1
2	Ziele des Projektes.....	3
2.1	Schülerlabore aus fachdidaktischer Sicht .....	3
2.2.1	XLAB Göttingen.....	5
2.1.2	Chemie zum Anfassen Merseburg.....	8
2.3	Forschungsdesign: Was ist neu am EAM Schülerlabor Chemie ?.....	8
3	Nano und Energie aus fachdidaktischer und fachwissenschaftlicher Sicht.....	10
3.1	Schülerexperimente als Schlüssel zu Motivation und Erkenntnisgewinnung.....	10
3.2	Fachdidaktische Aspekte der Nanotechnologie.....	12
3.3	Nano aus fachwissenschaftlicher Sicht.....	14
3.4	Fachdidaktische Aspekte bei der Auswahl der Metalle.....	15
3.5	Wissenschaftliche Bedeutung von Gold- und Silber-Nanopartikeln .....	17
3.6	Säure-Base-Reaktionen auf der Nanoskala .....	19
3.7	Komplex-Reaktionen .....	20
3.8	Das Sol-Gel-Verfahren .....	21
3.9	Erläuterung der didaktischen Konzeption zur Nanotechnologie .....	26
3.10	Die Energiewende als didaktische Herausforderung .....	28
4	Forschungsdesign .....	33
4.1	Forschungsfragen zum Projekt EAM Schülerlabor Chemie .....	33
4.2	Das EAM Schülerlabor Chemie als Erweiterung des NESSI-Lab.....	35
5	Fachwissenschaftliche Herleitung des Experimentalkonzeptes.....	36
5.1	Ansätze zur Umsetzung der Nanotechnologie in der Schule .....	36
5.2	Energiewende als Herausforderung für das Schulcurriculums .....	41
6	Entwicklung und Vorstellung von ausgewählten Experimenten.....	46
6.1	Konzeption der Arbeitsblätter, der Tischvorlagen und des Lehrer-Manuals .....	46
6.3	Herstellung von Nanogold .....	50
6.3.1	Herstellung von Nanogold durch Reduktion mit Kohlenstoffmonooxid .....	50
6.3.2	Herstellung von Nanogold durch Reduktion mit Antioxidanzien .....	54
6.3.3	Herstellung von Nanogold mithilfe von Rotwein .....	55
6.3.4	Herstellung von Nanogold durch Reduktion mit Citrat .....	58
6.3.5	Weitere Synthesemöglichkeiten .....	66

6.4	Experimente zur Nanotechnologie und Energiewende nach dem Konzept der curricularen Innovation.....	66
6.4.1	Biozider Polyester mit Nanosilber .....	66
6.4.2	L(iquid)O rganic)H(ydrogen)C(arrier) als Innovationsmotor der Energiewende .....	71
7	Konzept der Umsetzung des EAM Schülerlabors Chemie .....	78
8	Evaluation .....	79
8.1	Fragebogendesign .....	79
8.2	Evaluation der Fortbildungen für Lehrkräfte.....	83
8.3	Evaluation der Einstiegsschulen .....	106
8.4	Evaluation der Testphase .....	114
8.5	Evaluation der Konsolidierungsphase .....	119
8.6	Evaluation der Vor- und Nachttests.....	122
9.7	Schupperstudentag.....	125
9	Diskussion und Ausblick.....	126
9.1	Erfahrungen aus dem Projekt.....	126
9.2	Kritische Hinterfragung des Konzeptes .....	127
9.3	Perspektiven des EAM Schülerlabors Chemie .....	128
9.4	Zusammenfassung.....	129
	Danksagung .....	130
	Literaturverzeichnis.....	131
	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	139
	Anhänge.....	144



## Das EAM Schülerlabor Chemie –

### Ein Konzept zur Heranführung von Gymnasiasten an Inhalte und Studiengänge eines Exzellenzclusters

#### 1 Einführung

Der Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials (EAM) ist ein in Deutschland einzigartiger Forschungsverbund aus Mathematik, Ingenieur- und Naturwissenschaften bis hin zur Medizin, der sich mit der Erzeugung von Materialien von der Nano- über die Mesoskala bis zur Makroebene beschäftigt (Peukert, Wasserscheid & Hirsch, 2011). Beteiligt sind viele Institute und über 200 Wissenschaftler. Im Gegensatz zur klassischen Materialwissenschaft werden die neuen Materialien nach Simulationen am Computermodell im Laborexperiment erzeugt und erprobt. Diese neuen Materialien sind bedeutsam für die Energieumwandlung, für Leichtbaukonstruktionen, aber auch für medizinische Biomaterialien und den Einsatz in der Krebstherapie.

Die Struktur des Clusters wird in der Grafik veranschaulicht:



Abb. 1: Vernetzungsstruktur des Exzellenzclusters

Der Cluster verfügt über vier Anwendungsforschungsbereiche:

B – Nanoelektronische Materialien

C – Photonische und Optische Materialien

D – Katalytische Materialien

E – Leichtbaumaterialien

Darüber hinaus gibt es drei Querschnittsforschungsfelder:

A 1 – Funktionelle Partikel

A 2 – Nanoanalyse und –mikroskopie

A 3 – Multidimensionale Modellierung und Simulation

Gemeinsames Ziel ist die Entwicklung von Methoden zur Herstellung von Strukturen und Materialien vom Molekül bzw. von Partikeln bis zum Bauelement oder Demonstrationsbeispiel, um im letzten Schritt diese in Zusammenarbeit mit externen Partnern in die Praxis zu überführen. Es existieren umfangreiche weltweite Kooperationen mit universitären Partnern, Forschungszentren und der Industrie.

Im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder wird der Cluster bereits in der zweiten Förderperiode unterstützt. Mit der Exzellenzinitiative sollen der Wissenschaftsstandort Deutschland nachhaltig gestärkt, seine internationale Wettbewerbsfähigkeit verbessert und die Spitzen im Universitäts- und Wissenschaftsbereich sichtbar gemacht werden. Das Verfahren wird getragen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Wissenschaftsrat. Das Ausleseverfahren war in beiden bisherigen Förderrunden sehr ambitioniert mit der Zielsetzung der international vergleichbaren Exzellenz. Bevor die Förderung beantragt werden konnte, fand jeweils eine Vorauslese statt. Von 40 in der zweiten Förderperiode zur Antragstellung aufgeforderten Exzellenzclustern erhielten nur 17 den Zuschlag (BMBF, DFG & WR, 2012). Inzwischen gehören dazu auch Science Outreach Programs, um auch außerhalb der akademischen Forschung die wissenschaftlichen Ergebnisse bekannt zu machen. Ziel ist dabei die Ansprache von jungen Leuten in der Ausbildungsfindungsphase während der Gymnasialen Oberstufe, um den mit dem Cluster verbundenen Studiengängen geeigneten und motivierten Nachwuchs zuzuführen.

Es gibt in Deutschland ca. 300 Schülerlabore unterschiedlicher Fachrichtungen und Zielgruppen. Schülerlabore an Exzellenzclustern gibt es nur zwei weitere (Kieler Forschungswerkstatt, PhotonLab am Munich Center for Advanced Photonics) und die Zielsetzung der Heranführung an spezielle Studiengänge war bisher nicht ausgeprägt.

Der Exzellenzcluster EAM ist in 2013 im Rahmen der Antragstellung zur zweiten Förderperiode an die Fachdidaktiken der Physik und Chemie mit dem Auftrag des Aufbaus eines auf die Forschungsthemen bezogenen Schülerlabors herangetreten. Da es an Gymnasien in Bayern die entsprechende Fächerkombination nicht gibt und die Schulen größten Wert auf Lehrplankonformität legen, wurde der Weg einer getrennten Entwicklung gegangen.

Nach mehr als achtzehnmonatiger Testphase wurde vom Frühjahr 2015 bis zum Frühjahr 2016 das vorgelegte Konzept mit Gymnasien aus Mittelfranken erprobt.

## **2 Ziele des Projektes**

### **2.1 Schülerlabore aus fachdidaktischer Sicht**

Schülerlabore in den MINT-Fächern entstanden Ende der 1990er Jahre als Reaktion auf den Rückgang der Studentenzahlen in diesen Fächern. Die ersten Schülerlabore wurden von Fachwissenschaftlern gegründet und konzipiert. Als erstes Fach reagierte die Chemie mit der Gründung des teutolabs an der Universität Bielefeld mit einer breiten Aufstellung über alle Schulstufen. Durch den Beginn in der Grundschule sollten Schüler nachhaltig an das Fach herangebracht werden. Das Labor verfolgte zunächst ein Themenkonzept ohne fachdidaktische Zielsetzung und wurde im Laufe der Zeit auf fünf Fachrichtungen erweitert (Herbers, Jenett, Möller & Kohse-Höinghaus, 2002).

Fachdidaktisch haben die meisten Schülerlabore den Anspruch, das vorhandene Angebot der Schulen durch ihre besonderen Möglichkeiten zu ergänzen und zu vertiefen. Insbesondere sollen auf mangelnden Ausstattungen beruhende experimentelle Defizite ausgeglichen werden. Die Betreuungsdichte in Schülerlaboren ist in der Regel sehr hoch, was Schulen per se nicht leisten können. Von daher werden diese Labore gerne als Ergänzung des Unterrichtsangebots in Anspruch genommen.

Etliche Schülerlabore sind inzwischen beschrieben und teilweise wissenschaftlich evaluiert worden. So finden sich in der FIS-Datenbank mit Stand 06/2015 101 Einträge über alle Fachrichtungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit (URL FIS-Datenbank). Bei der Evaluierung wurden unterschiedliche Forschungsfragen gestellt und ein Schwerpunkt lag auf der nachhaltigen Wirkung auf die MINT-Fächer. Die Untersuchungsgegenstände waren bezüglich der Fächer und Schulstufen unterschiedlich. In der Studie von Itzek-Greulich (Itzek-Greulich, 2014) wurde vergleichend (nur Schule, Schule und Schülerlabor, nur Schülerlabor) vorgegangen, bei den Studien von Pawek (Pawek, 2009) und Zehren (Zehren, 2009) lediglich die Wirkung von reinen Schülerlaboren untersucht. Die Schülerlabore waren nicht vergleichbar, da Pawek das Netzwerk der DLR-Schülerlabore heranziehen konnte, während die beiden anderen Autoren nur mit einem arbeiteten. Es wurde kurzfristige eine deutliche Steigerung des Interesses an naturwissenschaftlichen Inhalten festgestellt, der Nachweis der Nachhaltigkeit konnte wegen der Anlage der Studien nicht erbracht werden. Die Wirksamkeits-Studie von Guderian im Fach Physik (Guderian, 2007) kommt sogar zu einem sehr ernüchternden Ergebnis. Eine Studie, die eine Steigerung des Interesses an einem Studiengang nachweist, steht noch aus.

Hempelmann et al. (Hempelmann et al., 2013) haben die vorhandenen Labore kategorisiert:

- Klassische Schülerlabore: Besuch von Klassen mit curricularer Nähe zum Schulstoff (z.B. teutolab)
- Schülerforschungszentren: Individuelle Förderung von naturwissenschaftlich-technisch interessierten Jugendlichen ohne Lehrplanbezug (z.B. Erlanger SchülerForschungszentrum (ESFZ))
- Lehr-Lern-Labore: Häufig von Fachdidaktiken betriebene Labore als Ergänzung der Lehrerausbildung (z.B. Chemie-AG<sup>2</sup> der RWTH Aachen (Boymans, 2012))
- Schülerlabor zur Wissenskommunikation: Vorzugsweise angebunden an Großforschungszentren (z.B. DLR\_School\_Lab (URL DLR))
- Schülerlabor mit Bezug zu Unternehmertum: Hierzu zählen die Schülerlabore BayLab der Bayer AG und Xplore der BASF SE (Maier, 2002)
- Schülerlabor mit Berufsorientierung: Nachwuchsförderung für MINT-Berufe und – Studiengänge (z.B. Wissenschaft erleben der TU Clausthal (URL Wissenschaft erleben, 2016))

Es sollen an dieser Stelle zwei klassische Schülerlabore vorgestellt werden:

### 2.2.1 XLAB Göttingen

Die Gründung des XLAB in Göttingen geht auf eine Initiative Göttinger Forscher unter der Federführung von Eva-Maria Neher aus dem Jahr 1996 zurück (Neher, 2002). Aufgrund von Erfahrungen als Lehrerin an einer Waldorfschule initiierte sie die Einrichtung von Laboren für Chemie, Biologie und Physik und das Vorhaben wurde von der Universität und den örtlichen Forschungsinstituten gestützt. Zu der Zeit waren die Labore der Universität wegen rückläufiger Studentenzahlen nicht ausgelastet. Dies soll am Beispiel der Chemie belegt werden:

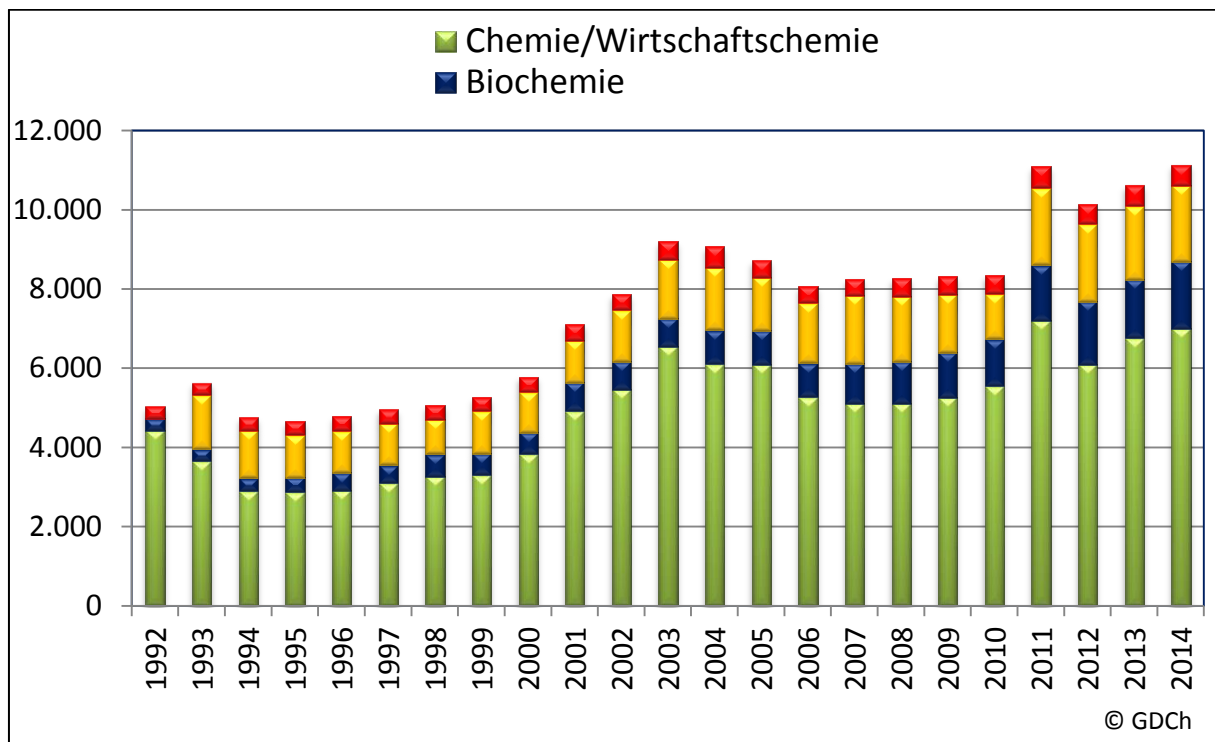


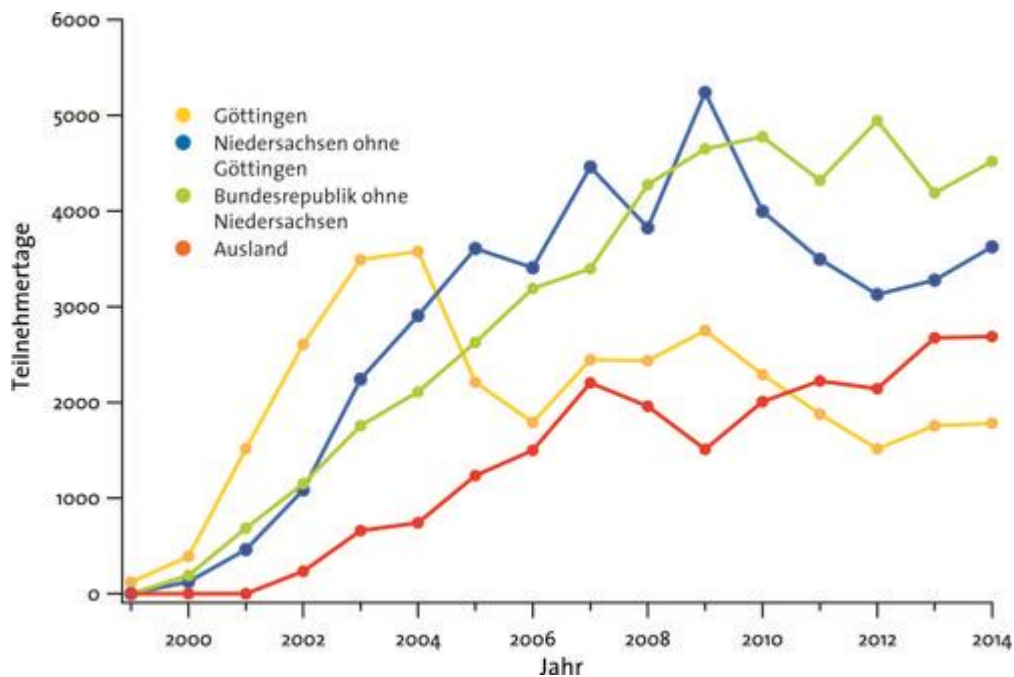
Abb. 2: Statistik der Chemiestudierenden (Quelle: GDCh)

Nach jahrelangen Bemühungen gelang es unter finanziellem Engagement der niedersächsischen Landesregierung, des Bundes und der Stiftung Volkswagenwerk im Jahr 2004 einen Neubau zu eröffnen. Zum Konzept des XLAB gehören neben schulnahen Experimenten die Schüler auch an aktuelle Forschungsthemen heranzuführen. In diese Bemühungen werden neben den naturwissenschaftlichen Instituten der Universität die örtlichen Forschungsinstitute eingebunden. Das X im Namen ergibt sich aus den Koordinaten der beteiligten Forschungsinstitute und der Universität: Das XLAB liegt im Schnittpunkt der

Diagonalen aus dem MPI für Biophysikalische Chemie, MPI für Medizinische Forschung, dem Deutschen Primatenzentrum und den naturwissenschaftlichen Instituten.

Im Laufe der Jahre wurde das XLAB um die Fachgebiete Informatik und Geowissenschaften erweitert.

Das XLAB wird professionell gemanagt und arbeitet mit technischen Assistenten und sechs abgeordneten Lehrkräften. Die Liste der Sponsoren ist sehr lang und erstreckt sich über Firmen und Stiftungen bis zu Einzelpersonen. Die Kursangebote ergänzen und vertiefen den Schulstoff der Sekundarstufen I und II unter Einbeziehung sehr anspruchsvoller Ausstattung. Es gibt neben diesen Kursen noch internationale Sommercamps sowie im Januar ein Science Festival, bei dem hochkarätige Forscher vor Schülern Vorträge halten. Die Resonanz schlägt sich in einer fortgeschriebenen Statistik nieder:















































**Abb. 3:** Besucherstatistik des XLAB (Quelle: XLAB Jahresbericht 2014)

Von den Teilnehmertagen her ist das XLAB derzeit das größte Schülerlabor in Deutschland.

Die Teilnahme an Laborkursen ist kostenpflichtig.

Die Internationalen Science Camps im Sommer werden trotz hoher Eigenbeiträge sehr stark nachgefragt:

Country	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Sum / Country
 Austria		1			1	1		1				1	5
 Australia								7					7
 Belgium		1				1		1					3
 Bulgaria	2	3	3	2		1	2						13
 Brazil												1	1
 Canada						1		1		1			3
 China	1							3	4	1	4	2	15
 Colombia		1							1		3		5
 Costa Rica									2				2
 Croatia							2	2	4				8
 Czech Republic		2				2						1	5
 Denmark									1				1
 Ecuador	1	1	2	1	1	2	1	1		1	2	1	14
 Egypt						1							1
 Estonia							1	1		1			3
 Finland				1					1				2
 France		2				1					1	1	5
 Germany	12	6	8	11	10	17	11	8	3	5	5	3	99
 Greece	1		6		4								11
 Hungary		2	3		3		2	2		1		2	15
 India	4	4	2			1	1				2	1	15
 Indonesia												1	1
 Israel		2		2						1	2		7
 Italy	8	2	4	4					2				20
 Japan									1				1
 Lithuania				1	3	3	1	1					9
 Macedonia											1		1
 Norway							1	1					2
 Philippines			1										1
 Poland	8	2	3	5	1	3	3	4	2	2	2	3	38
 Portugal	1			1	2	1	1					1	7
 Republic of Korea				8	5	5	4	5	7	11	9	10	64
 Serbia		1	3	2	2	2	6	3	3	4	2	3	31
 Singapore									2	2	2	2	8
 Spain	3	4	6	8	5	8	6	9	10	8	12	16	95
 Sri Lanka								1					1
 Switzerland								1	1				2
 Sweden				1		1	2			1			5
 Thailand							1	4	4	3		1	13
 Turkey				1	1	3	5	5	5	5	3	7	35
 United Kingdom	1	1							1			1	4
 Ukraine								1			1		2
 USA			3	2	4	2	4	2		1	1		19
 Venezuela	1												1
<b>Sum / Year</b>	<b>43</b>	<b>35</b>	<b>44</b>	<b>50</b>	<b>42</b>	<b>56</b>	<b>54</b>	<b>64</b>	<b>54</b>	<b>48</b>	<b>52</b>	<b>58</b>	<b>600</b>

**Tab. 1:** Teilnehmerzahlen bei den International Science Camps (Quelle: XLAB Jahresbericht 2014)

Die Idee zur Konzeption des XLAB stammt von einer entsprechenden Einrichtung des Weizmann Institute of Science in Israel: Davidson Institute of Science Education (Davidson Institute, o. J.).

Eine Einbindung von Fachdidaktiken an der Konzeption des XLAB ist nicht bekannt. Dieses Labor wurde noch nicht empirisch untersucht.

### **2.1.2 Chemie zum Anfassen Merseburg**

Das Schülerlabor an der FH Merseburg wurde von ehemaligen Mitarbeiterinnen der Technischen Hochschule für Chemie Carl Schorlemmer initiiert und Dank einer großzügigen finanziellen Unterstützung durch die Dow-Stiftung und die Total-Raffinerie ermöglicht. Es konzentriert sich ganz bewusst auf ein breites Angebot im Fach Chemie und richtet sein Programm auch an der Unterstützung von Wettbewerben aus. Die Arbeit ist sehr erfolgreich und hat auch Auswirkungen auf das Wahlverhalten von Schülern der Oberstufe im Land Sachsen-Anhalt (Voigt & Kometz, 2002).

Das Angebot an Praktika richtet sich an alle Schulstufen und ist für die Grundschule an Alltagsphänomenen, für die weiterführenden Schulen an Themen orientiert. Letztere sind sehr breit gefächert: Das Angebot erstreckt sich auf ca. 30 Themen, aber auch über ganze Stoffgebiete der Chemie. Im Vordergrund stehen intensive und fachgerechte Laborarbeit.

Neben diesem Laborangebot gibt es noch Exkursionen zu regionalen Industriefirmen. Auf alle regionalen und überregionalen Wettbewerbe wird gezielt vorbereitet. Seit 2003 wurden auch besondere Angebote der Hochbegabtenförderung ins Programm aufgenommen. Schüler können ihre Betriebspraktika in dem Schülerlabor absolvieren und es ist auch eingebunden in Maßnahmen zur Akzeptanzförderung von Ingenieurberufen.

Diese beachtliche Breite des Angebotes kann nur mit entsprechenden personellen Ressourcen aufrecht gehalten werden. Diese sind in Merseburg jedoch vergleichsweise bescheiden und beruhen teilweise auf ehrenamtlichem Engagement.

Eine fachdidaktische Anbindung existiert nicht, da zum Zeitpunkt der Gründung die entsprechende Stelle an der nahe gelegenen Martin-Luther-Universität Halle weggefallen ist.

### **2.3 Forschungsdesign: Was ist neu am EAM Schülerlabor Chemie ?**

Bei Evaluation der Liste der über 300 Einrichtungen in Deutschland fällt auf, dass eine Angebotslücke bei Schülerlaboren bei DFG-Sonderforschungsbereichen und Exzellenzclustern existiert. Fast zeitgleich mit dem Beschluss zur Einrichtung am EAM wurde die Kieler Forschungswerkstatt eröffnet. Die Forschungswerkstatt ist sehr breit aufgestellt und finanziert durch die Exzellenzcluster ‚Ozean der Zukunft‘ und ‚Entzündungsforschung‘, dem Sonderforschungsbereich 677 ‚Funktion durch Schalten‘, der Mathematisch-



Naturwissenschaftlichen und Technischen Fakultät der Christian-Albrecht-Universität sowie dem Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN). Das Labor hat einen festen Standort und kann auf erhebliche personelle Ressourcen zugreifen (URL Kieler Forschungswerkstatt, o. J.).

Im Teilbereich klick!-Labor (URL klick!, o. J.) werden Grundlagen der Nanotechnologie behandelt. Erste Ergebnisse von Evaluationen sind veröffentlicht worden (Schwarzer, Akaygun, Sagun-Gokoz, Anderson & Blonder, 2015). Für den Bereich Energie existiert ein weiteres Labor (URL energie, o. J.).

Das EAM Schülerlabor Chemie will vor dem Hintergrund der Lehrplanzwänge der bayerischen Gymnasien Schüler der Oberstufe an die Themenbereiche Nano und Energie heranführen. Dabei waren von vorne herein die räumlichen und personellen Mittel eingeschränkt. Die Experimente wurden lehrplanergänzend so konzipiert, dass die Schulen einen unmittelbaren Ertrag mitnehmen können und die Schüler an die Forschungsinhalte und Studiengänge des Clusters herangeführt werden. Dazu wird nach einem Stufenkonzept für die Beteiligten vorgegangen:

- Lehrerfortbildung: Die begleitenden Lehrkräfte werden mit den Inhalten in einer ganztägigen Veranstaltung vertraut gemacht;
- Schülerlabor: In einer fünfstündigen Veranstaltung bekommen die Schüler zunächst eine 90-minütige Einführung und experimentieren danach an bis zu 20 Stationen;
- Schnupperstudium: Besonders interessierte Schüler werden zu Beginn des 12. Jahrgangs einen Tag im Fachbereich Werkstoffwissenschaften strukturiert betreut (Studieninformation, Vorlesung im kleinen Kreis, Besuch von Forschungseinrichtungen)

Das EAM Schülerlabor Chemie ist mit diesem Konzept breiter als das klick!-Labor aufgestellt. Insbesondere das Ziel der Hinführung von Schülern an material- und nanowissenschaftliche Studiengänge als Zulieferer des Exzellenzclusters ist hier ausgeprägter. In Gymnasien werden den Schülern in der Regel nur Informationen zu klassischen Fächern (MINT-Fächer, Medizin, Jura, BWL) von den Lehrkräften geliefert - Kenntnisse über Materialwissenschaften sind eher rudimentär.

Im Laufe der letzten drei Jahre ist es gelungen, zu fast allen Gymnasien mit naturwissenschaftlich-technologischem Zweig des Bezirks Mittelfranken Kontakte zu knüpfen. Es gab vereinzelt auch Besuche aus weiter entfernten Bezirken.

### **3 Nano und Energie aus fachdidaktischer und fachwissenschaftlicher Sicht**

#### **3.1 Schülerexperimente als Schlüssel zu Motivation und Erkenntnisgewinnung**

Das EAM Schülerlabor Chemie wurde als Experimentallabor konzipiert. Im Mittelpunkt des Konzeptes zur Heranführung von Schülern an die materialwissenschaftlichen Studiengänge des Exzellenzclusters stehen motivierende Experimente. Die Zielgruppe der gymnasialen Oberstufe ist bereits seit ca. drei Jahren in der Schule mit den Experimentiertechniken vertraut gemacht worden. Von daher bedarf es keines grundlegenden Konzeptes zur Heranführung an naturwissenschaftliche Erkenntnismethodik.

Die Theorie zu Experimenten und Versuchen ist im Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Diskussion zum Konstruktivismus neu belebt worden. Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts beschäftigte sich Dewey mit dem Zusammenhang zwischen Philosophie und Pädagogik als Grundlage demokratischer Erziehung. In seiner Theorie des Inquiry (Dewey, 1938) hat er fünf Stufen einer wissenschaftlichen, experimentellen Untersuchung herausgestellt:

1. Eine problematische Situation und eine emotionale Reaktion hierauf;
2. Beschreibung des Problems und Sammlung von ersten Hypothesen;
3. Suche nach möglichen Erklärungen und Lösungen;
4. Aufstellen der Erklärung und ihrer gerechtfertigten Behauptbarkeit;
5. Weitere Beobachtungen und Untersuchungen, um die Anwendbarkeit kritisch zu überprüfen.

Im deutschsprachigen Raum war es Wagenschein, der sich im Rahmen der Theorie des exemplarischen Lernens mit der Rolle des Experimentes intensiv beschäftigt hat und der die Forschungsarbeit des Instituts für Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) lange Zeit prägte. Sein exemplarisch-genetischer Ansatz wurde im Wesentlichen für die Grundschulpädagogik und den Anfangsunterricht weiter untersucht (Wagenschein, 2009).

Die Einteilung chemischer Schulexperimente als Unterrichtsmedium kann nach ihren Bildungs- und Erziehungsfunktionen erfolgen (Rossa, 1977):

- Wissenserwerb
- Könnenserwerb
- Erkenntniserwerb

Zusätzlich können sie noch nach verschiedenen Aspekten klassifiziert werden:

- Sachliche Aspekte durch Zuordnung zu den Sachgebieten der Chemie
- Methodisch-didaktische Aspekte
- Gestaltung der Experimente unter psychischen und physischen Aspekten
- Demonstrations- und Schülerexperiment als Organisationsform
- Erkenntnistheoretische Aspekte
- Wahl der Geräte

Bezogen auf das EAM Schülerlabor Chemie stehen motivierende Aspekte im Vordergrund: Den Schülern sollen durch Experimente mit grundsätzlich bekannten Inhalten unter völlig neuen Perspektiven ihre Sichtweise der Chemie erweitert werden auf fachübergreifende und bisher unbekannte Inhalte. Da diese Inhalte teilweise schulfremd jedoch forschungsnah sind, soll hier die Aufgeschlossenheit zur Beschäftigung mit möglichen beruflichen Perspektiven gefördert werden.

Vielfach wird übersehen, dass es bereits in den 1920er Jahren in der Sowjetunion bereits psychologische Schulen gab, die sich ebenfalls mit dieser Thematik beschäftigten. Sie werden subsumiert unter dem Begriff der kulturhistorischen Schule und sind mit den Namen Wygotski (Vygotskij, 2002) und Leontjew (Leont'ev, 1982) verbunden. Deren psychologischen Konstrukte antizipieren die heutigen didaktischen Konzepte der Kontext- und Kompetenzorientierung. Allerdings bezieht sich die Forschung auf die Erkenntnisbildung bei Kindern mit und ohne Behinderung und wir haben es in unserem Projekt mit Jugendlichen in der Phase der Adoleszenz zu tun.

Die Zuordnung zu den Kompetenzbereichen erfolgt in den vorgestellten Beispielen.

Nanotechnologie und Energie vor dem Hintergrund der Energiewende können in entsprechende Kontexte eingeordnet werden und fallen im Prinzip auch unter das Inquiry Based Learning nach Dewey, das in der neueren didaktischen Diskussion etliche Forschergruppen für sich reklamieren.

### **3.2 Fachdidaktische Aspekte der Nanotechnologie**

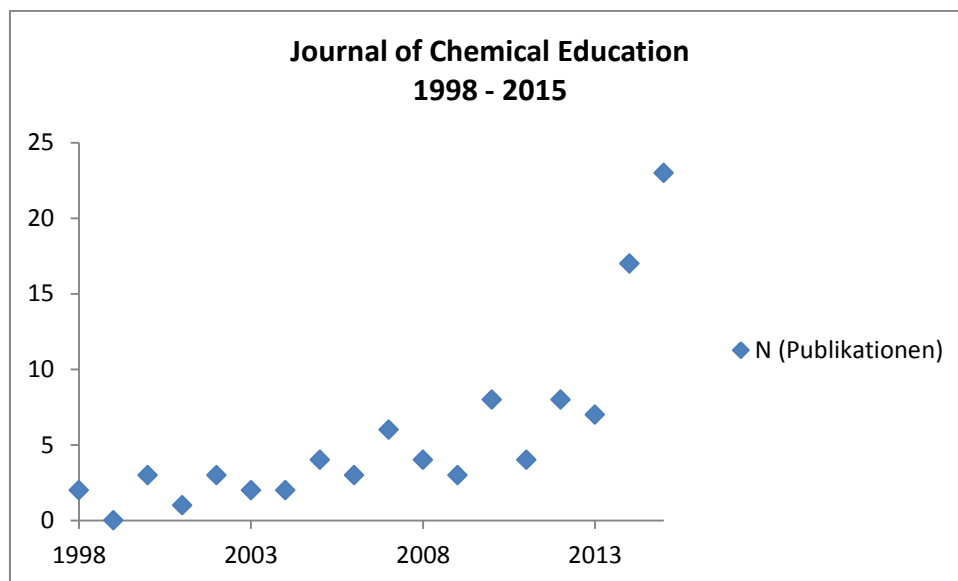
Fachdidaktisch bieten sich zwei Herangehensweisen an die Nanotechnologie an:

Über den historisch-problemorientierten Ansatz der Oldenburger Schule und nach dem Konzept der curricularen Innovation der Wuppertaler Schule.

Die Geschichte der Chemie im Chemieunterricht wurde von der Oldenburger Schule um Jansen in den 1980er Jahren wieder aufgegriffen und zum didaktischen Ansatz des historisch-problemorientierten Unterrichtsverfahren weiter entwickelt (Jansen, 2014). Als Hypothese wird formuliert, dass sich der Chemieunterricht durch Einbettung der Geschichte der Chemie in das Curriculum verbessern lässt. Ein systematischer Unterrichtsgang existiert nicht: Es werden historische Literaturstellen zu grundlegenden chemischen Problemen aufgegriffen und in schulisch angemessener Form experimentell aufbereitet. Dieser Ansatz eignet sich auch für die Erschließung der chemischen Nanotechnologie im Chemieunterricht. Ausgehend von historischen Veröffentlichungen vom Ende des 19. Jahrhunderts und später wurden grundlegende Experimente für den Schulunterricht entwickelt (Heinzerling, 2006). In den folgenden Jahren erschienen mehrere Themenhefte deutscher chemiedidaktischer Zeitschriften (Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 2006 & 2015, Naturwissenschaften im Unterricht Chemie 2007).

Die neueren Publikationen können unter dem Unterrichtsansatz der curricularen Innovation von Tausch (Tausch, 2004) subsumiert werden: ‚Curriculare Innovation bedeutet die Erneuerung und Anpassung der Lehrgänge an den Entwicklungsstand wissenschaftlicher Erkenntnisse und gesellschaftlicher Lebensformen in unserer technischen Zivilisation‘. Als Erstzeugen für diesen Ansatz werden Ellis et al. zitiert (Ellis et al., 2001) mit der Forderung, die Erkenntnisse zu LEDs für die curriculare Innovation heranzuziehen. Tausch hat diesen Ansatz im Wesentlichen im Bereich der Photochemie weiter verfolgt. In einem eingeführten Lehrwerk wird dieser Ansatz konsequent mit der Fachsystematik verknüpft (Tausch & von Wachtendonk, 2007). In dieser Arbeit soll es die Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts sein. Im amerikanischen Referenzorgan Journal of Chemical Education

erschienen dazu in den ersten fünfzehn Jahren des 21. Jahrhunderts fast 100 Veröffentlichungen mit teilweise schulgeeigneten Experimenten:



**Abb. 4:** Publikationen zur Nanotechnologie im Journal of Chemical Education

Weiter unten wird bei den beschriebenen Experimenten aufgezeigt, dass diese curriculare Innovation lehrplankonform gelingen kann.

Nanotechnologie ist in den Materialwissenschaften inzwischen zum Handwerk geworden und entsprechende Kompetenzen notwendige Voraussetzung ähnlich von Office-Kenntnissen im nichtwissenschaftlichen Bereich. Von daher ist es aus didaktischer Sicht unbedingt erforderlich, dieses Gebiet auch Schülern zugänglich zu machen.

Die mikroskopischen Handwerkszeuge sind für Schulen bereits verwirklicht worden:

Ein an der Universität Münster zum Eigenbau entwickeltes Rastertunnelmikroskop wurde mehrfach geclont (URL STM), am Alten Gymnasium in Oldenburg wurde ein Kraftfeldmikroskop für Schulen entwickelt (URL AFM).

Diese Methoden sollten der Physik zugeordnet werden. Die Chemie kann Basis-Konzepte und die Standard-Reaktionstypen auf die chemische Nanotechnologie übertragen. Innerhalb des Basis-Konzeptes Donator-Akzeptor-Reaktionen sind dies Säure-Base-Reaktionen, Redox-Reaktionen und Komplexbildungs-Reaktionen. Sie unterscheiden sich von der herkömmlichen Schulchemie lediglich in der Wahl der Reaktionsbedingungen und der Auswahl der verwendeten Stoffe. Während sich die klassische Schulchemie überwiegend in

Konzentrationsbereichen von zehntel molaren Lösungen bewegt, spielt sich die Nanochemie im Konzentrationsbereich von tausendstel bis zehntausendstel Mol pro Liter ab.

### **3.3 Nano aus fachwissenschaftlicher Sicht**

Die chemische Nanotechnologie geht auf die Kolloidwissenschaften zurück. Hier war vom Ende des 19. Jahrhunderts bis in die 1940er Jahre insbesondere Wolfgang Ostwald in Leipzig sehr aktiv. Im Winter 1913/14 unternahm er auf Einladung von Fischer (UC Berkeley) eine Vortragsreise in die USA. Aus diesen ursprünglich an fünf Universitäten vorgesehenen Vorträge wurden schließlich 56 und sie wurden in dem Buch ‚Die Welt der vernachlässigten Dimensionen‘ zusammen getragen (Ostwald, 1944). Dieses Buch erschien bis 1944 in 23 Auflagen. Ostwald hat weiterhin Lehrbücher zur Kolloidchemie (Ostwald, 1923) geschrieben und ein Praktikumsbuch (Ostwald, 1943) herausgegeben, das Grundlage des damaligen experimentellen Chemiestudiums war.

Zu der Zeit gab es noch keine modernen optischen Geräte, um die Kolloide sichtbar zu machen. Das gelang zuerst Siedentopf und Zsigmondy 1903 in Jena mit dem Projektionsmikroskop (Siedentopf & Zsigmondy, 1902). Nach dem 2. Weltkrieg verlor die Kolloidchemie zunächst an Bedeutung.

Die eigentliche Nanotechnologie wurde 1959 von Feynman durch seinen Ausspruch ‚There’s plenty of room at the bottom‘ auf der Jahrestagung der American Physical Society angestoßen (Feynman, 1960), konnte jedoch erst 1981 durch die Erfindungen des Rastertunnelmikroskops durch Binnig und Rohrer (Binnig, Rohrer, Gerber & Weibel, 1982) sowie des Rasterkraftfeldmikroskops in 1986 (Binnig, Quate & Gerber, 1986) realisiert werden. Das Transmissionselektronenmikroskop wurde bereits 1933 durch Knoll und Ruska erfunden (Knoll & Ruska, 1932) und durch von Ardenne 1938 zum Rasterelektronenmikroskop erweitert (von Ardenne & von Borries, 1941), konnte aber erst in Laufe von Jahrzehnten zur heutigen Genauigkeit von 0,01 nm weiter entwickelt werden.

Es kamen schließlich Werkzeuge hinzu, mit denen man unterm Mikroskop auf der Nanoskala arbeiten konnte.

Die chemische Nanotechnologie entwickelte sich sehr schnell mit dem Sol-Gel-Verfahren, das nach seiner Erfindung bei den Glaswerken Schott in 1939 zunächst in Vergessenheit geriet (Geffken & Berger, 1939). Seine Renaissance erlebte dieses Verfahren am Leibniz-

Institut für Neue Materialien (INM) in Saarbrücken unter Schmidt ab Ende der 1980er Jahre (Schmidt, 2006). In dieser Zeit war das INM weltweit führend in der Forschung zur chemischen Nanotechnologie.

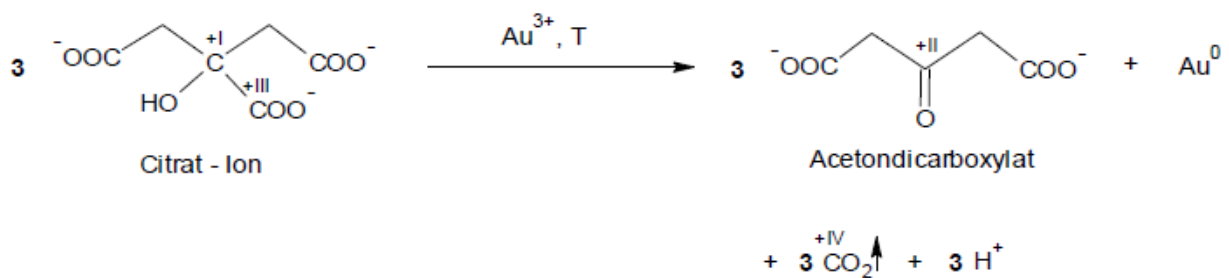
Bei der Auswahl der Stoffe kann auf eine relativ große Palette von Metallen und Nichtmetallen, aber auch auf metallorganische Verbindungen zugegriffen werden. Letztere sind die so genannten Precursor (Vorläufer) der daraus herzustellenden Nanopartikel.

### 3.4 Fachdidaktische Aspekte bei der Auswahl der Metalle

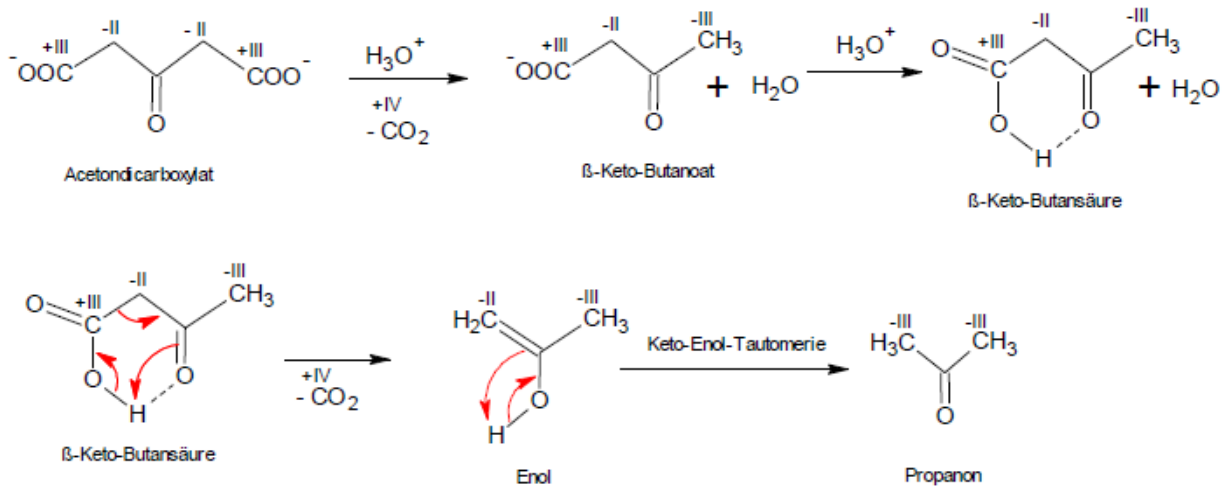
Eine lange Geschichte haben die Metall-Kolloide. Bereits in der Antike waren rote Goldmodifikationen bekannt. Daraus wurde im ausgehenden Mittelalter in der Glaskunst das Goldrubinglas, aber auch andere farbige Gläser auf der Basis von Silber und Kupfer. Die Theorie zur Farbigkeit wurde 1908 vom Physiker Mie über die Elektrodynamik geliefert (Mie, 1908) und später über die Plasmonenresonanz vertieft (J. Turkevich, Garton & Stevenson, 1954). Der wissenschaftliche Nachweis von nanoskaligen Goldpartikeln in roten Gläsern gelang erst im Jahr 2000.

Die Chemie hinter der Synthese von nanoskaligen Metallkolloiden basiert auf Redox-Reaktionen:

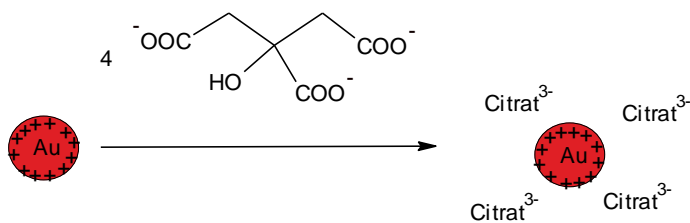
Metall-Kationen werden mithilfe geeigneter Reduktionsmittel zum Metall reduziert. Kolloidale Teilchen stabilisieren sich durch elektrostatische Abstoßung und neigen zur Destabilisierung. Es war bereits lange bekannt, dass man sie durch geeignete Schutzkolloide stabilisieren konnten. Der Durchbruch kam mit der Turkevich-Reaktion: Das Reduktionsmittel Natriumcitrat wirkte mit seinen Citrat-Ionen gleichzeitig als Schutzkolloid und sorgte für eine Stabilisierung der nanoskaligen Metallpartikel (Turkevich, Stevenson & Hillier, 1951). Die Bruttoreaktion ergibt sich bei Siedehitze zu:



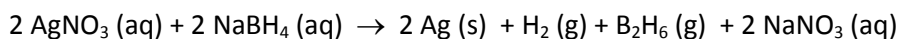
Nach dieser Redoxreaktion erfolgt schließlich eine Weiterreaktion unter Decarboxylierung zu Aceton:



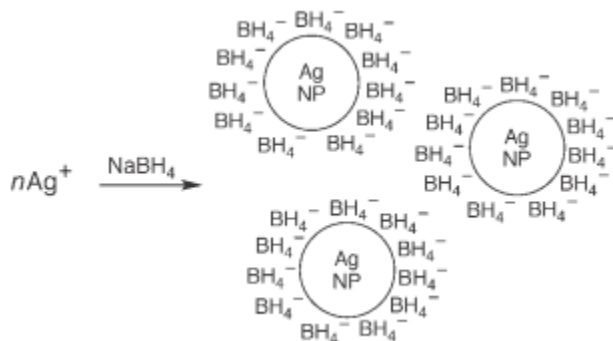
überschüssiges Citrat stabilisiert. Man spricht hier von einem Schutzkolloid:



Im Laufe der Zeit wurden weitere Reagenzien mit diesen Eigenschaften gefunden, das bekannteste ist das von Creighton eingeführte Borhydrid-Ion (Creighton, Blatchford & Albrecht, 1979):



Auch hier bildet sich ein Schutzkolloid:



**Abb. 4:** Reduktion von Silber-Ionen mit Borhydrid-Ionen zu Silber-Nanopartikeln (NP) unter Ausbildung eines Schutzkolloids (Abdruck mit Erlaubnis aus (Mulfinger et al., 2007) ©2007 American Chemical Society)



Für die Auswahl der Metall-Ionen im Schülerlabor spielen historische, ästhetische und finanzielle Kriterien eine Rolle. Bezüglich des historisch-problemorientierten Ansatzes geht kein Weg am Gold vorbei, das gleichzeitig auch ästhetische Ergebnisse liefert. Finanziell erfordert ein Gold-Salz zunächst eine hohe Einstiegsinvestition, die jedoch für sehr viele Versuche ausreicht. Die Kosten pro Experiment bewegen dann im Cent-Bereich, da die eingesetzten Konzentrationen und Volumina sehr gering sind. Obendrauf hat als kostengünstigere Alternative den Weg über Blattgold in Feingold-Qualität gezeigt (Obendrauf, 2006).

Silber-Ionen lassen die gleichen Experimente zu, liefern jedoch unter schulischen Bedingungen nicht die Schönheit und Vielfalt der Farben. Es scheitert beim Silber in der Regel an der Qualität des entionisierten Wassers. Durch den Einsatz von Wasser mit  $R \geq 18 \text{ M}\Omega$  (Millipore®-Qualität) erzielt man ästhetische Ergebnisse auch bei Silber-Kolloiden (Heinzerling, 2012). Didaktisch bedeuten diese Reaktionen grundlegende Redox-Reaktionen in sehr stark verdünnten Lösungen, somit verkörpern sie Basiskonzepte und das Teilchenprinzip.

### 3.5 Wissenschaftliche Bedeutung von Gold- und Silber-Nanopartikeln

Sehr lange bekannt ist in der Schulliteratur die Herstellung von elementarem Schwefel als Kolloid. Er wird in der Kosmetik und Körperpflege eingesetzt. Experimente zu Gold- und Silber-Nanopartikeln in der Schule wurden erst in den letzten 10 Jahren bekannt (s.o.). Inzwischen ist es möglich, Gold-Nanopartikel in jeder gewünschten Form herzustellen (Daniel & Astruc, 2004).

In einem Review-Bericht wurde die Bedeutung der Gold-Nanopartikel in Biologie und Medizin referiert (Giljohann et al., 2010). Für diese Zwecke werden die Gold-Nanopartikel bei der Synthese an der Oberfläche mit Liganden modifiziert und damit funktionalisiert. Zu den wichtigsten Modifikationen und ihren Auswirkungen zählen:

- Citrat, Transferrin, CTAB (Cetyltrimethylammoniumbromid): Ermöglichen die Aufnahme in Zellen
- Amine über Thiole (Brust-Schiffrin-Methode)(Brust, Walker, Bethell, Schiffrin & Whyman, 1994): Gen-Transfektion, Antivirale Aktivität, Wirkstofftransport, Oligonucleotid-Transfektion

- Oligonucleotid: Antisense-Genregulation, mRNA-Nachweis, Detektion niedermolekularer Verbindungen, RNA-Interferenz, Krebszellenerkennung
- Peptid: Kerntranslokation, Antisense-Genregulation
- Antikörper: Bildgebung, Photothermische Therapie
- Lipid: Bildgebung, Cholesterinbindung

Bekannt ist einem breiten Publikum der Schwangerschaftstest. In der Entwicklung sind Cytostatika (Havel et al., 2009). Der große Vorteil des Einsatzes von Gold-Nanopartikeln ist deren Biokompatibilität.

Die biozide Wirkung von Silber-Ionen ist seit langem bekannt. Silber-Nanopartikel setzen in feuchter Umgebung in Anwesenheit von Luftsauerstoff Silber-Ionen frei. Entsprechende Katheter und Schläuche wurden bereits vor mehr als 10 Jahren in der Urologie und der Kinderklinik in Erlangen zusammen mit Freiburger Forschern entwickelt und heute erfolgreich vermarktet (Samuel & Guggenbichler, 2004). Die Anwendungen in der Medizin sind inzwischen so breit (Furno et al., 2004), dass auch schon über mögliche Resistenzen diskutiert wird (Chopra, 2007).

Im Konsumentenbereich gibt es es entsprechend ausgestattete Kleidung, um Geruchsbildung zu verhindern. Der Einsatz in der Körperpflege geschieht über die Dotierung von Antitranspiranzen (Heinzerling, 2011). Der Anteil dieser Silber-Nanopartikel am gesamten Silberverbrauch ist inzwischen in der EU beachtlich, so dass bereits Auswirkungen auf die Abwasserbehandlung diskutiert werden (Blaser, Scheringer, Macleod & Hungerbühler, 2008). Die Autoren geben allerdings Entwarnung.

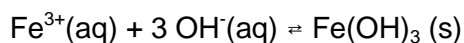
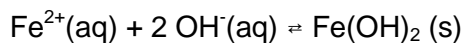
Durch Oberflächenplasmonenresonanz (**S**(urface) **P**(lasmonic) **R**(esonance)) sind Silber-Nanopartikel farbig – in der Regel gelb (Mock et al. 2002). Das erlaubt ihren Einsatz in der Biosensorik (Haes & Van Duyne, 2002).

### 3.6 Säure-Base-Reaktionen auf der Nanoskala

Ostwald beschreibt in seinem Praktikumsbuch verschiedene Experimente zur Bildung von Hydroxid-Solen (Ostwald, 1943), eines davon im Zusammenhang mit der erstmaligen Verwendung des Begriffes Kolloide durch Graham (Graham, 1861). Die Reaktionen sind als klassische Säure Base-Reaktionen nach Brønsted teilweise aus dem analytischen Trennungsgang bekannt: Eisen(III)- bzw. Aluminium-Ionen reagieren bis zur Auflösung des Hydroxid-Niederschlags mit basischen Reagenzien (Schweda, 2012).

Ein weiteres klassisches Beispiel aus der Schulchemie ist die Reaktion von Ammoniak-Dämpfen mit gasförmigem Hydrogenchlorid (Salzsäure) unter Bildung von festem Ammoniumchlorid. Hier lassen sich die nanoskaligen Partikel über den Faraday-Tyndall-Effekt mit dem Laserpointer nachweisen. Dieser zunächst von Faraday (Faraday, 1847) entdeckte Effekt visualisiert die Streuung an kleinsten Teilchen in Dispersionen. Tyndall entdeckte später bei der Erforschung von Wolken zusätzlich die dabei auftretende Polarisierung des Lichtes (Tyndall, 1868), die sich heute sehr gut mit dem Laserpointer zeigen lässt.

Eine große Bedeutung in Technik und Medizin hat das auf einer Säure-Base-Reaktion nach Brønsted basierende Ferrofluid. Es reagieren stöchiometrische Gemische von Eisen(III)- und Eisen(II)-chlorid mit Basen zu Eisen(II,III)-oxid:



In der Makroskala wäre es das Erz Magnetit – dieses Erz wird in der Schulchemie bei der Technologie der Eisenherstellung im Hochofen behandelt. Auf der Nanoskala erhält man 10 nm große Partikel mit superparamagnetischen Eigenschaften: Sie werden erst unter dem Einfluss eines magnetischen Feldes selber magnetisch.

Sowohl in der Nanobox als auch in der Fachliteratur finden sich Vorschriften zur Herstellung dieses Stoffgemisches aus Eisen(II,III)-oxid und Benzin (Berger et al., 1999).

Für Ferrofluid gibt es bereits Anwendungen als Schmiermittel in der Weltraumtechnik sowie als Kühlmittel in Hochleistungslautsprechern (Odenthal, 2001). In den USA sind Geldscheine zwecks Fälschungssicherung mit Ferrofluid bedruckt.

Bedeutsame Anwendungen in der Medizin ergeben sich durch die Möglichkeit, an Ferrofluid Eiweißkörper und Medikamente anzuheften. Am INM Saarbrücken wurde für die Firma MagForce AG ein mit Eiweißkörpern dotiertes Ferrofluid entwickelt, das an Krebszellen andocken kann. Die Krebszellen werden im elektromagnetischen Wechselfeld erhitzt und sterben dann ab. Diese Therapie wurde inzwischen in Europa zugelassen und es werden in Deutschland an sechs Universitätskliniken Patienten damit erfolgreich behandelt. Neben Glioblastomen werden inzwischen auch Prostata-, Speiseröhren-, Pankreas- und andere Krebsarten behandelt (URL MagForce AG – NanoTherm® Therapie, o. J.), (Jordan, Maier-Hauff, Wust, Rau & Johannsen, 2007). Das Ferrofluid wird später vom Körper über den Eisenstoffwechsel ausgeschieden.

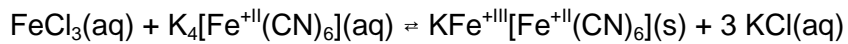
An der Hals-Nasen-Ohren-Klinik des Universitätsklinikums Erlangen wird von der **S**(ektion für) **E**(xperimentelle) **O**(nkologie und) **N**(anomedizin) unter Alexiou intensiv an einer Krebstherapie mit dotiertem Ferrofluid geforscht. Cytostatica erreichen die Krebszellen bei herkömmlicher Therapie nur zu ca. 2%, bei dieser Therapie zu über 50% (Lyer et al., 2015). Das mit Cytostatika dotierte Ferrofluid wird über eine Arterie eingeführt und mithilfe eines starken Magneten zum Krebsherd transportiert (drug targeting). Im Tierversuch mit Knochenkrebs war diese im Exzellenzcluster verortete Gruppe bisher sehr erfolgreich.

Aufgrund seiner superparamagnetischen Eigenschaften liegt der Einsatz von Ferrofluid bei dem bildgebenden Verfahren MRT in der Medizin nahe (Lee et al., 2015). Neben diesen ausgesprochen friedlichen Technologien spielt Ferrofluid auch im militärischen Bereich eine Rolle: bei der Entwicklung Radar absorbierender Materialien (Stealth-Technologie) (Vinoy & Jha, 1995).

### **3.7 Komplex-Reaktionen**

Ostwald führte bei seinen Vorträgen in den USA stets ein eindrucksvolles Experiment vor:

Nach der Reaktion von gesättigten Lösungen von Eisen(III)chlorid mit Kalium-hexacyanidoferrat(II) bildete sich in einem großen Becher ein Gel aus dem Komplex Berliner Blau (engl. Prussian Blue) (Ostwald, 1944):



Er entnahm diesem Gel eine kleine Probe und verdünnte sie mit viel Wasser. Mithilfe des Faraday-Tyndall-Effekts konnte er den Teilchencharakter des Berliner Blau nachweisen – in dem Sol liegt ein Kolloid bzw. Nanopartikel vor. Dieses Experiment kann als Modell-Experiment für das Sol-Gel-Verfahren heran gezogen werden.

Leider kommen die Komplexbildungs-Reaktionen nicht im bayerischen Gymnasiallehrplan vor.

Diese Nanopartikel werden mit Gadolinium(III)- und Mangan(II)-Ionen dotiert und kommen so in bildgebenden Verfahren zum Einsatz und können darüber hinaus biofunktionalisiert werden (Vojitech, Cano-Mejia, Dumont, Size & Fernandes, 2015).

### 3.8 Das Sol-Gel-Verfahren

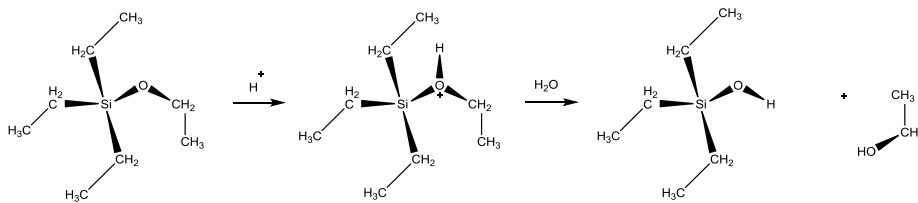
Das Sol-Gel-Verfahren basiert auf einer Polykondensationsreaktion auf der Basis von Kieselsäure- oder anderen anorganischen Estern. Auch hier ist didaktisch kein grundlegendes Neuland zu betreten, sondern es können Grundreaktionen der organischen Chemie transferiert werden. Die klassische Schulchemie erläutert die Grenze zwischen organischer und anorganischer Chemie am Beispiel des Kohlenstoffs und Siliziums. Die Denkweise ist seit dem Aufkommen der Metallorganik überholt und die Bezeichnungen tradiert. Tatsächlich unterscheidet sich die Reaktionsfähigkeit nur aufgrund der Bindungsverhältnisse. So gibt es keinen didaktischen Grund, in der Schule beim Thema Organische Chemie nicht auch einen Einstieg in die Siliziumchemie zu wagen. Mit Unterstützung der WACKER AG wurde inzwischen ein Schulkoffer dazu entwickelt (Krees, 2012).

Siliziumhalogenide – namentlich die Chloride - sind reaktionsfähiger als die entsprechenden Kohlenstoffverbindungen. Substituiert man die Halogene durch Alkoxide, so erhält man die Ester der Kieselsäure und die unterliegen gleichen Reaktionen wie die Carbonsäure-Ester. Diese Erkenntnis ist die Grundlage des Sol-Gel-Verfahrens: Durch saure Hydrolyse entstehen durch die Polykondensation der Kieselsäure glasartige Verbindungen (Schmidt, 2002).

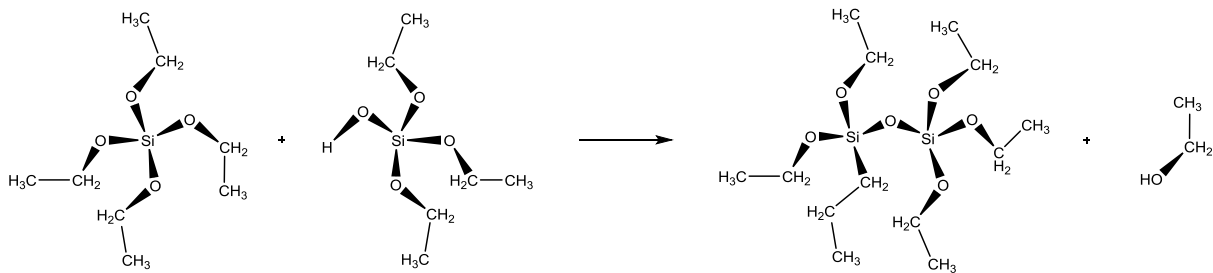


**Abb. 5:** Saure Hydrolyse des Kieselsäureesters mit anschließender Polykondensation (Aus: Schmidt, 2002)

Die saure Hydrolyse führt im Primärschritt zur Protonierung der OR-Gruppe ( $\text{R}=\text{C}_2\text{H}_5$ ) mit anschließender Alkoholabspaltung:



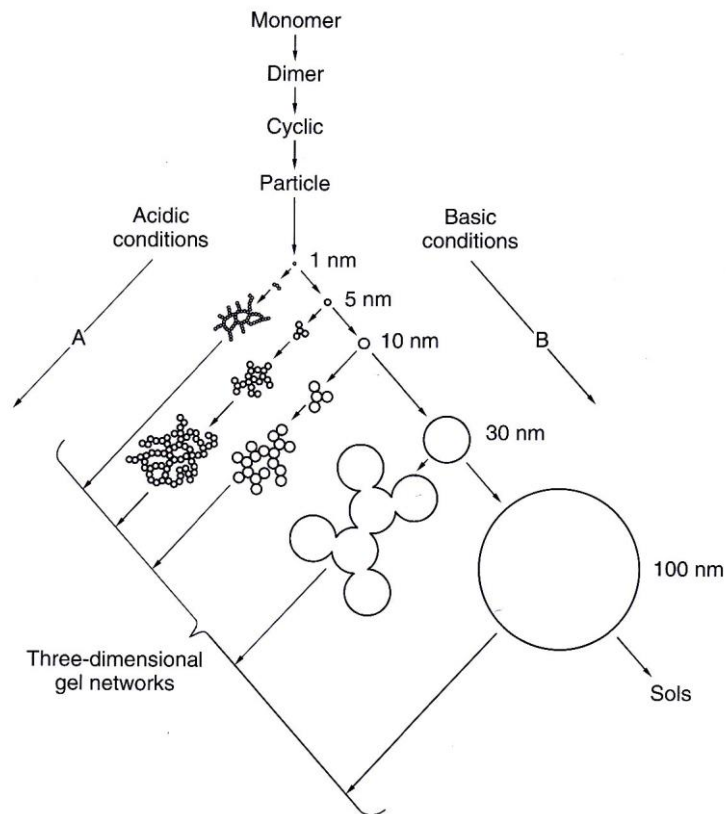
Dies führt zu weiteren elementaren Schritten wie bei einer entsprechenden Kondensationsreaktion:



In weiteren Elementarschritten können sich Ketten, zweidimensionale und dreidimensionale Netzwerke bilden. All diese Schritte werden im herkömmlichen Chemieunterricht behandelt und sind didaktisch und methodisch ausdiskutiert.

Es bilden sich schlussendlich dreidimensionale Knäuels von Si-O-Si-Brücken mit freien OH-Gruppen. Diese Knäuelbildung beruht auf den Bindungswinkeln und der freien Drehbarkeit der Einfachbindungen. Dieser Mechanismus ist von der Bildung von Makromolekülen aus Alkenen bekannt und auch Gegenstand der Schulchemie. In terminalen Schritten bleiben freie OH-Gruppen am Makromolekül.

Die auch mögliche alkalische Hydrolyse (Stöber-Verfahren (Stöber, Fink & Bohn, 1968)) führt dagegen zu sphärischen  $\text{SiO}_2$ -Partikeln.

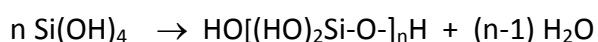


**Abb. 6:** Bildung von Kieselsäure-Gelen in Abhängigkeit vom Milieu (Reproduktion aus (Iler, 1979) mit Genehmigung von John Wiley & Sons, Inc.)

Das Verfahren der sauren Hydrolyse kann sehr elegant in Unterrichtseinheiten zur sauren Esterhydrolyse und zu den Polyreaktionen eingebaut werden:

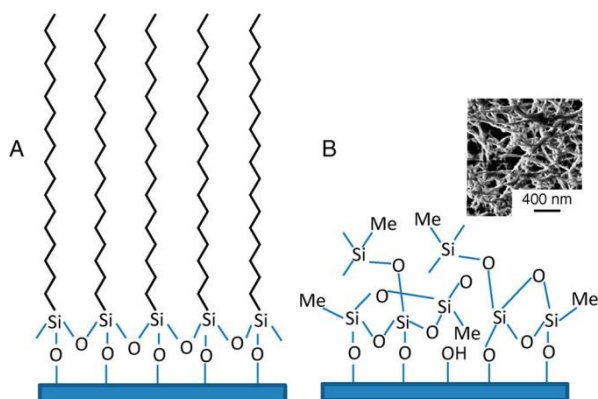
Im Jahrgang 10 wird im Lernbereich 4 (Donator-Akzeptor-Konzept und Reversibilität bei Nucleophil-Elektrophil-Reaktionen) die säurekatalysierte Veresterung experimentell und als Mechanismus abgehandelt. Dieses ist ein reversibler Prozess, der im Jahrgang 11 im Lernbereich 5 (Chemisches Gleichgewicht – reversible Reaktion und dynamisches Gleichgewicht) verortet ist. Diese Inhalte lassen sich auf die Kieselsäure und deren Ester transferieren.

Im Jahrgang 12 soll im Lernbereich 3.2 (Synthetische Makromoleküle) bei den Kompetenzerwartungen das Konzept der Nucleophil-Elektrophil-Reaktion auf die Polykondensation angewendet werden. Das kann an dieser Stelle auf die Polykondensation der Kieselsäure transferiert werden:



Die aus dem Glas ragenden reaktiven OH-Gruppen kommen bei allen keramischen Materialien auf der Basis von Siliziumdioxid so vor (Steine, Keramik, Beton). Reaktionen mit OH-Gruppen sind Grundreaktionen im gymnasialen Lehrplan im Jahrgang 10 bei den Elektrophil-Nucleophil-Reaktionen (Ester-, Etherbildung). Durch Reaktionen mit geeigneten Partnern lassen sich nach dem Struktur-Eigenschafts-Prinzip Oberflächen so funktionalisieren (Hydrophobie, Hydrophilie, Oleophobie). Als Reaktionspartner für die Hydroxyl-Gruppen dienen in der Regel Chlorsilane mit funktionalisierenden Liganden (Neouze & Schubert, 2008). Die Liganden sind nach dem Struktur-Eigenschafts-Prinzip polar, unpolar oder extrem unpolar.

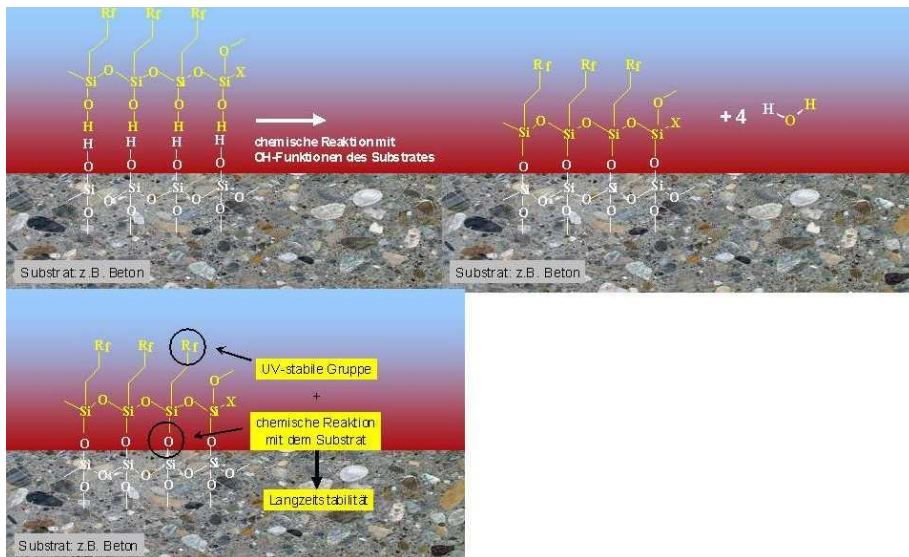
Als Beispiel seien Trichlorooctadecylsilan und Trichlormethylsilan genannt: Das langkettige Alkylsilan (A) bildet lange parallele Ketten, während das Trichlormethylsilan (B) zu Vernetzungen führt. Das eingblendete Bild zeigt die vernetzte Oberfläche als TEM-Aufnahme:



**Abb. 7:** Funktionalisierung mit Chlorsilanen: A: Trichlorooctadecylsilan, B: Trichlormethylsilan; Einblendung TEM-Aufnahme (Abdruck mit Erlaubnis aus (Wong & Yu, 2013) ©2013 American Chemical Society)

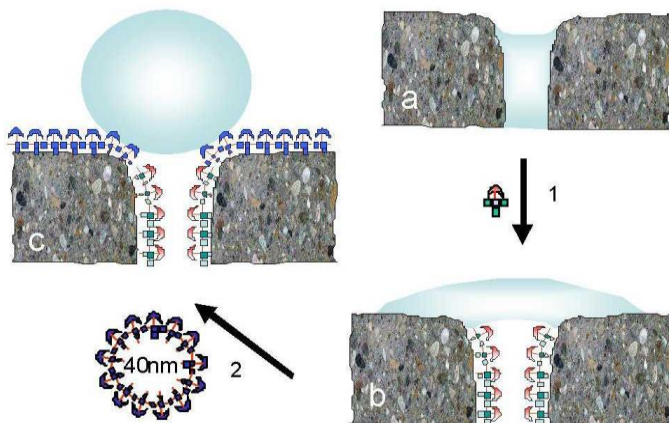
Das von Evonik<sup>®</sup> entwickelte Additiv Protectosil<sup>®</sup> auf der Basis von Silanen wurde in der didaktischen Literatur bereits beschrieben (Standke, 2006).





**Abb. 8:** Reaktion der organofunktionellen Silane mit einer Betonoberfläche (Aus: Standke, 2006)

Es verhindert Betonkorrosion und verleiht der Oberfläche Easy-to-Clean (E2C)-Eigenschaften. Die Nanopartikel reagieren mit der Betonoberfläche (a - b), verhindern die Benetzung mit Wasser (b,c) und erlauben – für die Verhinderung der Betonkorrosion besonders wichtig – die Wasserdampfdiffusion:



**Abb. 9:** Wirkung der Betonversiegelung (Aus: Standke, 2006)

Dieses Verfahren ist heute Standard bei Betonbauten.

### 3.9 Erläuterung der didaktischen Konzeption zur Nanotechnologie

Die grundlegende didaktische Begründung erfolgt nach dem Konzept der didaktischen Integration in Verbindung mit curricularer Innovation (Tausch, 2000). Tausch bezieht sich auf einen Beitrag von Ellis (Ellis et al., 2001), in dem eine technisch-wissenschaftliche Innovation über Kernprinzipien der Chemie in das Curriculum eingeführt werden soll. Der gleiche Autor hat das kurz darauf in einem Kommentar anlässlich seiner Ernennung zum Direktor der National Science Foundation (USA) unter dem Titel ‚Real-Time‘ Chemistry and Chemical Education‘ vertieft (Ellis, 2002).

Das Konzept begründet sich in der Fachsystematik der Chemie und verknüpft diese mit grundlegenden didaktischen Prinzipien (Materialien, Methoden, Medien). Durch die Auswahl von wissenschaftlich aktuellen Themen liegt hier die curriculare Innovation vor. Bei Tausch wurden die Schwerpunkte in den angeregten Zustand als Grundlage moderner photochemischer Prozesse gelegt. In einer neueren Publikation legt er die Historie der unter dem Konstruktivismus subsumierten Konzepte wie Chemie im Kontext dar und zeigt auf, dass diese im Grund genommen fast 100 Jahre alt sind.

Die Einführung der Nanotechnologie in den Chemieunterricht stellt ebenfalls eine Innovation auf der Basis relativ einfacher Grundlagen aus dem ausgehenden 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts dar.

Durch die Arbeiten von Schmidt (s.o.) gelangte Europa und hier speziell Deutschland Ende des 20. Jahrhunderts an die Weltspitze und forderte damit Anstrengungen der USA und Japan sowie aufstrebender asiatischer Länder (Indien, China, Korea) heraus.

Schon früh begannen die USA diese Schlüsseltechnologie in die Schulen zu bringen:

Es wurde im Jahr 2000 von der Regierung dafür die nationale Nanoinitiative (NNI) gegründet mit dem Ziel, die Forschung zur Nanotechnologie zu koordinieren und sie von der Grundschule bis zur High School breit bekannt zu machen (URL National Nanotechnology Initiative, o. J.).

Diese Initiative ist mit einem Jahresbudget von 1,5 Mrd US\$ ausgestattet. Die Plattform stellt Lehrern und Schülern umfangreiche Materialien und Anregungen zur Verfügung. Davon ist man in Deutschland noch weit entfernt: Ein Verein ‚Nanotechnologie und Schule‘ löste sich 2008 wieder auf und verschmolz mit Science on Stage. Ansonsten gibt es atomisierte Initiativen wie z.B. die Nanoinitiative Bayern in Würzburg, die unter dem Dach der Initiative junger Forscher agiert (URL Initiative Junger Forscher Würzburg, o. J.).

Der Fonds der chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e.V. hat bereits 2005 kostenlos eine Nanobox an Lehrer und Schulen heraus gereicht (URL VCI Nanobox, o. J.). Diese wurde von der Eventagentur Flad & Flad Communication Group entwickelt. Das Experimentiermaterial besteht nur aus zwei Anschauungsbeispielen. Ansonsten wurden der Nanobox Folien und eine Begleitbroschüre und -CD beigelegt, die Versuchsvorschriften enthält.

Zu einem Nanoabgaskatalysator hat es in eine chemiedidaktische Dissertation gegeben (Daoutsali, 2011). In dem Zusammenhang wurden Fortbildungsveranstaltungen mit einem vorhandenen Nanokoffer abgehalten. Dieser Nanokoffer wurde ursprünglich 2005 in Saarbrücken von Kompetenzzentrum NanobioNet und dem CC Nanochemie als NanoToolBox konzipiert und wird noch heute als Experimentierkoffer ‚Neue Materialien‘ von Conatex vertrieben (URL Experimentierkoffer Neue Materialien, o. J.). Er bietet eine relativ große Bandbreite an Anwendungsexperimenten, nicht jedoch deren Grundlagen. Ein weiterer Koffer ‚Learning Nano‘ wurde im Auftrag von Hessen-Nanotech 2008 bereits in Marburg in Zusammenarbeit mit der Eventagentur Flad & Flad Communication Group aus Mitteln der Europäischen Union entwickelt und an hessische Schulen zur Erprobung übergeben (URL Experimentierkoffer Learning Nano, o. J.).

Ab 2008 wurden federführend von Physikern im Rahmen des Projektes Wege in die Naturwissenschaften (WIN) an der Universität Ulm mit Unterstützung der Robert-Bosch-Stiftung Experimente entwickelt und heute von Fa. Hedinger als Experimentierset vertrieben (URL Experimentierset EWU Ulm, o. J.).

Mit didaktischen Fragen der chemischen Nanotechnologie und deren experimenteller Erschließung beschäftigen sich derzeit die Arbeitsgruppen von Menthe (Menthe, Düker, Heller & Hönke, 2015) und Waitz (Waitz, Dege & Wilke, 2015). Menthe betreibt in Hamburg auch ein entsprechendes Schülerlabor.

Im bayerischen Lehrplan für das Gymnasium lassen sich die Reaktionen der chemischen Nanotechnologie ganz überwiegend bei den Donator-Akzeptor-Reaktionen in E 10 verorten. Lediglich die Redoxpotenziale und Polyreaktionen werden erst in Q 12 behandelt (URL LehrplanPLUS - Gymnasium - Fachlehrpläne, 2016).

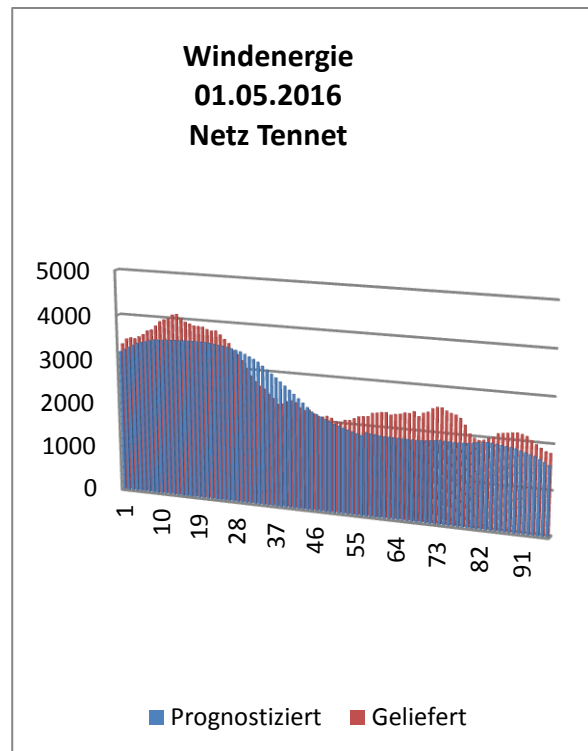
### **3.10 Die Energiewende als didaktische Herausforderung**

Man muss in der Erörterung der Energiewende die Verknüpfung mit dem Klimaschutz erörtern. Unter Klimaschutz versteht man die Reduzierung der Erderwärmung über eine CO<sub>2</sub>-Reduktion. Um dies zu verwirklichen, bedarf es der Decarbonisierung der Energiewirtschaft. Dies ist nur mit regenerativen Energien zu erzielen, da gleichzeitig der Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen wurde (Heinzerling & Kometz, 2014).

Die Ziele sind ambitioniert. Nach den Beschlüssen der Pariser Klimakonferenz soll die Erderwärmung auf deutlich weniger als 2°C reduziert werden (URL Paris Climate Change Conference, 2015).

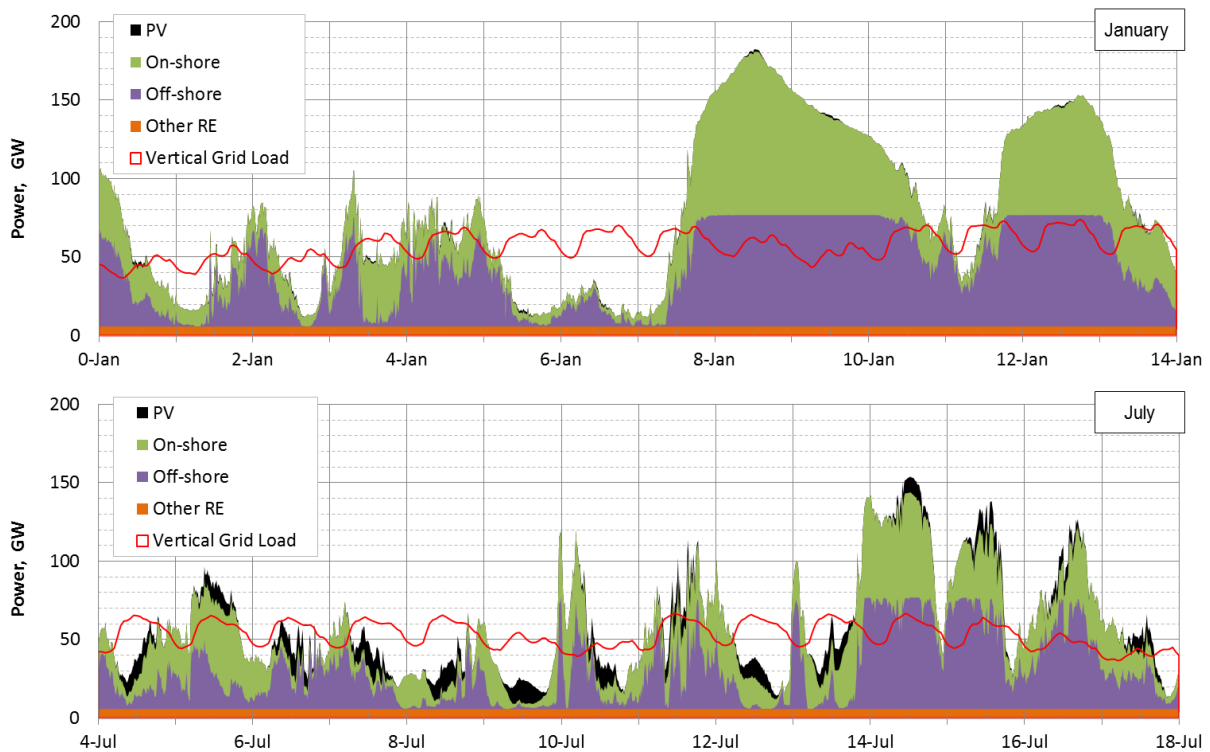
Unter regenerativen Energien werden alle Energieformen verstanden, die ausschließlich mit Sonne, Wind, Wasser und nachwachsenden Rohstoffen auskommen. Angestrebt wird in Deutschland ein Anteil von 80% bis zum Jahr 2050, erreicht wurde in 2015 bereits 33%. Viele Technologien sind noch nicht im Endstadium der Entwicklung, so dass noch erheblicher Forschungsbedarf existiert.

Über den Kompetenzbereich Kommunikation werden die grundlegenden Informationen zu den erneuerbaren Energien aus zugänglichen Quellen beschafft. Hier ist es besonders hilfreich, dass die vier Netzbetreiber (Tennet TSO, 50Hertz, Amprion, TransnetBE) nach dem Erneuerbare Energiengesetz (EEG) verpflichtet sind, ihre Daten laufend taggenau und viertelstündlich zu dokumentieren. Die Daten können exportiert und mit einer Tabellenkalkulation ausgewertet werden.



**Abb. 10:** Links: Regionale Aufteilung der Übertragungsnetze; Rechts: Momentaufnahme Windenergie

Die Auswertung ergibt bei der Versorgung mit regenerativer Energien Überschüsse und Defizite, die nur über noch zu entwickelnde Speichertechnologien beherrscht werden müssen.



**Abb. 11:** Vertikale Netzlast und Einspeisung aus erneuerbaren Energien bei starkem Ausbau der Windkraft . Rote Linie: Vertikale Lastkurve (Quelle: FZ Jülich aus (Grube, 2014))

Am Exzellenzcluster haben sich im Zusammenhang mit der Forschung zur Energiewende zwei Gebiete heraus kristallisiert:

- Organische Fotovoltaik
- Chemische Energiespeicherung

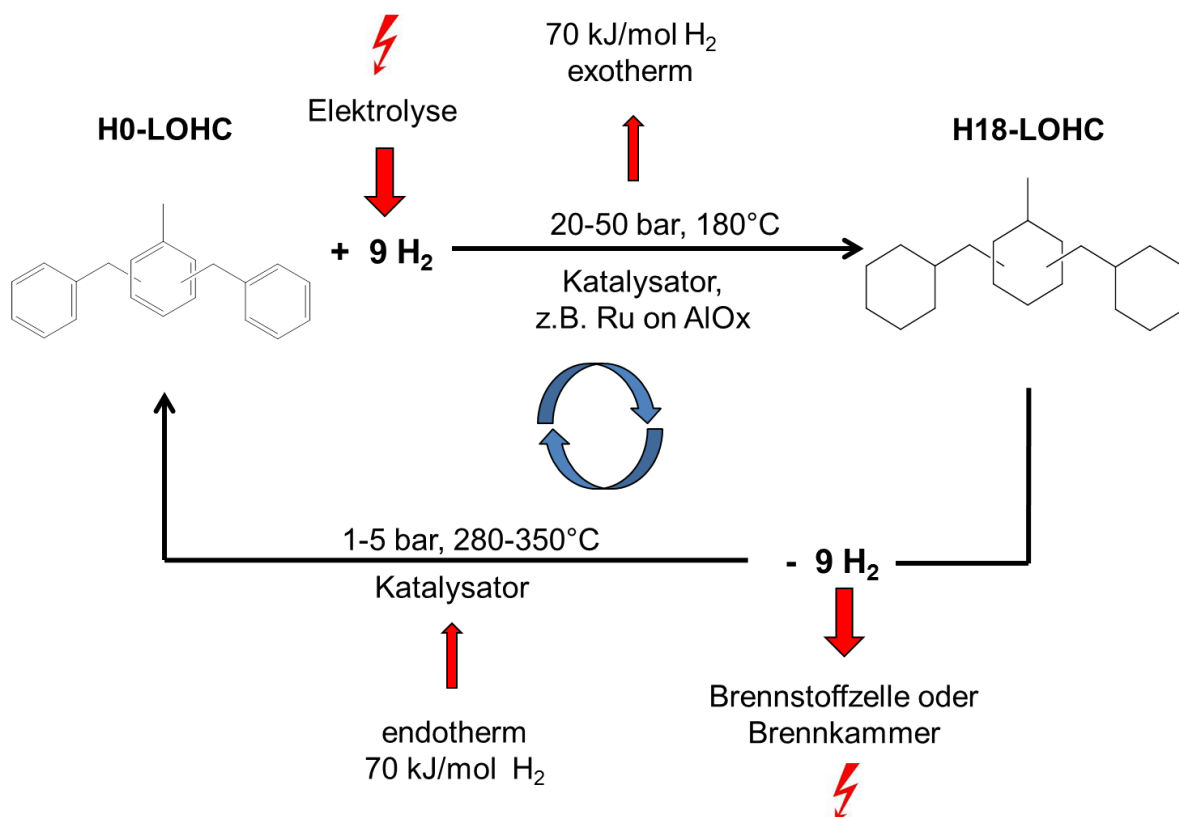
Auf beiden Forschungsfeldern ist Erlangen führend. Da ein chemisches Schülerlabor konzipiert werden sollte, wurde das zweite Gebiet mit sechs Stationen eingeplant.

Ein Höhepunkt der derzeitigen Energieforschung liegt in der Lösung des Speicherproblems. Regenerative Energien unterliegen schwankenden Angeboten bei kontinuierlicher Nachfrage. Es gibt dazu ein Positionspapier der Fachverbände aus 2015 (Ausfelder et al., 2015) . Darin werden die derzeit möglichen Strom- und Wärmespeicher vorgestellt. Ein chemischer Pfad ist das Power-to-X-Prinzip: Überschüssige regenerative Energie in Form von vorhandener Leistung (Power) wird verwendet, um über chemische Verfahren speicherfähige Stoffe

(X) zu generieren. Diese Speicher sollen dann bei Versorgungsdefiziten über verschiedene Umwandlungen wieder Energie bereit stellen. Ein Weg ist das Power-to-Gas-Prinzip: Aus regenerativer Energie werden umwandlungsfähige Gase – beispielweise Wasserstoff durch Wasserelektrolyse - hergestellt. Dieser Wasserstoff muss zwischengespeichert werden. Das kann auf physikalischem Wege durch Verflüssigung geschehen, aber auch auf chemischem Wege durch reversible Stoffumwandlung. Ein Pfad ist die Hydrierung und Dehydrierung geeigneter Trägerstoffe.

Am Institut für chemische Reaktionstechnik wird am **L**(iquid) **O**(rganic) **H**(ydrogen) **C**(arrier)-Konzept in Zusammenarbeit mit weiteren Forschergruppen intensiv gearbeitet (Brückner et al., 2014). Die Arbeiten sind so weit gediehen, dass eine Firma ausgegründet wurde, die – ausgestattet mit 100 Mio US\$ Startkapital – den scale-up bis zum Tonnen-Maßstab vorantreiben soll.

Die Grundlage des Konzeptes liegt in einer Hydrierung von aromatischen Systemen zur Energiespeicherung und der Dehydrierung zur Rückgewinnung der Energie in Form von Wasserstoff.



**Abb. 12:** LOHC-Konzept auf der Basis von Dibenzyltoluol (DBT) – Handelsname Marlotherm<sup>®</sup> SH (Aus: (Teichmann, Arlt & Wasserscheid, 2014) ©hydrogenious technologies GmbH)

Der eingesetzte chemische Wasserstoffspeicher liegt als Isomerengemisch vor und wird als industrieller Wärmespeicher Marlotherm<sup>®</sup> SH eingesetzt, ist bis 350°C zugelassen und toxikologisch weitgehend unproblematisch (Markiewicz et al., 2015), da er bei normalen Temperaturen praktisch keinen Dampfdruck besitzt (MSDS MARLOTHERM<sup>®</sup> SH, 2015). Die Chemie spielt sich in geschlossenen Systemen ab, so dass hier keine Gefahr von Lungenschädigungen ausgeht.

Das Produkt H18-LOHC bzw. H18-Marlotherm<sup>®</sup> SH (Systematischer Name mit o-Stellung: (2-Methylcyclohexan-1.3-diyl)bis(methylen))dicyclohexan) ist farblos und bei Raumtemperatur deutlich viskos. Zur besseren Handhabung wird es im Wasserbad auf 80°C erwärmt. Im Laufe der Reaktionszyklen kommt es zu Nebenreaktionen mit Luftresten und das Marlotherm<sup>®</sup> SH wird durch Chinonbildungen gelblich verfärbt. Letztere Reaktionen sind noch nicht erforscht.

Die Herstellung von Wasserstoff über Redox-Reaktionen gehört in Bayern zum Lehrkanon aller gymnasialen Schulformen des Jahrgangs 10:

Hier wird im Zusammenhang mit den Donator-Akzeptor-Reaktionen bei den Kompetenzerwartungen und Inhalten dazu ausdrücklich die Elektrolyse als erzwungene Reaktion genannt.

Die chemischen Reaktionen zur chemischen Wasserstoffspeicherung an Aromaten mit der zugehörigen Energetik gehören zum Grundkanon der organischen Chemie unter dem Kapitel ‚Kohlenwasserstoff – Energieträger und Reaktionspartner‘ in der gymnasialen Oberstufe im den Jahrgang 11 (URL LehrplanPLUS - Gymnasium - Fachlehrpläne, 2016). Es ist geplant, LOHC in die Sammlung von Materialien zur Referendarsausbildung zu übernehmen (ALP (Hrsg.), 2014).

Chemische Energiespeicher stellen für den Chemieunterricht keine neue didaktische Herausforderung dar. Im Fächerübergreif mit der Physik kann man die schulischen Ziele zur Behandlung der Energiewende recht einfach strukturieren. Im Physikunterricht kann über neue Problemstellungen die Begrenztheit der Kapazitäten physikalischer Speicher herausgearbeitet werden. Über den Kompetenzbereich Bewertung können mithilfe leicht zugänglicher Daten zur Netzlast und zur Kapazität von Pumpspeicherkraftwerken in Deutschland und Europa relativ einfach die Grenzen dieser Technologie selbstständig herausgearbeitet werden. Weitere Möglichkeiten noch unerschlossener physikalischer Speicher können durch Recherchen im Netz ermittelt werden. Die Erkenntnisgewinnung führt



schließlich zur theoretisch unbegrenzten Speichermöglichkeit über geeignete chemische Reaktionen.

Ausgehend von der elektromagnetischen Induktion kann die Windenergie ohne neue Inhalte subsumiert werden. In der Chemie wird man die Grundlagen der mechanischen Energieumwandlung von Windenergie zur elektrischen Energie nicht behandeln, dafür jedoch die Umwandlung von elektrischer in chemische Energie. Hier kommt die Elektrolyse als Voraussetzung der Wasserstoffspeicherung ins Spiel – mit dem Unterschied der Gewinnung der elektrischen Energie über regenerative Energiequellen wie Sonne (Photovoltaik) und Wind. Grundlagen zur Elektrolyse werden im Basiskonzept Chemische Reaktionen und dort bei den Redox-Reaktionen gelegt. Da jede Reaktion mit einer Energieumwandlung – Basiskonzept Energie - verbunden ist, liegt hier bei der Elektrolyse von Wasser eine erzwungene Redox-Reaktion unter Einsatz regenerativer Energie vor.

## **4 Forschungsdesign**

### **4.1 Forschungsfragen zum Projekt EAM Schülerlabor Chemie**

Der Ablauf des Schülerlabors gliedert sich in drei Abschnitte:

- Lehrerfortbildung vor einer Besuchsperiode
- Besuch der Schüler im Schülerlabor
- Strukturierter Studientag für besonders interessierte Schüler

Ziel des Projektes ist die Heranführung von Schülern an die Inhalte des Exzellenzclusters sowie der angebundenen materialwissenschaftlichen Studiengänge.

Daraus ergeben sich verschiedene Forschungsfragen, bestehend aus Kenntnistests und Akzeptanzstudien.

Die Lehrerfortbildung soll der Kompetenzerweiterung und dem Feedback zur Eignung der Experimente und des Konzeptes dienen.

Durch Befragung soll herausgefunden werden:

1. Sind Einführungsvortrag, Materialien und deren Bereitstellung sowie Experimente geeignet aus der Sicht der Lehrkräfte ?
2. Wie werden einzelne Aspekte des Konzeptes von den Lehrkräften beurteilt ?

3. Wie beurteilen die Lehrkräfte das geplante Gesamtkonzept im Vergleich zu einer Alternative ?

Bei den Schülerbefragungen sollen Kenntnisse vor und nach dem Besuch abgefragt und bewertet werden:

4. Welche Vorkenntnisse sind zur Abkürzung ‚nano‘ vorhanden ?
5. Welche Vorkenntnisse existieren zur Forschungshistorie der Nanotechnologie ?
6. Welche Vorstellungen haben Schüler über die Arbeitsplätze im Bereich der Nanotechnologie ?

Diese Fragen werden im Nachtest wiederholt.

Die Fragen zu Kenntnissen über die Studiengänge:

- 7.1 Kennen die Schüler die materialwissenschaftlichen Studiengänge an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen ?

werden im Nachtest dahin gehend modifiziert:

- 7.2 Besteht im Interesse am Kennenlernen der materialwissenschaftlichen Studiengänge an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen ?

Während des Praktikums werden die Angebote evaluiert:

8. Sind Einführungsvortrag, Materialien und deren Bereitstellung sowie Experimente geeignet aus der Sicht der Schüler ?
9. Wie werden einzelne Aspekte des Konzeptes von den Schülern beurteilt ?
10. Wie beurteilen die Schüler das geplante Gesamtkonzept im Vergleich zu einer Alternative ?

## 4.2 Das EAM Schülerlabor Chemie als Erweiterung des NESSI-Lab

Das NESSI-Lab (Nürnberg-Erlanger Schüler- und SchülerInnen-Labor) wurde in Anlehnung an das CHEMOL in Nürnberg ab 2005 aufgebaut und durch die Zusammenarbeit mit den Fachdidaktiken der Biologie und Physik thematisch erweitert (Kometz & Urbanger, 2009). Darüber hinaus wurden Angebote für die weiterführenden Schulen der Sekundarstufe I einschließlich der Förderschulen entwickelt (Schmitt-Sody, Urbanger & Kometz, 2015).

Das EAM Schülerlabor Chemie hat von Beginn an ein Konzept zur Heranführung von Schülern an die Studiengänge der Material- und Nanowissenschaften verfolgt und ist daher inhaltlich auf die Oberstufe der Gymnasien ausgerichtet.

In Bayern führen neben den klassischen Gymnasien auch die an den Berufsschulen angesiedelten Beruflichen Gymnasien über ein gestuftes System zur Allgemeinen Hochschulreife. Diese Schulform kennt noch die Jahrgangsstufe 13 und setzt einen Realschulabschluss oder gleichwertigen voraus.

Bei der schrittweisen Erprobung des Konzeptes wurden zunächst zwei Besuche einer Schule mit den Jahrgängen 10 (E10) und 11(Q11) ausgewertet. Es kamen in der folgenden Phase sowohl reine Chemie-Kurse, als auch Seminarfächer (W- und P-Seminare) und vereinzelt auch Kurse chemisches und biologisches Experimentieren.

In der letzten Erprobungsphase wurden gezielt naturwissenschaftlich-technische Gymnasien im Bezirk Mittelfranken angesprochen. Hier gelang es, fast alle Schulen zum Besuch mit Q11-Kursen und Seminaren zu bewegen. Vereinzelt gab es auch Kontakt zu Schulen aus anderen Bezirken.

In die Betreuung der Schülergruppen wurden Studenten der Nanotechnologie eingebunden, um das Konzept der Heranführung an die entsprechenden Studiengänge konsequent zu verfolgen.

Das NESSI-Lab ist in die Ausbildung der Lehrer eingebunden. Künftig soll das auch für das Lehramt an Gymnasien mit dem EAM Schülerlabor Chemie geschehen. Damit wird das Angebot um Inhalte der Gymnasialen Oberstufe erweitert. Da die Studenten lediglich für vier Stunden im EAM Schülerlabor ihre Übungen absolvieren, muss das Experimentalkonzept entsprechend adaptiert werden.

Im Sommer-Semester 2016 wurde eine erste Gruppe von neun Lehramtsstudenten in das EAM Schülerlabor Chemie eingebunden. Die Zufriedenheit war sehr groß: Die Gesamt-

beurteilung lag bei 1,4 auf einer Notenskala von 1 bis 6 und alle würden die Lehrveranstaltung weiterempfehlen.

## **5 Fachwissenschaftliche Herleitung des Experimentalkonzeptes**

### **5.1 Ansätze zur Umsetzung der Nanotechnologie in der Schule**

Die chemische Nanotechnologie weist auf eine lange Geschichte zurück. Sie begann im 19. Jahrhundert mit der Kolloidchemie. Die Größenordnungen wurden damals milli-mikro genannt und von einer Technologie im Sinne der technischen Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis war man sehr weit entfernt. Die Abkürzung nano ist noch nicht alt. Für Normen und Abkürzungen der Metrologie ist das Bureau International des Poids et Mesures in Paris zuständig. Innerhalb der SI-Einheiten wurde 1960 mit der Resolution 12 der **C**(onférence) **G**(énérale des )**P**(oids et) **M**(ésures) die Abkürzung als Multiplikator  $10^{-9}$  eingeführt (Bureau International des Poids et Mesures, 1960).

In der Schule wurde ein klassisches Experiment zur Herstellung von Kolloiden – die saure Redox-Disproportionierung von Thiosulfat-Ionen – lange unbewusst eingesetzt. Ansonsten wurde die Behandlung des Themas vernachlässigt (Theyßen & Lueken, 2002).

Mit dem Einsetzen der Diskussion um die Bedeutung der Nanotechnologie begannen Aktivitäten seitens von Fachverbänden, namentlich der Metallindustrie, des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft (BMBF) mit dem ‚Aktionsplan Nanotechnologie‘ (BMBF, 2015), des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) mit einem Positionspapier und des Verbandes der chemischen Industrie (VCI) . Ein Nanotruck wurde im Auftrag des BMBF bis Ende März 2015 auf die Reise geschickt und mit der Revision der Lehrpläne in den Ländern wurde das Thema ansatzweise in die Schulen gebracht.

Hier sollen einige Ansätze in den Lehrplänen der Bundesländer vorgestellt werden:

- **Baden-Württemberg:**

Im Lehrplan Chemie für Gymnasien tauchen im Kompetenzbereich Kommunikation und Wissenserwerb die Abhängigkeit der Eigenschaften von der Teilchengröße (Nanopartikel) auf. Die Schüler sollen in der Lage sein, die Dimensionen der Partikel zu klassifizieren und die Eigenschaften in Abhängigkeit zur Partikelgröße in

Korrelation zum Oberflächen-Volumen-Verhältnis zu erkennen (Kultusministerium BW (Hrsg.), 2016a).

Im Bildungsplan 2016 tauchen in Jahrgang 12 unter dem Oberthema Chemie in Wissenschaft, Forschung und Anwendung die Nanomaterialien auf (Kultusministerium BW (Hrsg.), 2016b).

- Berlin/Brandenburg:

Im Curriculum Chemie der Sekundarstufe I tauchen im Wahlbereich des Doppeljahrgangs 7/8 im Zusammenhang mit den Modifikationen des Kohlenstoffs die Fullerene als Beispiel für Nanotechnologie auf (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport (Hrsg.), 2006a). In der Physik wird im Wahlbereich ‚Technik im sozialen Wandel‘ sowie im Wahlpflichtbereich die Nanotechnologie als mögliches Thema genannt (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport (Hrsg.), 2006b).

Ab 2017 gelten die Lehrpläne für beide Bundesländer.

- Bremen und Hamburg

Hier taucht bei der Physik – ähnlich wie in Berlin – im Wahlbereich ‚Technik im sozialen Wandel‘ die Nanotechnologie auf. Es wird der Fächerübergreifend ausdrücklich betont (Landesinstitut für Schulen (Hrsg.), 2010).

In Hamburg können im Sekundarbereich II darüber hinaus im Fach Chemie als Beispiel für innovative Produkte die Synthese von Nanomaterialien behandelt werden

(Behörde für Schule und Berufsbildung (Hrsg.), 2009).

- Nordrhein-Westfalen

In den Lehrplänen für die Haut-, Real- und Gesamtschule tauchen in den Kernlehrplänen unter ‚Produkte der Chemie‘ Nanoteilchen und neue Werkstoffe auf (Ministerium für Schule und Weiterbildung (Hrsg.), 2014).

In der Gymnasialen Oberstufe findet man im Inhaltsfeld ‚Kohlenstoff und Gleichgewichtsreaktionen‘ die Nanochemie des Kohlenstoffs mit dem Kontext ‚Neue Materialien aus Kohlenstoff‘. Im Kompetenzbereich Fachwissen werden u.a.

Fullerene erwähnt und bei der Erkenntnisgewinnung sollen Atom- und Bindungsmodelle genutzt werden, um die Kohlenstoffmodifikationen zu beschreiben. Schließlich sollen im Kompetenzbereich ‚Kommunikation‘ diese Materialien vorgestellt und bei ‚Bewertung‘ an einem Beispiel Chancen und Risiken der Nanotechnologie erörtert werden (Ministerium für Schule und Weiterbildung, 2014).

Es wird eine Exkursion zum Nanotruck empfohlen – den es nicht mehr gibt.

- Rheinland-Pfalz

Im gemeinsamen Lehrplan für die Sekundarstufe I werden im Fach Chemie unter dem Aspekt ‚Mit Stoffen Zukunft gestalten - Vom Status quo zu den Herausforderungen der Zukunft‘ Nanomaterialien genannt und im Fach Physik unter dem Kontext ‚Physik und Industrie‘ die Nanoforschung erwähnt (Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur (Hrsg.), 2014).

Im Land Bayern gibt es in der Gymnasialen Oberstufe die W- und P-Seminare. Es ist bekannt, dass einige Schule hier Seminare zur Nanotechnologie anbieten. Insgesamt wird die Nanotechnologie in den MINT-Fächern eher versteckt als offensiv behandelt. Ähnlich ist die Situation bei den eingeführten Schulbüchern: Es wird nur in einem Werk auf die Nanotechnologie mit einem nanotypischen Experiment eingegangen (Tausch & von Wachtendonk, 2007).

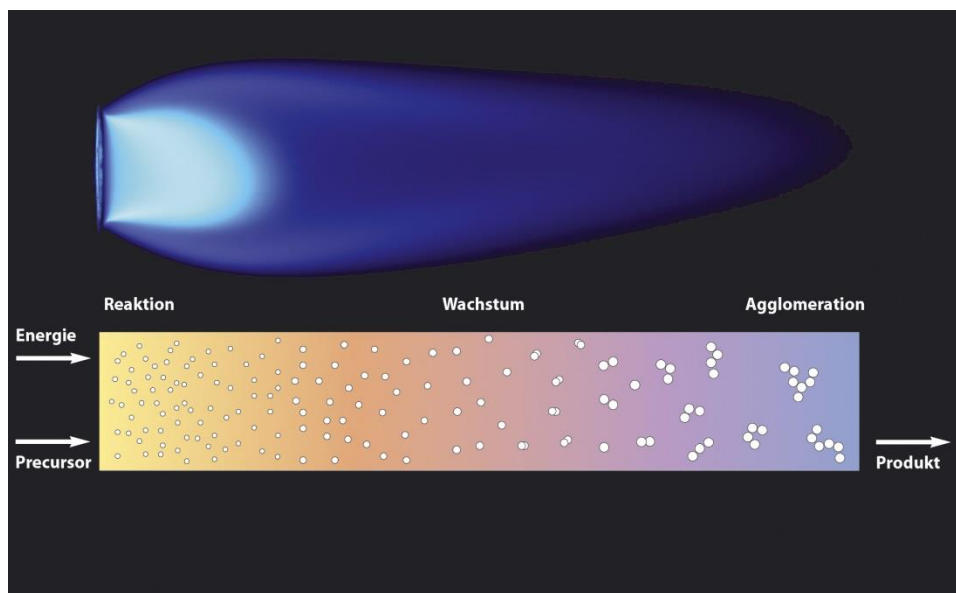
Sehr weit verbreitet ist die bereits erwähnte Nanobox des Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie. In dem Begleitheft werden in medialer Aufbereitung die fachwissenschaftlichen Grundlagen der Nanotechnologie dargestellt und didaktische Konzepte zu deren Umsetzung im Chemieunterricht aufgezeigt. Es beginnt mit den grundlegenden Konzepten der Nanotechnologie. Um Nanopartikel herzustellen, kann man das top-down- oder bottom-up-Verfahren anwenden.

Beim top-down-Verfahren werden Materialien mechanisch durch Kugelmühlen oder energetisch durch Ionenstrahlen, Laserabräson etc. so zerkleinert, dass sie nanoskalig vorliegen. Diese Verfahren wurden durch Taniguchi systematisch erfasst und 1974 auf einer Konferenz in Tokyo vorgestellt (Taniguchi, 1974). Dabei wurde erstmals in der Literatur der Begriff Nanotechnologie verwendet.

Diese Verfahren erfordern sehr aufwändige technisch-wissenschaftliche Geräte und lassen sich daher in der Schule nicht umsetzen – es sei denn, man zählt die mechanische Verkleinerung durch Mörsern dazu.

Das bottom-up-Verfahren stellt Nanopartikel von der molekularen Ebene ausgehend über sichtbare Cluster her. Hierzu zählen z.B. die Synthese von von Metall- und Nichtmetall-Kolloiden durch Redox-Reaktionen, die Gasphasen-Synthese und das Sol-Gel-Verfahren.

Die Bildung der Nanopartikel verläuft über die bereits bei Wilhelm Ostwald beschriebene Keimbildung (Nukleation), Reifung (Wachstum) und Aggregation (Ostwald, 1900). Die Gasphasen-Synthese wurde bereits in den 1930er Jahren für die Herstellung von Gasruß eingesetzt – man wusste allerdings noch nicht, dass im Ruß Nanopartikel vorliegen. Weiterhin werden im großen Maßstab pyrogene Kieselsäuren – Produktreihe AEROSIL<sup>®</sup> von Evonik – und Metall-Alkoxide nach diesem Verfahren hergestellt.



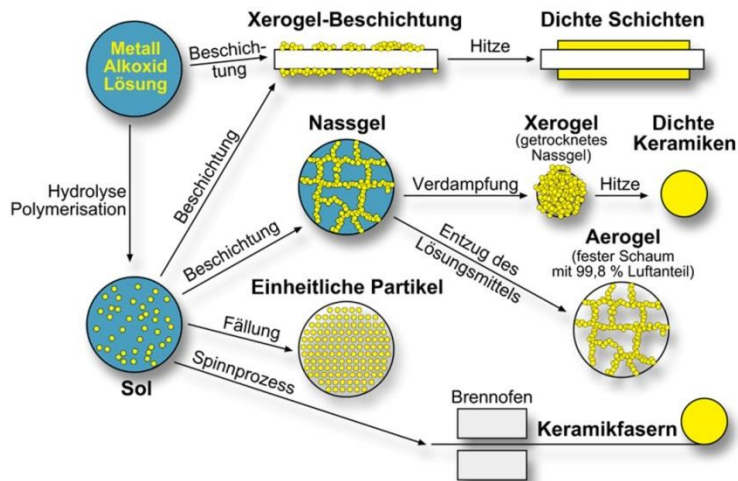
**Abb. 13:** Prinzip der Gasphasen-Synthese (Aus (Gutsch, Mühlenweg & Pridöhl, 2006) )

Modellhaft kann dieses Verfahren ohne Flamme mithilfe der Säure-Base-Reaktion von gasförmigem Hydrogenchlorid mit Ammoniak gezeigt werden – ein klassischer Inhalt der Schulchemie.

Die Herstellung von Metall-Kolloiden verläuft über Redox-Reaktionen. Aus der Schulchemie sind als Reduktionsmittel reduzierende Gase ( $H_2$ ,  $CO$ ) sowie Alkohole und Ascorbinsäure bekannt. Mit den in der Nanotechnologie verwendeten Reduktionsmitteln (z.B. Citrat-Ionen,

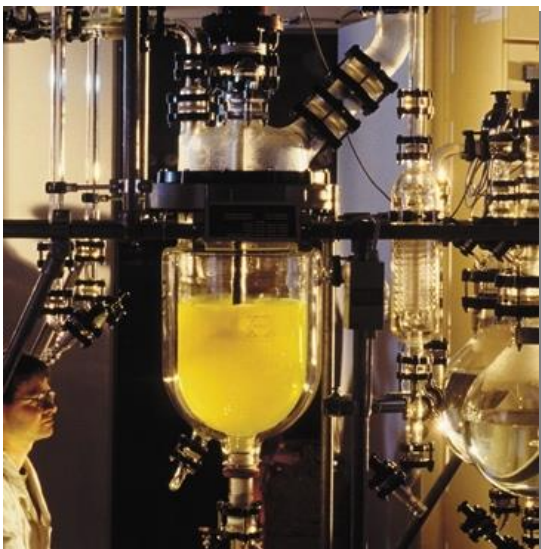
Borhydrid-Ionen) wird Neuland betreten. Die elektrochemische Herleitung gelingt im Falle des Citrats nur schwer, da man in der gängigen Literatur keine Reduktionspotenziale findet.

Das Sol-Gel-Verfahren erlaubt es, über Metall-Alkoxide als Precursoren eine große Vielfalt von Nanomaterialien herzustellen:



**Abb. 14:** Herstellung von Nanomaterialien über das Sol-Gel-Verfahren (Aus (VCI, 2015))

Da der Materialverbrauch beim Sol-Gel-Verfahren denkbar gering ist, kommen in der Industrie Reaktoren im Technikums-Maßstab zum Einsatz:



**Abb. 15:** Herstellung eines Sols für das Sol-Gel-Verfahren (Quelle: INM-GmbH)

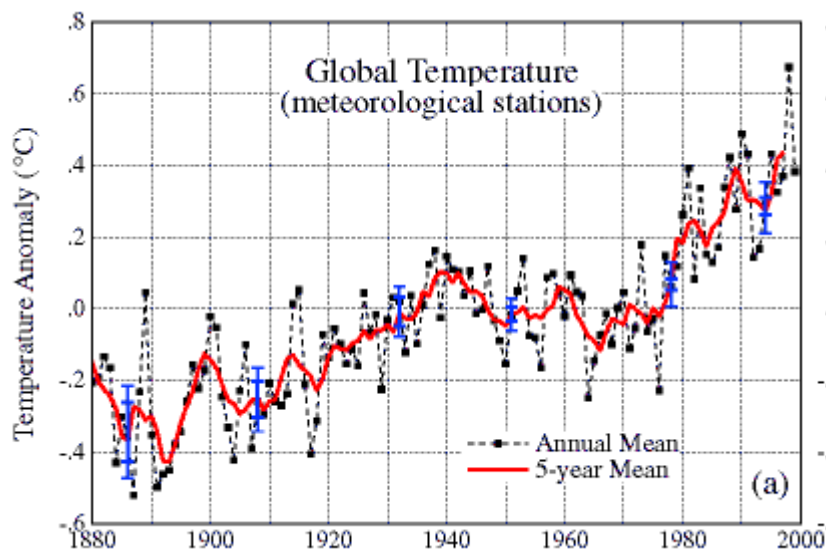
Die Herstellung eines Metall-Alkoxides gehört nicht zum klassischen Schulstoff, kann aber über analoge Reaktionen mit Alkali-Metallen mit Alkoholen transferiert werden. Die Reakt-



ionen können über das Basiskonzept Struktur-Eigenschaften - Reaktion von Metallen mit Wasser - hergeleitet werden.

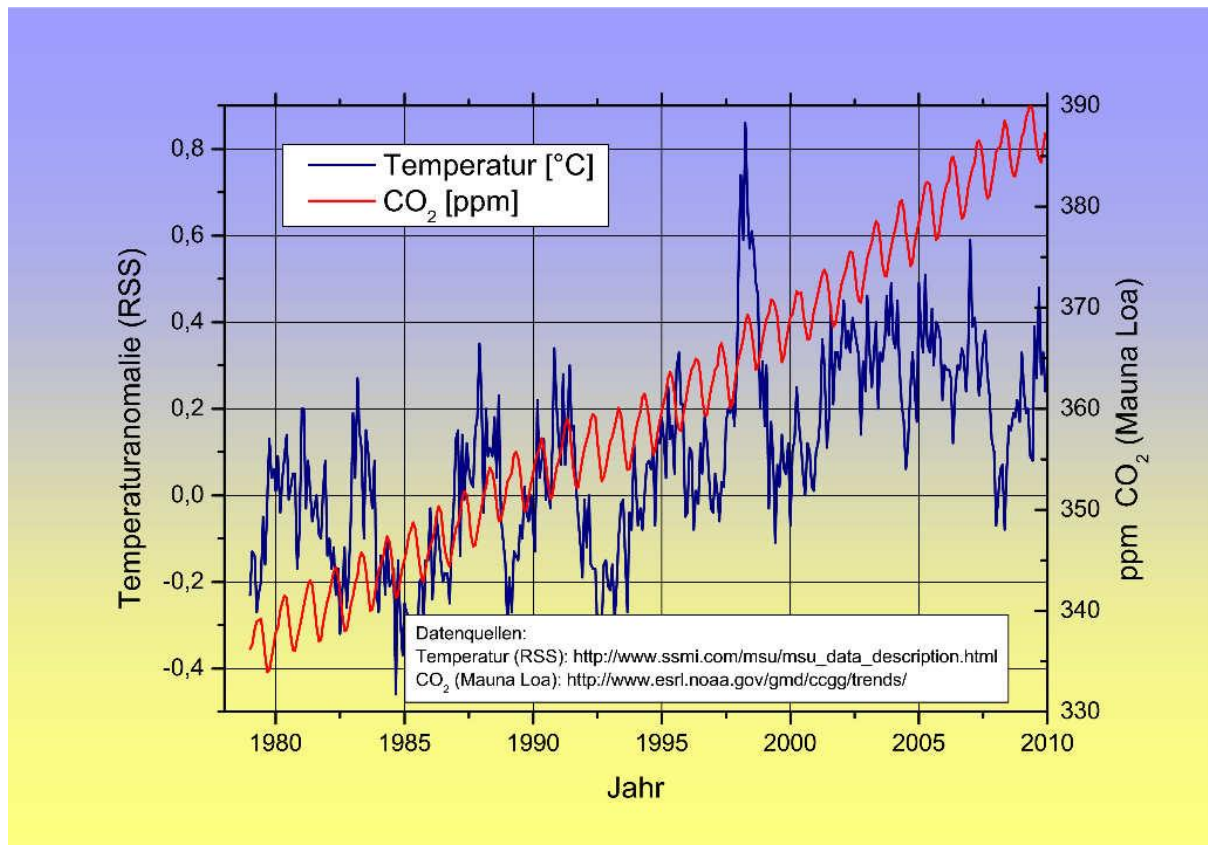
## 5.2 Energiewende als Herausforderung für das Schulcurriculum

Mit der Verkündung der Energiewende als Regierungsprogramm kam auf die Schulen deren curriculare Umsetzung als Herausforderung zu. Es waren nicht die physikalischen Inhalte, sondern der Sprung in noch nicht vorhandene oder ausgereifte Technologien, die ein Umdenken erforderlich machten. Moderne Technologien finden in der Regel nur mit erheblichen Verzögerungen Einzug in Lehrpläne und Schulbücher. Bei der Energiewende musste zunächst eine saubere Begriffstrennung geleistet werden. Schon lange wird der Klimawandel in den Fächern Geografie, Sozialkunde und den Naturwissenschaften in unterschiedlichen Altersstufen unterrichtlich behandelt. Hier kapriziert sich die Diskussion auf den seit Beginn des Industriezeitalters zu beobachtenden Anstieg des Kohlenstoffdioxids in der Atmosphäre verbunden mit steigenden Oberflächentemperaturen:



**Abb. 16:** Temperaturanomalien gegenüber im Zeitraum 1880-2000 (Aus (Hansen, Ruedy, Sato & Lo, 2010) mit Genehmigung von Wiley)

Je nach Datenquelle gibt es abweichende Darstellungen:



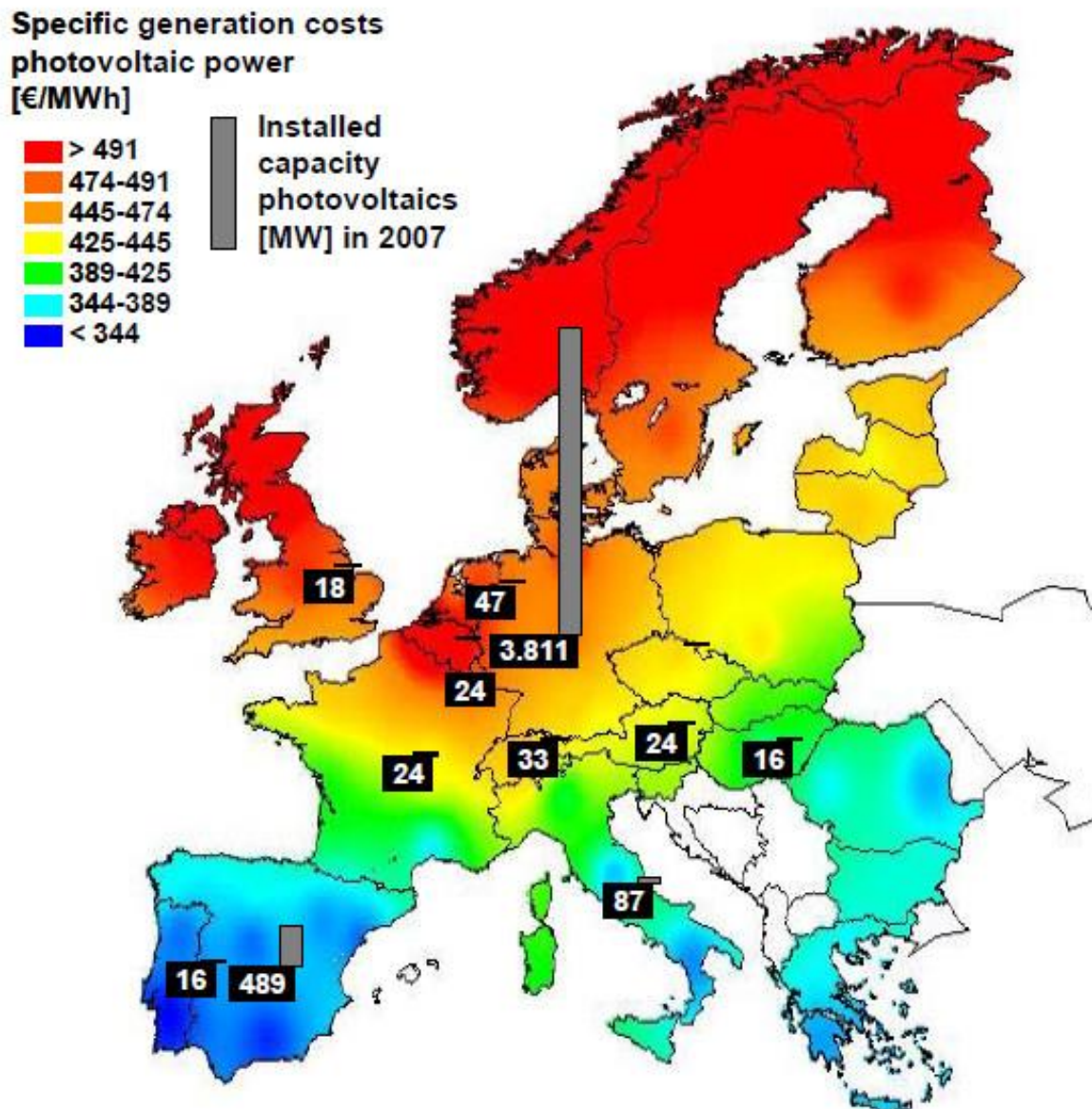
**Abb. 17:** Auftragung der Temperaturanomalien (Untere Troposphäre) gegen den Anstieg von CO<sub>2</sub> (Mauna Loa(Hawaii)) (Quellen mit Genehmigung: RSS (Remote Sensing Systems (USA)); Earth System Research Laboratory, National Ocean & Atmospheric Administration, Department of Commerce(USA))

Die Ausrufung der Energiewende durch die Bundesregierung geschah allerdings nicht im Kontext mit dem Klimawandel, sondern als Reaktion auf das Reaktorunglück in Fukushima (Japan) am 11. März 2011. Unmittelbar danach wurde die Laufzeitverlängerung für die Kernkraftwerke in Deutschland vorübergehend ausgesetzt und die sieben ältesten Kraftwerke sofort vom Netz genommen. Die Ethik-Kommision wurde beauftragt, Vorschläge für einen Ausstieg mit Augenmaß zu unterbreiten (Ethik-Kommision, 2011) und die Reaktorsicherheitskommission sollte ein Gutachten zum Zustand der deutschen Kraftwerke erstellen. Letzteres stellte dann im Mai 2011 an allen Reaktoren Sicherheitsmängel fest (RSK, 2011). Der Deutsche Bundestag beschloss danach am 30. Juni 2011 den Ausstieg aus der Kernenergie zum Jahre 2022 (Dt. Bundestag, 2015).

Einher mit diesen Beschlüssen ging ein Masterplan zur Entwicklung der regenerativen Energien (Bundesregierung, 2015). Diese Maßnahmen zusammen werden unter dem Begriff Energiewende subsumiert.

Die Herausforderung für die Schulen besteht im Kompetenzbereich Kommunikation im Zusammentragen der von unterschiedlichsten Quellen zur Verfügung stehenden Daten, im Kompetenzbereich Bewertung in deren Interpretation. Ohne einen Fächerübergreif lässt sich die Grundprobleme der Energiewende nicht seriös hinterfragen und vermitteln:

- Deutschland ist ganz überwiegend ein sonnenarmes Land

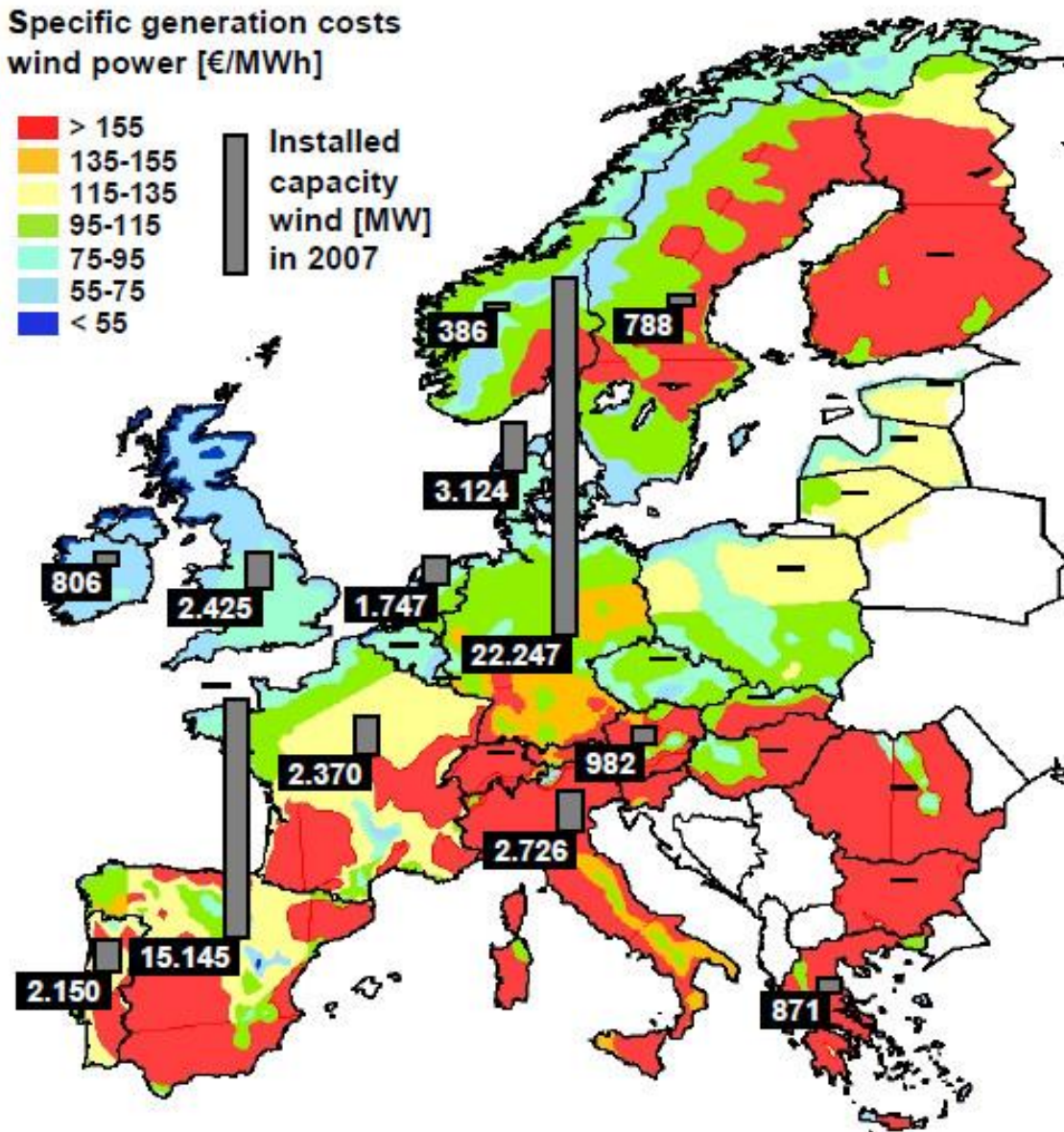


**Abb. 18:** Spezifische Erzeugungskosten für Strom aus Photovoltaik in Europa und installierte Kapazitäten in ausgewählten Ländern (Quelle: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln(EWI))

Das drückt sich in den spezifischen Kosten für die Stromerzeugung aus. Dennoch wird durch die Subventionspolitik die Photovoltaik massiv gefördert. Dies ist ein klassischer Fall für die

Kompetenzbereiche Kommunikation und Bewertung. Das Daten- und Zahlenmaterial kann recht gut recherchiert werden.

- Deutschland ist bis auf einige Küstenbereiche ein windarmes Land

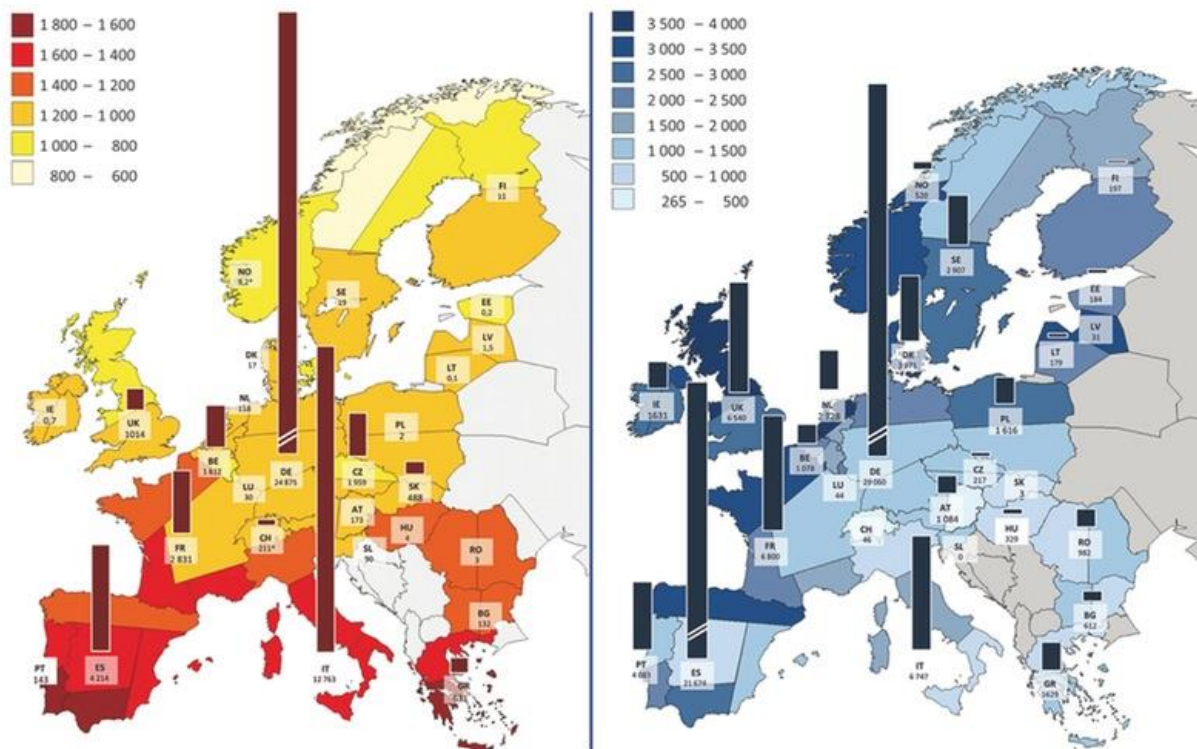


**Abb. 19:** Spezifische Kosten für die Stromerzeugung aus Windenergie (Quelle: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln(EWI))

Hier können weitere meteorologische Daten recherchiert werden und bei den Netzbetreibern der Ist-Zustand hinterfragt werden. Die Gestehungskosten von Strom aus On-Shore- und Off-Shore-Windenergie können im Kompetenzbereich Kommunikation durch Recherche ermittelt werden.



- In Relation zu den Volllaststunden bei der Photovoltaik und der Onshore-Windenergie hat Deutschland erhebliche Kapazitäten aufgebaut



**Abb. 20:** Photovoltaik-Volllaststunden bei optimaler Neigung sowie installierte Photovoltaik-Kapazitäten im Jahr 2011 in MW (linke Grafik); Volllaststunden für 3 MW-Onshore-Windkraftwerke sowie installierte Windkraft-Kapazitäten im Jahr 2011 in MW (rechte Grafik); Quelle: EWI (basierend auf Eurowind, EWEA, EurObserv'ER)

Hier kann die Auswirkung staatlicher Subventionen untersucht und deren Effizienz hinterfragt werden.

- Deutschland hat zu wenige physikalische Speicher

Die Daten für Pumpwasserspeicherkraftwerke sind weltweit zugänglich und können mit der Netzlast abgeglichen werden. Es zeigt sich eine technologische Lücke, die mit derzeit zugänglichen Technologien nicht geschlossen werden kann.

- Deutschland hat zu wenig Netzkapazität

Auch hier kann sehr gut recherchiert und bewertet werden. In dem Zusammenhang kann die Technologielücke beim Übergang von Durchleitungs- zu Verteilungsnetzen und weiter zu den intelligenten Netzen (Smart Grids) erarbeitet werden.

- Die deutsche Energiewirtschaft war auf die Energiewende nicht vorbereitet

Hier können aktuelle Probleme vom Übergang von der oligopolen zentralistischen zur dezentralen Energiewirtschaft mit recherchierten Daten thematisiert werden. Von daher ist die Energiewende in didaktischer Hinsicht keine neue Herausforderung, es müssen die Inhalte nur neu sortiert werden.

Im Fach Geografie sind diese Themen bereits in die didaktische Literatur eingegangen. Hoffmann (Hoffmann, 2014) hat einen Buchbeitrag der Energieökonomin Kemfert (Kemfert, 2013) aufgegriffen und den darin beschriebenen ‚Kampf um Strom‘ didaktisch und methodisch aufbereitet

Für den Experimentalunterricht bietet die Industrie unterschiedlichste und zum großen Teil hochpreisige Lehrmittel an. Wir haben uns am amerikanischen Markt orientiert und sind so zu günstigeren Lösungen gekommen (URL STEM Education focusing on Energy, o. J.). Weiter oben wurde bereits das Speicherproblem erörtert. Hier haben wir uns wegen der Ausrichtung des Exzellenzclusters auf eine Facette konzentriert: Die chemische Energiespeicherung mithilfe von Batterien und chemischer Wasserstoffspeicherung.

## **6 Entwicklung und Vorstellung von ausgewählten Experimenten**

### **6.1 Konzeption der Arbeitsblätter, der Tischvorlagen und des Lehrer-Manuals**

Das Arbeitsblatt für die Schüler wurde gegenüber dem üblichen vertikalen Aufbau aus fachdidaktischen Gründen modifiziert. Die beiden horizontalen Säulen:

- Geräte und Chemikalien
- Versuch

wurden im linken Feld so angeordnet, weil die Schüler am Arbeitsplatz bereits den kompletten Aufbau mit Geräten und Chemikalien vorfinden und durch die einspaltige Versuchsbeschreibung auf der rechten Seite sich auf die schrittweise Abarbeitung konzentrieren können. So konnte auf einem Blatt zusätzlich auch die visuelle Darstellung des Versuchsaufbaus übersichtlich dargestellt werden.

Auf der zweiten und ggfs. folgenden Seite wurden ergänzende Informationen, die Notizen zu Beobachtungen und die Fragen zum Versuch untergebracht. Während des Versuchs hat der Schüler beide Seiten aufgeschlagen.

Alle Arbeitsblätter in der Schülerbroschüre sind einheitlich gestaltet. Dem Themenbereich Nano wurde die Farbe Blau, dem Themenbereich Energie die Farbe Gelb zugeordnet. Als Ergänzung zu den Informationen wurden für einzelne Stationen Tischvorlagen erarbeitet mit dem Ziel der wissenschaftlichen Vertiefung und der Lieferung von noch mehr Hintergrundinformationen.

Ergänzend finden die Schüler an den Stationen Tischvorlagen vor:

- Die Versuchsbeschreibungen wurden durch Verdünnungsvorschriften ergänzt;
- Zu ausgewählten Nanomaterialien (Ferrofluid, Gold, TEOS) wurden ergänzende Informationen geliefert.



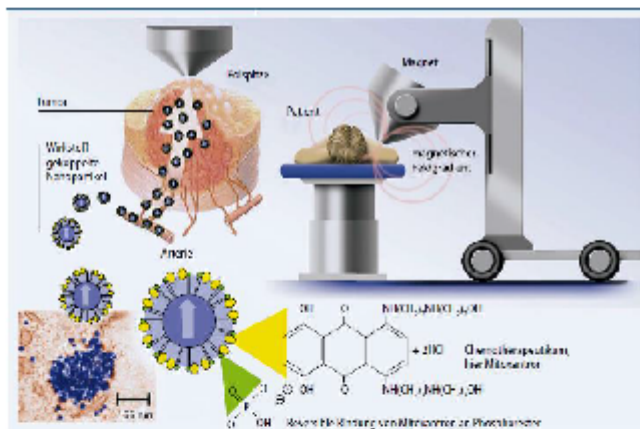
## Ferrofluid als Beispiel für eine Säure-Base-Reaktion

### Ergänzende Informationen

Ferrofluid wurde erstmals in der Raumfahrttechnik als Dichtungsmittel eingesetzt. Seine magnetischen Eigenschaften werden als Superparamagnetismus bezeichnet. Sie entstehen erst durch äußere Einwirkung eines magnetischen Feldes. Dies ist eine typische Nanoeigenschaft. Sie wird bei Hochleistungslautsprechern ausgenutzt.

Ein weiteres Feld ist die Hyperthermie: Dotierte Ferrofluide werden ins Gehirn geschleust und docken dort gezielt an Krebszellen an. Diese werden unter Einwirkung eines elektrischen Wechselfeldes erhitzt und sterben dann ab:  
<http://www.magforce.de/en/studien/publikationen.html>

Ein anderes Konzept der Krebstherapie verfolgt Prof. Alexiou von der HNO-Klinik in Erlangen: Ferrofluid wird mit Cytostatika dotiert und mithilfe eines Elektromagneten gezielt zu den Krebszellen im Körper transportiert:



Aus: C. Alexiou et al., Nanomagnetomedizin. Der Onkologe 2007, S. 1 ff.

Eine ausführliche Beschreibung zur Herstellung von Ferrofluid befindet sich im Begleit-  
 heft zur kostenlos erhältlichen Nanobox des Fonds der Chemischen Industrie  
 (<https://www.vci.de/fonds/presse/Publikationen/Seiten/NanoBoX.aspx>).

US-Dollarmoten sind mit Ferrofluid bedruckt und reagieren schwach auf magnetische  
 Felder.  
 Dies soll Fälschungen verhindern.

Abb. 21: Tischvorlage zur Station Ferrofluid



Das Lehrer-Manual wurde so konzipiert, dass darin die Schülerarbeitsbögen mit den erwarteten Beobachtungen und Antworten auf die Verständnisfragen enthalten sind. Zusätzlich wurden für die Stationen wissenschaftliche Hintergrundinformationen geliefert, damit die Lehrkräfte nicht noch zusätzliche Literatur lesen müssen. Zu jedem Experiment wurde eine Gefährdungsbeurteilung gemäß RISU 2015 erstellt. Vom Umfang her entspricht es einer Monografie.

## **6.2 Experimente zur chemischen Nanotechnologie nach dem historisch-problemorientierten Ansatz**

Die für das Praktikum entwickelten Experimente sind auf Schulniveau zu einem großen Teil in den letzten zehn Jahren in der fachdidaktischen Literatur vorgestellt worden. Sie standen unter der Prämisse der begrenzt zur Verfügung stehenden Zeit sowie des Mehrstufenkonzepts (Lehrerfortbildung für die begleitenden Lehrkräfte, Praktikum mit grundlegenden und einführenden Experimenten, Vertiefung der Inhalte im Schnupperstudium). Die Kurse kamen in der Regel für einen ganzen Vormittag und hatten dann maximal dreieinhalb bis vier Stunden Zeit zum Experimentieren. Vorher wurde ein Einführungsvortrag gehalten. Die Betreuung der Gruppen erfolgte durch Studierende und den Leiter.

Für die Erarbeitung der chemischen Nanotechnologie eignet sich die Herstellung von Nanogold ganz besonders, da es im Zusammenhang mit der Glasmacherkunst eine große historische Bedeutung besitzt. Die Glasmacherkunst war im Grunde genommen die erste chemische Technologie und es gibt sehr alte Schriften dazu. Kaum eine dieser Schriften beschreibt ausführlich und nachvollziehbar die Rezepturen, da die Existenz der Glasmacher von der Beherrschung dieser Technik abhängig war. Als Beispiel sei das Werk von Kunckel genannt - dem Glasmacher von der Pfaueninsel (Kunckel, 1679). Das Goldrubinglas unter schulischen Bedingungen nachzuvollziehen wurde zwar beschrieben, die Experimente haben sich jedoch als nicht reproduzierbar erwiesen. Eine Variante über die Beschichtung von Gläsern nach dem Sol-Gel-Verfahren konnte erfolgreich entwickelt werden (Heinzerling, Boymans & Schneider, 2012).

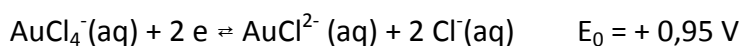
Die nasschemische Herstellung von Nanogold – früher Gold-Kolloide genannt – wird ausführlich im Praktikumsbuch von Ostwald (Ostwald, 1943) beschrieben, jedoch eignen sich

nicht alle Experimente für die Schule. Es wurde daher eine Auswahl von Experimenten getroffen und weiterentwickelt, die mit der Gefahrstoffverordnung zu vereinbaren ist.

Als Substrat für die Herstellung des Nanogolds kommt Tetrachlorogold(III)säure zum Einsatz. Die Reduktion der Gold(III)-Kationen erfolgt in wässriger Lösung in mehreren Schritten (Riedel & Janiak, 2011):

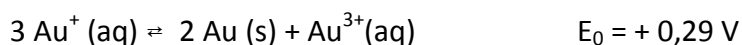


Das Redox-Potenzial des Tetrachloroaurat (III)-Ions ist etwas niedriger:



Das ist der Grund, weshalb in einigen Versuchsvorschriften die vorherige Neutralisation mit Kalium- bzw. Natriumcarbonat empfohlen wird.

Das entstandene Gold(I)-Kation ist in wässriger Lösung instabil und disproportioniert:



Zur Reduktion eignen sich praktisch alle bekannten Reduktionsmittel. Bei der Betreuung der Experimente muss beachtet werden, dass Redox-Potenziale in Bayern erst in Q 12 behandelt werden.

## **6.3 Herstellung von Nanogold**

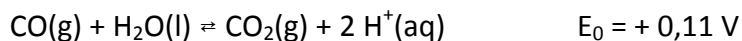
### **6.3.1 Herstellung von Nanogold durch Reduktion mit Kohlenstoffmonooxid**

Die Schüler aus Q11 bringen noch keine Vorkenntnisse über die Zuordnung von Potenzialen mit, jedoch sind die Begriffe Oxidations- und Reduktionsmittel geläufig. Schon im Anfangsunterricht wird bei der Erläuterung der Flamme des Bunsenbrenners von der oxidierenden und reduzierenden Zone gesprochen und die reduzierende als eine unvollständige Verbrennung von Brenngas zu Kohlenstoffmonooxid erläutert. Der österreichische Chemiker Donau hatte bereits 1905 aus chemisch hergestelltem Kohlenstoffmonooxid kolloidales Gold erzeugt (Donau, 1905). Das Gas wurde aus Oxalsäure und Schwefelsäure dargestellt und mit einer Kapillare in die Goldsalz-Lösung eingeleitet. In Anknüpfung an die Vorkenntnisse der Schüler wurde mit einem Propan-Brenner die reduzierende Flamme in eine stark verdünnte Tetrachlorogold(III)chlorid-Lösung gehalten.

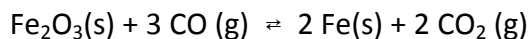


**Abb. 22:** Reduktion von Tetrachlorogold(III)chlorid-Lösung mit Kohlenstoffmonooxid

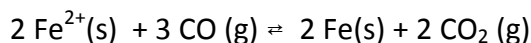
Für die Q11-Schüler reicht das Phänomen: Es entstehen violette Goldpartikel. Im Einführungsvortrag haben sie erfahren, dass es sich hier um relativ große Partikel mit einem Durchmesser von 100 nm handelt. Sie wurden auch über Schutzkolloide und deren Wirkung auf die Größe der Partikel informiert – in der Wissenschaft spricht man international von capping agents. Hier liegt in der Lösung nur das Gold(III)-Salz vor und nach der Reduktion entsteht aus den Reduktionsmittel CO das oxidierte Gas CO<sub>2</sub>. So können sie hier die Erklärung der großen Partikel im Nichtvorhandensein irgendwelcher Schutzkolloide finden. Nach Vorstellung von Möglichkeiten der Recherche von Redox-Potenzialen können sie im Kompetenzbereich Kommunikation den Wert herausfinden:



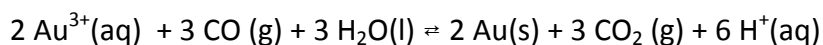
Ohne die Redoxpotenziale gelingt im Rahmen des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung in der Regel der Transfer von der Reduktion des Eisenerzes mit Kohlenstoffmonooxid im Hochofenprozess:



Ionen-Gleichung:



Transfer zur Reduktion von Gold(III)-Ionen:





## Gold-Nanopartikel: Reduktion mit CO

### Geräte:

- Becherglas 25 ml
- Mikrobrenner Propan
- Spatel
- Laserpointer

### Chemikalien:

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung  
 $c = 10^{-4} \text{ mol/l}$

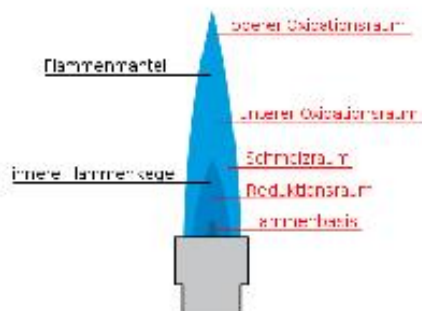
### Durchführung:

Das Becherglas wird fast randvoll mit Tetrachlorogoldsäure-Lösung gefüllt.

Halte den Propangasbrenner im Winkel von  $45^\circ$  mit dem reduzierenden Teil der Flamme in die Tetrachlorogoldsäure-Lösung bis die Färbung beginnt.

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### Versuchsaufbau:



Flammenbasis: Propan

Reduktionsraum: CO





## Beobachtung:

**Verfärbung:**

**Lichtstrahl des Laserpointers:**

## Erläuterung:

**Woher rührt die Verfärbung ?**

**Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:**

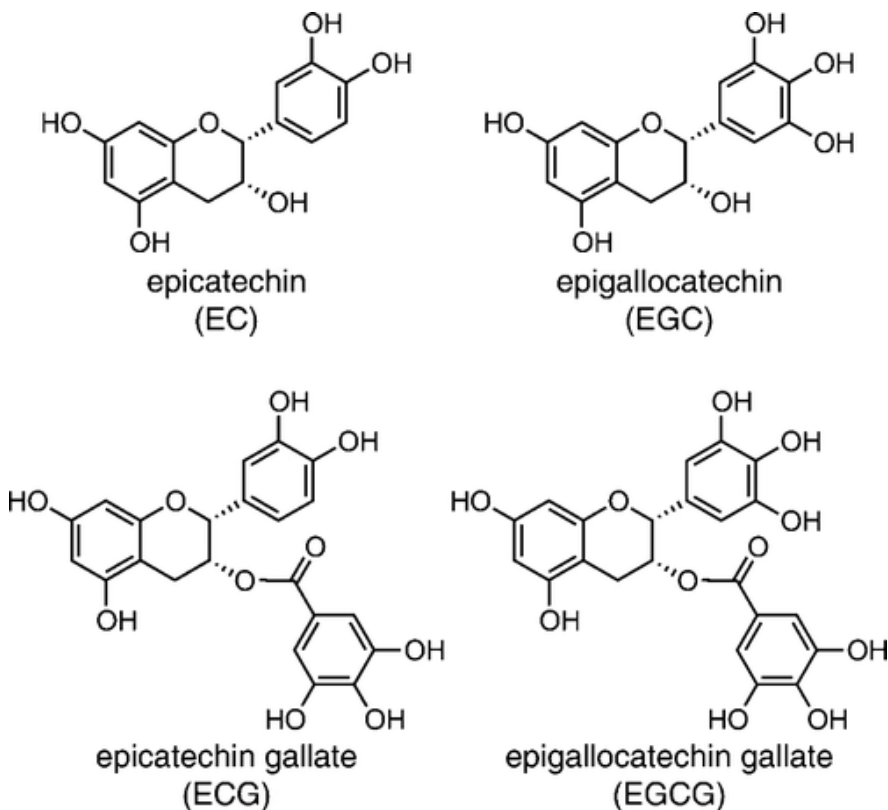
## Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.

### 6.3.2 Herstellung von Nanogold durch Reduktion mit Antioxidanzien

Zum Umfeld von Ostwald während seines Lebensabschnitts im Baltikum zählte von Weimarn aus St. Petersburg, der nach der russischen Revolution nach Japan auswanderte. Während seiner Zeit in Osaka und Kobe untersuchten seine Frau (Weimarn, 1928) und Mitarbeiter (Iwase, 1928) die reduzierende Wirkung japanischer Blütenpflanzen auf Gold(III)chlorid-Lösungen. Ohne Nennung der Originalquellen erschienen vor kurzem ähnliche Methoden von indischen Autoren als Beispiel für Green Chemistry (Sharma, Gulati & Mehta, 2012). All diesen Reduktionsmitteln ist gemeinsam, dass es sich um Antioxidanzien auf der Basis von Flavanoiden handelt (Beecher, 2003). Von Antioxidanzien haben die Schüler im Zusammenhang mit Diskussionen über gesunde Ernährung gehört. Von daher boten sich entsprechende Experimente an.

Im Tee sind Flavanoide aus der Gruppe der Catechine enthalten:



**Abb. 23:** Catechine im Tee (Abdruck mit Erlaubnis aus Panzarasa & Sparnacci (2012)  
©2012 American Chemical Society)

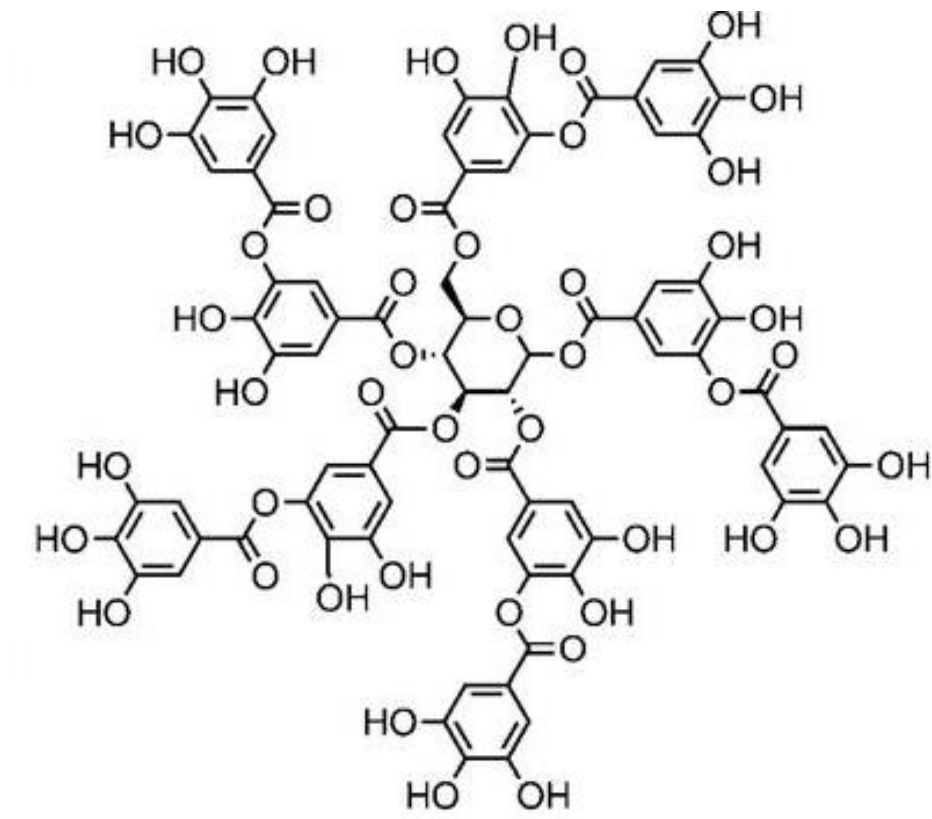
Die Schüler kennen aus dem Unterricht die Oxidationsreihe der Alkohole und damit deren reduzierende Wirkung. Im Rahmen der didaktischen Reduktion werden die Schüler auf die

vielen OH-Gruppen im Molekül hingewiesen. Hier liegen so genannte Polyphenole vor, deren OH-Gruppen oxidiert werden können – ein Transfer im Rahmen des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung.

Im Experiment erkennen die Schüler, dass die Reduktion sehr heftig ist und schon in der Kälte abläuft.

### 6.3.3 Herstellung von Nanogold mithilfe von Rotwein

Trockene Rotweine entfalten ihren typischen Geschmack durch die Luftoxidation der Tannine (Belitz, Grosch & Schieberle, 2008).



**Abb. 24:** Tannin im Rotwein (Abdruck mit Erlaubnis aus Panzarasa & Sparnacci (2012)  
©2012 American Chemical Society)

Auch hier liegen wiederum Polyphenole mit stark reduzierender Wirkung vor. Da im Rotwein auch reduzierender Alkohol enthalten ist, muss im Vorversuch zunächst die reduzierende Wirkung von 12%iger ethanolischer Lösung ausgeschlossen werden. Die Eigenfarbe des Rotweins in sehr starker Verdünnung ist vernachlässigbar.

E10

## Gold-Nanopartikel: Synthese mit Antioxidanzien

### Geräte:

- 2 Bechergläser 25 ml
- Becherglas 250 ml
- Erlenmeyerkolben 250 ml
- Trichter
- Filterpapier
- Einmalspritze 20 ml
- Spatel
- Laserpointer

### Chemikalien:

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung  
 $c = 10^{-4} \text{ mol/l}$
- Gerbsäure
- Grüner Tee im Beutel
- Trockener Rotwein
- Dest. Wasser

### Durchführung:

In die Bechergläser kommen je 10 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung.

#### Rotwein-Variante:

10 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung wird in das Becherglas gefüllt und auf dem Magnetheizrührer zum Sieden erhitzt. Der trockene Rotwein wird bis zur Färbung der Lösungen langsam zugetropft. Eine Blindprobe mit einem Körnchen Gerbsäure wird parallel dazu durchgeführt.

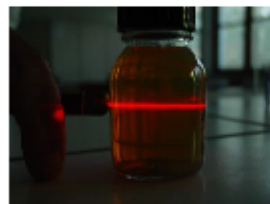
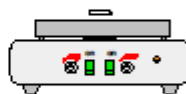
#### Tee-Variante:

Ein Beutel Grüner Tee wird für 5 Min in 100 ml dest. Wasser gelegt und in den Erlenmeyer-kolben filtriert. Von diesem Extrakt werden 5 ml entnommen und in das kleine Becherglas gegeben. Zum Tee-Extrakt wird tropfenweise 1 ml der Goldchlorid-Lösung gegeben.

#### Weitere Variante:

Vom Teebextrakt wird ein Tropfen in 10 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung gegeben.

### Versuchsaufbau:



Geräte

Test auf Nanopartikel mit dem Laserpointer





## Beobachtung:

**Verfärbung:**

**Verlauf des Laserstrahls:**

## Erläuterung:

**Woher rührt die Verfärbung ?**

**Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:**

## Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.

Im Praktikumsbuch von Ostwald wird die Reaktion von Gold(III)-Salzen mithilfe von reinem Tannin bereits beschrieben (Ostwald, 1943).

### 6.3.4 Herstellung von Nanogold durch Reduktion mit Citrat

Die Reduktion von Tetrachlorogold(III)säure mit Natriumcitrat wurde bereits oben erörtert. Die Schüler haben als Arbeitsgrundlage neben der Broschüre noch eine Tischvorlage mit Informationen. Dort wird auch die Ursache der Farbigkeit des Goldsols über die Plasmonenresonanz beschrieben.

Metallpartikel besitzen eine Elektronengashülle und die tritt mit Licht bei sehr kleinen Teilchen – heutige Bezeichnung: Plasmonen - in Wechselwirkung. Dies wird heute auch als plasmonische Resonanz bezeichnet. Durch Absorption des Lichtes – der plasmonischen Absorption - werden Farben in Abhängigkeit von der Größe der Partikel sichtbar. Die Schärfe der Farben ist von den dielektrischen Eigenschaften des Metalls abhängig und daher bei Silber und Gold besonders gut ausgeprägt.

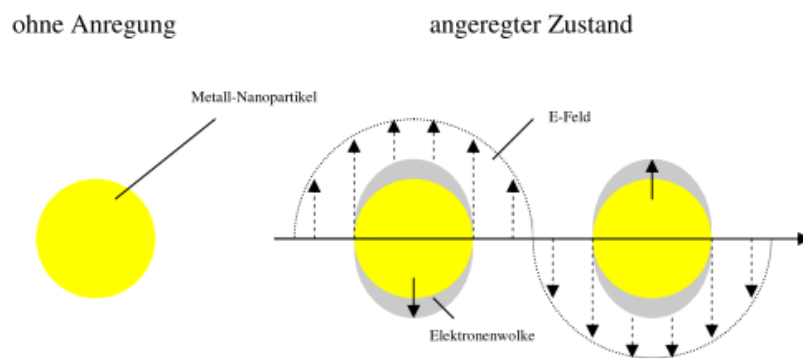


Abb. 25: Anregung der Elektronenhülle durch Licht (Aus: (Schäfer, 2008))

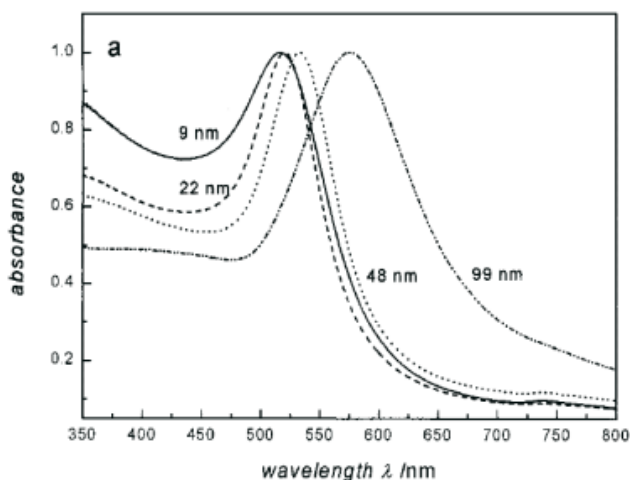
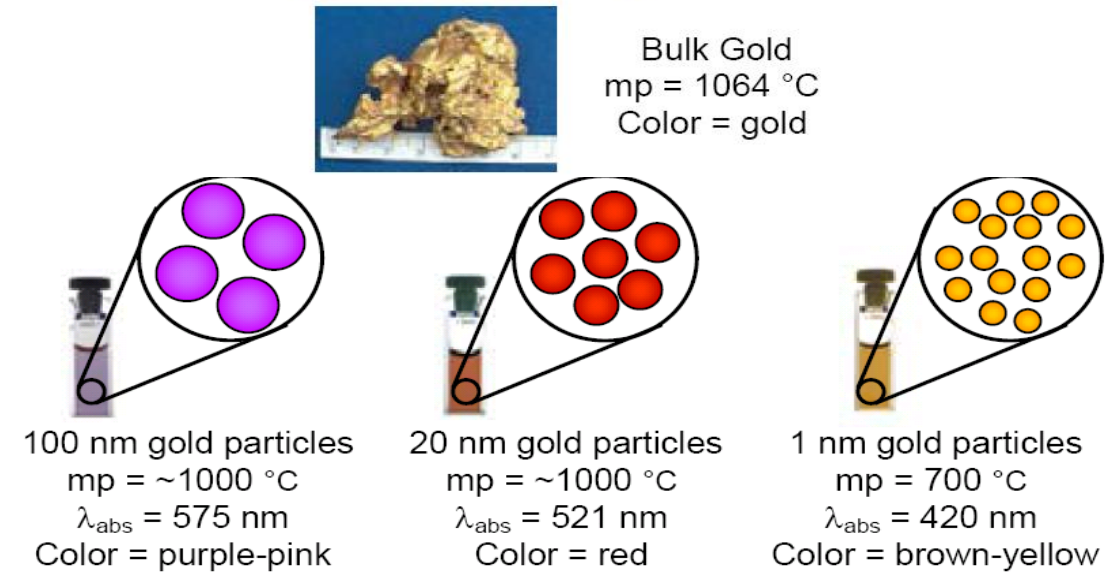


Abb. 26: Abhängigkeit der Wellenlänge von der Größe der citratstabilisierten Goldnanopartikel (Aus: (Schäfer, 2008))

Die Größe der Nanopartikel wird mithilfe von Laserrückstreuung gemessen. Während des Einführungsvortrags wird das mit einer Folie belegt:

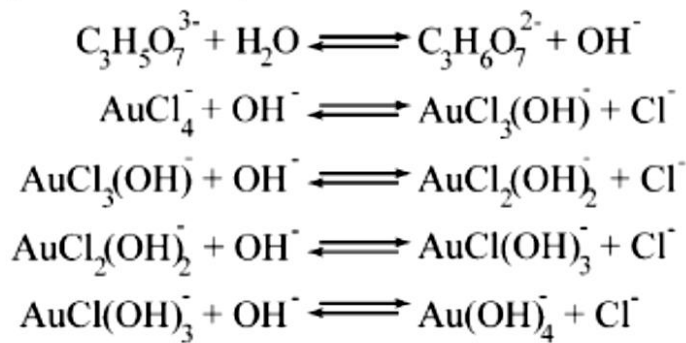
## Size-dependent Properties of Gold



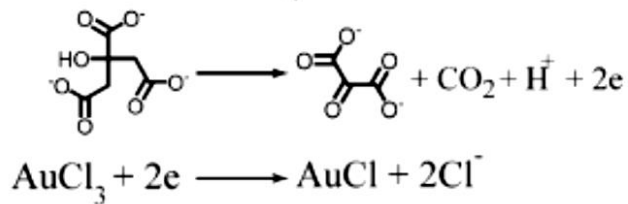
**Abb. 27:** Abhängigkeit der Lichtabsorption und der Schmelzpunkte von der Teilchengröße bei Gold (Abdruck mit Erlaubnis von Amanda J. Haes, University of Iowa)

In neueren Publikationen wird der Mechanismus der Citrat-Reduktion anders als in klassischen Darstellungen diskutiert. Es werden die Pufferwirkung des Citrats berücksichtigt und die mögliche Reaktion von  $\text{AuCl}_3$  mit Aceton (Xia, Bai, Hartmann & Wang, 2010).

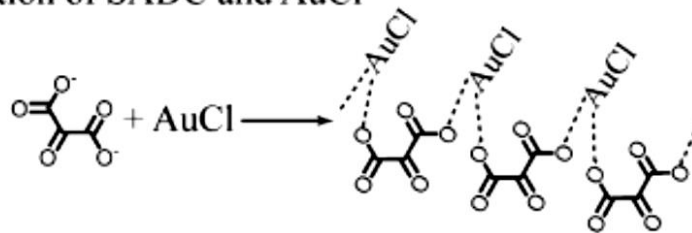
(a) Hydrolysis of  $\text{HAuCl}_4$  and citrate



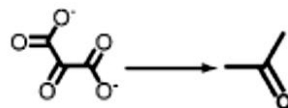
(b) Redox reaction between  $\text{HAuCl}_4$  and citrate



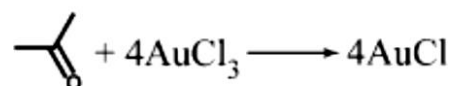
(c) Complexation of SADC and  $\text{AuCl}$



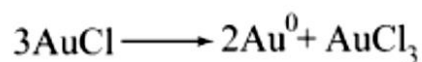
(d) Decomposition of SADC into acetone



(e) Redox reaction between  $\text{HAuCl}_4$  and acetone



(f) Disproportionation of  $\text{AuCl}$



**Abb. 28:** Vorgeschlagener Mechanismus der Citrat-Reduktion von Tetrachlorogold(III)säure unter Berücksichtigung der Pufferwirkung und der Reaktion des SADC mit  $\text{AuCl}$   
Legende: SADC = Sodium Acetone Dicarboxylate (Natriumacetondicarboxylat)  
(Abdruck mit Genehmigung aus (Xia, Bai, Hartmann & Wang, 2010) © American Chemical Society 2010)

Nach wie vor fasziniert die Forscher der Farbumschlag von blau nach rot gegen Ende der Reduktion. Hierzu ist jüngst eine weitere Publikation erschienen (Wuithschick et al., 2015).

Das Schülerexperiment wird sowohl klassisch nach der Turkevich-Methode, als auch in einer Haushalts-Mikrowellen-Variante durchgeführt. Ohne Kenntnis der Primärliteratur lieferte diese in drei Minuten sehr gute Ergebnisse. Diese Variante wurde für eine professionelle Mikrowelle ähnlich beschrieben (Tsuji, Hashimoto, Nishizawa, Kubokawa & Tsuji, 2005). Noch stärker vereinfacht konnten wir auch Silber-Nanopartikel nach dieser Methode herstellen.

Die didaktische Reduktion zur Erläuterung der reduzierenden Wirkung des Citrats erfolgt über das Produkt  $\text{CO}_2$  mit Kohlenstoff in der höchsten Oxidationsstufe. Dies können die Schüler im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung aus ihren Vorkenntnissen zur Atmung und zur Oxidationsreihe der Alkohole in der Regel transferieren.

Eingehende Recherchen ergaben kein Reduktionspotenzial für Citrat. In Lehrbüchern der Biochemie findet man im Rahmen des Citronensäurecyclus lediglich das Reduktionspotenzial von Isocitrat. Die Rolle des Citrats als Schutzkolloid wurde dagegen sehr ausführlich bis in jüngster Zeit untersucht (Park & Shumaker-Parry, 2015). Des weiteren gibt es auch eine Untersuchung zur Reihenfolge der Reagenzien (Ojea-Jiménez, Bastús & Puentes, 2011). Bei der Ermittlung des Redoxpotenzials liegt offenkundig eine Forschungslücke vor.



## Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion

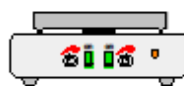
### Geräte:

- Becherglas 25 ml
- Magnetheizrührer
- 2 PP-Einmalpipetten
- Einmalspritze 20 ml
- Mikrospatel
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer

### Chemikalien:

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung ( $\text{HAuCl}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ )  
 $c = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$
- Trinatriumcitratlösung  
 $w = 1\%$
- Ascorbinsäure

### Versuchsaufbau:



Gold-Nanopartikel

### Durchführung:

Natriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab.

10 ml Tetrachlorogoldchlorid-Lösung wird auf dem Magnetheizrührer zum Sieden erhitzt. Zur Lösung wird Trinatriumcitrat-Lösung langsam bis zur Rotfärbung zugetropft.

Die Lösung wird vom Magnetheizrührer genommen.

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

Variante:

Zur siedenden Tetrachlorogoldchlorid-Lösung wird ein Körnchen Trinatriumcitrat gegeben.

Als Reduktionsmittel eignet sich auch festes Vitamin C (Ascorbinsäure).



## Beobachtung:

Verfärbung:

Lichtstrahl des Laserpointers:

Gasentwicklung:

## Erläuterung:

Woher rührt die Verfärbung ?

Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:

Woher rührt die Gasentwicklung ?

## Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.

# E09a

Experiment

## Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowellen-Variante)

### Geräte:

- Erlenmeyerkolben (V = 250 ml)
- Becher (V = 50 ml)
- Mikrowellengerät
- Einmalspritze 50 ml
- Insulinspritze
- PP-Einmalpipette
- Spritzflasche mit dest. Wasser
- Lederhandschuh
- Laserpointer rot

### Chemikalien:

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung (w = 1%)
- Trinatriumcitrat-Lösung (w = 1%)
- Dest. Wasser

### Durchführung:

Trinatriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab.

Der Erlenmeyerkolben wird mit 30 ml dest. Wasser befüllt und mithilfe der Insulinspritze 0,1 ml der Tetrachlorogoldsäure-Lösung zugemischt.

Zu der Lösung wird mithilfe der PP-Einmalpipette 1,5 ml Trinatriumcitrat-Lösung gegeben.

Die Leistung des Mikrowellengeräts wird auf 360 W eingestellt und der Erlenmeyerkolben im Gerät platziert.

Die Betriebsdauer wird zunächst auf 2 min eingestellt und das Ergebnis beobachtet.

Sollte die Färbung noch nicht intensiv sein wird 1 min nachgeheizt.

Der heiße Erlenmeyerkolben kann mit dem Lederhandschuh angefasst werden.

Mit dem roten Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### Versuchsaufbau:







## Beobachtung:

Verfärbung:

Gasentwicklung:

Verlauf des Laserstrahls:

## Erläuterung:

Verfärbung:

Während des Erhitzens in dem Mikrowellengerät:

Verlauf des Laserstrahls:

## Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.

### 6.3.5 Weitere Synthesemöglichkeiten

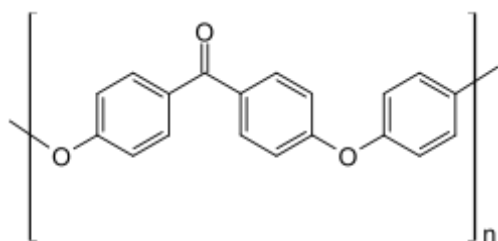
In der historischen und aktuellen Literatur werden weitere Reduktions- und Verfahrensvarianten beschrieben. So können als Reduktionsmittel z.B. primäre und sekundäre Alkohole und als Verfahrensvariante die Reaktion unter Einwirkung von Ultraschall eingesetzt werden. Diese Möglichkeiten sind erprobt und zurück gestellt worden, da für die Erweiterungsmöglichkeiten des Schülerlabors in Richtung Jugend forscht Perspektiven offen gehalten werden sollten.

## 6.4 Experimente zur Nanotechnologie und Energiewende nach dem Konzept der curricularen Innovation

### 6.4.1 Biozider Polyester mit Nanosilber

Das Konzept nach Tausch wurde bereits oben beschrieben. Die Verknüpfungen begründen sich in der technologischen Innovation. So wurden biozid ausgerüstete Werkstoffe erst in den letzten Dekaden entwickelt (Furno et al., 2004) und die vom Exzellenzcluster verfolgten Pfade befinden sich noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. In Erlangen wurde im medizinischen Bereich mit der Ausrüstung von medizinischen Schläuchen und Kathetern Pionierarbeit geleistet (Samuel & Guggenbichler, 2004).

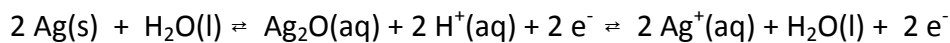
Im Exzellenzcluster lief ein Forschungsprojekt zur bioziden Ausrüstung von Polymeren. Diese sollten zur Beschichtung von Kunststoffen für die Gelenkprothesen der nächsten Generation dienen. Das dafür vorgesehene Material besteht aus Polyetheretherketon (PEEK) für das bereits die medizinische Zulassung existiert.



**Abb. 30:** Monomerbaustein 4-Hydroxyphenyl(4-phenoxyphenyl)methanon aus Polyetheretherketon (PEEK)

Kunststoffe neigen dazu, sich mit Biofilmen als Nährböden für Bakterien zu überziehen. Daher ist im Falle des Einsatzes als Prothesenmaterial eine biozide Beschichtung erforderlich.

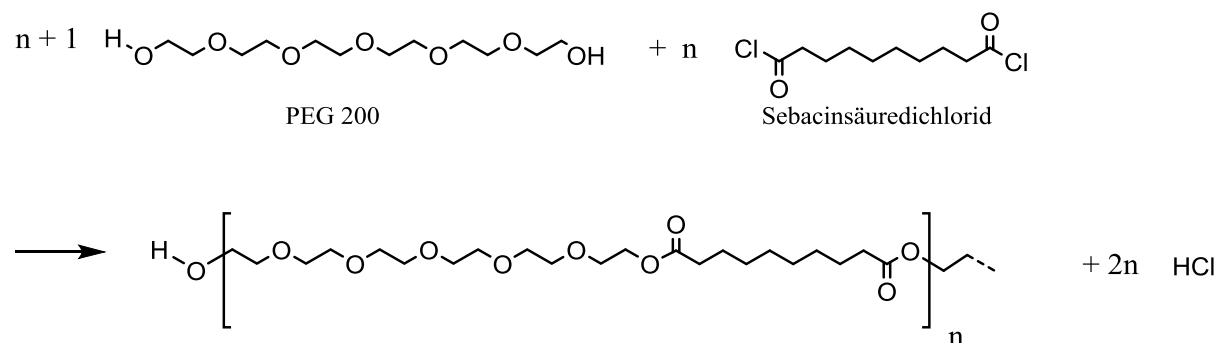
Als biozide Ausrüstung dienen Silber-Nanopartikel, die an feuchter Luft Silber-Ionen freisetzen:



Die biozide Wirkung von Silber-Ionen ist hinlänglich bekannt. Es wurden umfangreiche Untersuchungen mit den dotierten Materialien zur Freisetzung der Silber-Ionen durchgeführt (Vasylyev et al., 2013).

Beim Studium der Literatur fiel auf, dass im Cluster für die Synthese der Polyester als Beschichtungsmaterials diese klassisch durch sauer katalysierte Veresterung der entsprechenden Säuren (z.B. Sebacinsäure) mit Polyethylenglykolen (PEGs) hergestellt wurden und in aufwändigen Aufreinigungsschritten Katalysator und Wasser entfernt werden mussten. In der Schulchemie wird eine zum Polyester analoge Polykondensation zur Herstellung von Nylon über das Säurechlorid durchgeführt – der so genannte Nylonseil-Trick (ALP (Hrsg.), 2014). Diese Reaktion verläuft unproblematisch und es entsteht leicht abzutrennendes Hydrogenchlorid-Gas und kein Wasser.

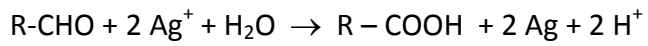
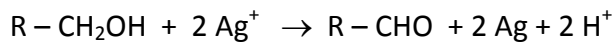
Es sollte herausgefunden werden, ob diese Reaktion analog für Polyester durchgeführt werden kann. Es wurden Vorversuche im Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik erfolgreich durchgeführt und als Variante der Einsatz eines Ultraschallbades erprobt.



**Abb. 30:** Polykondensationsreaktion zwischen Sebacinsäuredichlorid (Octandisäuredichlorid) und Polyethylenglykol 200 (PEG 200)

Nach Beendigung der Polykondensation werden zum Gemisch aus dem Polykondensat und überschüssigem PED 200 3 Tropfen Silbernitrat-Lösung ( $c = 10^{-2} \text{ mol/l}$ ) hinzu gegeben und bei  $320 \text{ }^\circ\text{C}$  bis zur zarten Gelbfärbung erhitzt.

Die Reduktion der Silber-Ionen zu Silber-Nanopartikel erfolgt mithilfe der alkoholischen Gruppen des überschüssigen PEG 200:



Somit hat man hier ein Beispiel für curriculare Innovation: Die Polyester-Synthese wurde von der in der Schule bekannten Nylon-Synthese hergeleitet und als innovativer Inhalt die biozide Ausrüstung mit Nanosilber hinzugefügt. Die reduzierende Wirkung von primären Alkoholen als Ursache der Synthese von Silber-Nanopartikeln ist Stoff des Chemieunterrichts in E10 und kann im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung von den Schülern nachvollzogen werden.

N 8

## Biozider Werkstoff: Eingebettete Silber-Nanopartikel in Polyester

### Geräte:

- Schnappdeckelglas 40 ml
- Reagenzglashalter
- Ultraschallbad
- Magnetheizrührer
- 3 PP-Einmalpipetten
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer

### Chemikalien:

- Sebacinsäuredichlorid (Sebacoylchlorid, Octandisäuredichlorid)
- Polyethylenglykol (PEG) 200
- Molekularsieb 0,3 nm
- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-2} \text{ mol/l}$

### Durchführung:

Das PEG 200 ist mit einem Molekularsieb versetzt worden und dadurch wasserfrei.

Mit einer PP-Einmalpipette wird 1 ml Sebacinsäuredichlorid in das Schnappdeckelglas gefüllt. Dazu kommt mit einer PP-Einmalpipette 2 ml PEG 200. Das Gemisch wird umgerührt und auf der Heizplatte 10 Min bei 120°C erhitzt. Danach wird es mit dem Reagenzglashalter für 10 Min in das Ultraschallbad bei 25°C gestellt.

Es wird auf HCl-Geruch durch Zufächeln getestet und ggfs. länger behandelt.

Zu dem Gemisch werden mit einer PP-Einmalpipette 2 Tropfen Silbernitrat-Lösung gegeben und umgerührt. Danach wird das Schnappdeckelglas auf 320 °C heiße Platte des Magnetheizrührers gestellt und eine Verfärbung abgewartet.

### Versuchsaufbau:



Test auf Silber-Nanopartikel  
mit dem Laserpointer



## Beobachtung:

Nach dem Mischen von PEG 200 mit dem Sebacinsäuredichlorid wird das Gemisch leicht warm und zäh. Es spaltet sich HCl ab. Im Ultraschallbad reagiert das Sebacinsäuredichlorid mit dem PEG 200 vollständig zum Polyester.

Auf der heißen Platte des Magnetheizrührers reduziert das überschüssige PEG 200 die Silber-Ionen zu gelblich gefärbten Silber-Nanopartikeln.

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt die Nanopartikel nachweisen.

## Erläuterung:

**Bildung des Polyesters:**

**Woher rührt die Verfärbung ?**

**Warum reduziert das PEG 200 die Silber-Ionen ?**

**Begründe Deine Beobachtung zum Laserstrahl:**

## Entsorgung:

Nach Beendigung des Experiments wird das Schnappdeckelglas im Behälter für Schwermetalle entsorgt.

In der Literatur fanden sich zwei Publikationen, die ebenfalls auf der Basis von Sebacoylchlorid Polyester für das Tissue Engineering (Ozcelik et al., 2014) und als injizierbares Material (J. Lee, Joo, Oh, Sohn & Jeong, 2006) hergestellt haben.

Nach Abschluss der Erprobungsphase wurde experimentell die Freisetzung der Silber-Ionen mithilfe des Nernst-Potenzials getestet:

Das Gemisch wurde mit 5 ml dest. Wasser versetzt und das Potenzial mit einer Silber-Elektrode (Silberdraht) gegen eine Silber-Silberchlorid-Referenzelektrode gemessen. Dieses wurde über eine längere Zeit mit einem Datenlogger registriert und ausgewertet. Die biozide Wirkung der freigesetzten Silber-Ionen wurde im Institut für Biochemie mithilfe von E. coli auf Agar-Nährböden untersucht.

#### **6.4.2 L(iquid)O(rganic)H(ydrogen)C(arrier) als Innovationsmotor der Energiewende**

Weiter oben wurde bereits die Speicherproblematik im Zusammenhang mit der Energiewende dargestellt. Um die Schüler schrittweise an die Problematik Power-to-X heranzuführen, wurde eine Sequenz von Stationen konzipiert:

- Wasserelektrolyse mit dem Hofmann-Apparat in der Küvetten-Variante;
- Savonius-Windrotor mit Nachweis der Wechselspannung und deren Gleichrichtung:  
Im Lehrplan Physik des Jahrgangs 9 sind die Grundlagen (Elektromagnetische Induktion, Motor, Generator, Dioden) verortet. Hier erfolgt eine Verknüpfung mit der Windenergie;
- Horizontaler Windrotor mit oszilloskopischer Aufzeichnung der Spannung:  
Beim bewegten Leiter im Magnetfeld und umgekehrt ergeben sich im homogenen Magnetfeld sinusförmige Wechselspannungen. Hier werden die Ursachen der Abweichungen erörtert;
- Wind-zu-Wasserstoff durch Elektrolyse mit einer reversiblen Brennstoffzelle:  
Brennstoffzellen werden im guten Chemieunterricht bei den Batterien in E10 behandelt. Reversible Brennstoffzellen sind in der Regel unbekannt;
- **L(iquid)O(rganic)H(ydrogen)C(arrier)**: Katalytische Freisetzung von chemisch gespeichertem Wasserstoff:  
Das Prinzip der chemischen Speicherung an Kohlenstoff-Doppelbindungen wird im Zusammenhang mit den Bindungsenergien in Q11 behandelt. Die experimentelle

Durchführung ist wegen der erforderlichen Drücke unter schulischen Bedingungen nicht möglich.

Das LOHC-Experiment soll den Schülern die Speicherkapazität des chemischen Wasserstoffträgers H18-Dibenzyltoluol (H18-DBT) vor Augen führen. Der Ausgangsstoff Dibenzyltoluol (DBT bzw. H0-LOHC) ist als industrieller Wärmeträger Marlotherm® SH für den Temperaturbereich von – 5°C bis 370°C zugelassen und vom Gefährdungspotenzial her unproblematisch.

Die Beladungskapazität mit 9 H<sub>2</sub>/Molekül ist erheblich größer als beim vorher in Erlangen verwendeten H12-N(-)E(thyl)C(arbazol). Der Stoff ist jedoch deutlich viskoser und er muss bei höherer Temperatur entladen werden.

Die Anlage kann über die 3-Weghähne mit Wasserstoff gespült werden.



## E 20

### Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC)

#### Geräte:

- 3 Med. Spritzen 60 ml mit 3-Wegehahn
- Reaktionsrohr
- Silikonschlauch
- MBM-Stativsystem
- Heißluftpistole mit Breitschwanzaufsatz
- Einmalspritze 1 ml
- Kanüle 60 mm
- Wasserbad
- Digitalmultimeter mit Thermofühler
- Brennstoffzelle mit Propellermotor

#### Chemikalien:

- H18-LOHC (Dibenzyltoluol)
- Pt-C-Katalysator geträgert
- Eisenwolle
- Wasserstoff in Druckdose
- Siliconöl (Gleitmittel für Spritzen)

#### Durchführung:

Das H18-LOHC steht im 60°C warmen Wasserbad. Das vorbereitete Reaktionsrohr mit geträgertem Katalysator und Eisenwolle wird von einer Seite mithilfe der Einmalspritze mit Kanüle mit 0,1 ml H18-LOHC befüllt und die Anlage zusammengebaut.

Die Anlage wird über die 3-Weghähne mit Wasserstoff gespült.

Die Heißluftpistole wird auf 380°C eingestellt und unter der Mitte des Reaktionsrohrs platziert. Die Temperatur wird mit dem Digitalmultimeter kontrolliert und auf ca. 320°C an der Oberfläche des Reaktionsrohrs einreguliert.

Nach dem Starten der Gasentwicklung werden die mit Siliconöl präparierten Spritzen vorsichtig hin und her bewegt.

Die Reaktion wird nach 15 Minuten abgebrochen und das Gas aus einer Spritze über passende Schläuche in die Brennstoffzelle gedrückt.

#### Versuchsaufbau:





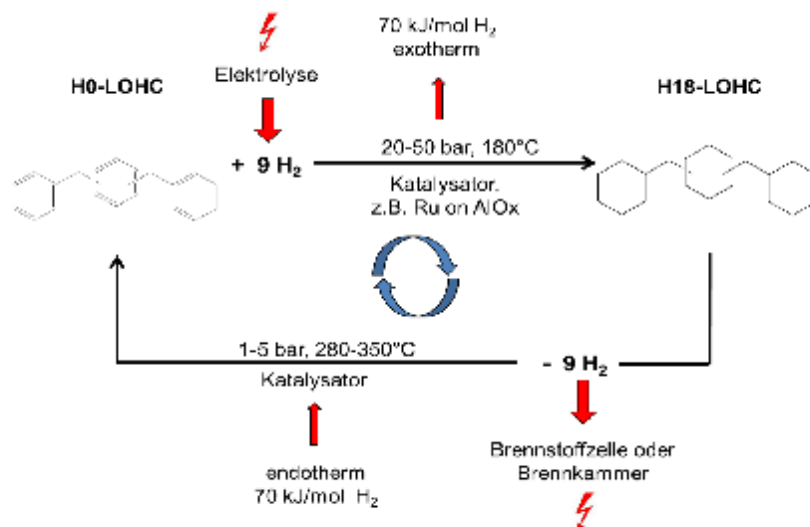
## Information :

Erneuerbare Energien liefern häufig hohe Überschüsse zu verbrauchsarmen Zeiten und Defizite entstehen umgekehrt.

Daher ist das zentrale Problem der Energiewende, geeignete Technologien zum Speichern und Abrufen zu finden. Physikalische Speicher wie Pumpspeicher sind in ihrer Kapazität stark begrenzt und könnten bei einem Blackout nur 20 Minuten Spitzenlast liefern.

Bei chemischen Speichern bieten sich Batterien an, deren Kapazitäten sich jedoch nur sehr kostspielig auf erforderliche Größenordnungen erweitern lassen.

Ein interessanter Pfad ist die Umwandlung von überschüssiger Energie in Wasserstoff durch Elektrolyse (Power-to-Gas). Das in Erlangen verfolgte Konzept der chemischen Speicherung von Wasserstoff in organischen Verbindungen (Liquid Organic Hydrogen Carrier) liefert Flüssigkeiten mit Diesel ähnlicher Konsistenz und kann die vorhandene Infrastruktur (Pipelines, Tanker, Tankstellen) nutzen. Aromatische Verbindungen werden hydriert und beim Abrufen des Wasserstoffs durch Dehydrierung wieder zurück gewonnen:



E 20

Wind-zu-Wasserstoff:  
Chemische Speicherung von  
Wasserstoff (LOHC)

**Beobachtung:**

Nach kurzer Zeit:

Nach ca. 15 Minuten:

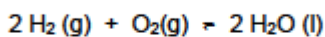
Eigenschaften des Gases:

In den Spritzen:

**Erläuterung:**

Was bewirkt das Erhitzen des Reaktionsrohrs ?

Wie kann das entstandene Gas nachgewiesen werden ?



Wie erklärt sich das große Gasvolumen im Verhältnis zu 0,1 ml eingesetzter Flüssigkeit ?

Warum entstehen in den Spritzen feinste Nebeltröpfchen ?

**Entsorgung:**

Bei dem Experiment fallen keine Abfälle an.

Nach dem Starten der Gasentwicklung werden die Spritzen vorsichtig hin und her bewegt. Durch Unterdruck sind sehr schöne Nebel aus dem Gas Wasserstoff und dem flüssigem Edukt bzw. Produkt zu erkennen.

Das Spülen mit Wasserstoff kann entfallen. Dann muss allerdings damit gerechnet werden, dass sich mit Luftsauerstoffresten schneller gelbe Chinone bilden - der Mechanismus ist noch nicht geklärt (s.o.)

Die Spitzen müssen von Zeit zu Zeit mit Ethylacetat gereinigt oder gegen neue ausgetauscht werden.

Das Experiment wurde inzwischen umfangreich im Schülerlabor erprobt. Bei einem Einsatz von 0,1 ml H18-DBT erhielten wir bis zu 57 ml Wasserstoff.

Für diesen Wert soll die Ausbeute berechnet werden:

$$M(\text{H}_{18}\text{-DBT}) = 290,52 \text{ g/mol}$$

$$\text{Dichte } \rho = 0,88 \text{ g/ml bei } \delta = 80^\circ\text{C}$$

$$\text{Es entsprechen 0,1 ml DBT: } n = 0,1 \text{ ml} \cdot 0,88 \text{ g/ml} / 290,52 \text{ g/mol} = 3,03 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

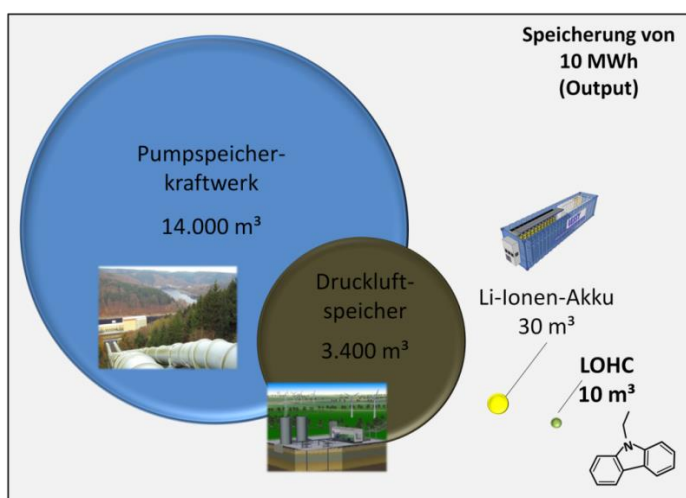
$$\text{Daraus entstehen } n = 9 \cdot 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ mol H}_2 = 2,73 \cdot 10^{-3} \text{ mol H}_2$$

$$\text{Nach der Avogadro-Hypothese sind das } V = 22.400 \text{ ml/mol} \cdot 2,73 \cdot 10^{-3} \text{ mol H}_2 = 61 \text{ ml H}_2.$$

$$\text{Die Ausbeute beträgt somit: } \eta = 57 \text{ ml} / 61 \text{ ml} = 93,4\%$$

Das entspricht dem Beladungsgrad des von hydrogenious technologies hergestellten H18-LOHC.

Für den alten Kandidaten H12-NEC wurde im Einführungsvortrag in einer Folie die Speicherkapazität am Beispiel von 10 MWh (Output) vergleichend dargestellt:



**Abb. 31:** Vergleich der Speicherkapazitäten für 10 MWh (Output) (Aus (Teichmann et al., 2014))

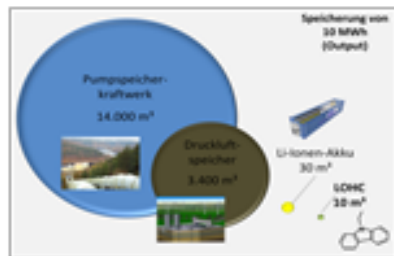
10 MWh (Output) entspricht in etwa der Netzlast in Deutschland. Dies wird anschaulich am Beispiel des Tanklagers in Ingolstadt dargestellt:

## Energie – die Herausforderung



- **Speicherung von Wasserstoff**

- Beispiel: Tanklager Ingolstadt 1,8 Mio m<sup>3</sup>
- entspricht 18 Mio MWh = 18.000 GWh: 225 h Spitzenlast von 80 GW



27.02.2016

EAMLab

46

**Abb. 32:** Speicherkapazität des Tanklagers in Ingolstadt am Beispiel von H12-NEC (Folie P. Heinzerling, Abb. aus (Teichmann, Arlt & Wasserscheid, 2012) )

Mit dem neuen Kandidaten H18-DBT erhöht sich die Kapazität auf 331 h Spitzenlast von 80 GW, somit fast zwei Wochen. Mit den Schülern wurde im Kompetenzbereich Kommunikation anhand von zugänglichen Daten aus dem Netz die Kapazität der Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland als sehr gering – ca. 20 Minuten – abgeschätzt.

## **7 Konzept der Umsetzung des EAM Schülerlabors Chemie**

Das EAM Schülerlabor Chemie soll mittelfristig in das NESSI-Konzept als Teil der Lehrerbildung integriert werden. Der Einstieg in das Schülerlabor erfolgt über eine Fortbildung der Lehrkräfte, damit diese sich aktiv einbringen können. Von der Ausbildung der Gymnasiallehrer her kann man keine Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Nanotechnologie erwarten. Von daher wurde großer Wert auf ein ausführliches Lehrer-Manual gelegt, zumal es am Markt kein Lehrbuch bzw. keine Monografie mit adäquatem Niveau gibt. Die Fachzeitschriften haben zwar seit mehr als zehn Jahren vereinzelt Themenhefte herausgegeben, diese decken jedoch nicht die erforderliche Breite des Hintergrundwissens ab.

Die Energiewende stellt fachdidaktisch und fachlich keine große Herausforderung dar, jedoch ist die Gymnasiallehrer-Ausbildung in Bayern bei Chemielehrern nicht auf physikalische Inhalte ausgerichtet, da es hier eine strikte Trennung gibt. Im Wesentlichen müssen die Lehrkräfte auf Schulkenntnisse zurückgreifen. Die technologischen Herausforderungen der Energiewende auf materialwissenschaftlichem Gebiet sind noch im Fluss. Somit ist eine politische Entscheidung ohne fertige Lösungen getroffen worden. Das ist für die Schule und die Gesellschaft eine große Herausforderung.

Die ganztägigen Fortbildungsveranstaltungen für die Lehrkräfte wurden ähnlich wie das Schülerlabor strukturiert und entsprechend evaluiert.

Die Veranstaltungen zum Schülerlabor begannen stets mit einem ausführlichen Einführungsvortrag. Danach gab es Gelegenheit, unter Anleitung von Studierenden die Experimente zu erproben und zu beurteilen. Zur Nanotechnologie waren jeweils 14 Stationen, zur Energie 6 Stationen aufgebaut. Je nach Bedürfnissen und Möglichkeiten der Schulen wurde drei bis vier Stunden experimentiert. Zur Nanotechnologie wurden die Kenntnisse evaluiert und im Labor die Experimente bewertet. Die Konzeption des Schülerlabors wurde eingehend hinterfragt.

Ziel des Schülerlabors sollte es sein, mehr und besonders interessierte Schüler an die Studiengänge des Exzellenzclusters heranzuführen. Hierzu wurde nach einigen Monaten das Interesse an den jeweiligen Schulen ermittelt und ein strukturierter Schnupperstudententag konzipiert. Bei dieser Veranstaltung wurden die Schüler in kleinen Gruppen durch Fachstudenten, die bereits im Schülerlabor aktiv waren, begleitet.

Der strukturierte Schnupperstudententag lief wie folgt ab:

- Begrüßung durch die Studiengangskoordinatorin mit Vorstellung der Studiengänge;
- Vorlesung zur Nanotechnologie;
- Besuch von vier Forschungslabors aus dem Department Werkstoff-wissenschaften;
- Besuch des Instituts für Chemische Reaktionstechnik mit dem Schwerpunkt chemische Energiespeicherung.

Zusammen mit dem Mensabesuch war dies eine ganztägige Veranstaltung.

## **8 Evaluation**

### **8.1 Fragebogendesign**

Für die Veranstaltungen wurden zwei Fragebogentypen entwickelt:

- **Fragebogen zur Kenntnisermittlung:**

Hier geht es um einfache Vorkenntnisse zu Nanotechnologie sowie zu den Studiengängen des Exzellenzclusters.

Vortest
---------

Was bedeutet die Abkürzung 'nano' ?

Code:	
-------	--

Neun	
Millionstel	
Zwerg	
Milliardenstel	

Seit wann gibt es Forschung zur Nanotechnologie ?

Seit dem Anfang des 21. Jahrhunderts	
Seit dem Anfang des 20. Jahrhunderts	
Seit Ende der 1950er Jahre	
Seit Ende der 1970er Jahre	
Seit Ende der 1980er Jahre	

Wie viele Arbeitsplätze hängen in Deutschland von der Nanotechnologie ab ?

< 20.000	
50.000	
80.000	
> 100.000	

Kennt Ihr den Studiengang Materialwissenschaften und Werkstofftechnik ? j/n	
---	--

Wisst Ihr, dass man in Erlangen Nanotechnologie studieren kann ? j/n	
--	--

**Abb. 33:** Fragebogen zum Vortest

Der am Ende der Veranstaltung durchgeführte Nachtest ist nahezu identisch.

- **Fragebogen zur Akzeptanz der Inhalte und des Konzeptes**

Auf der Vorderseite werden der Einführungsvortrag und die Stationen bewertet.

Dabei wird zwischen den gedruckten Materialien und dem Experiment unterschieden.

Die Abweichung von den Schulnoten wurde erläutert.

Dieses Design zu Inhalten und Akzeptanz wurde auch bei den Fragebögen zu den Lehrerfortbildungen angewendet.



<b>Evaluation</b>
-------------------

Bewertungsschema:

1	2	3	4
gut	weniger gut	bedingt	ungeeignet

Code:	
-------	--

Einführungsvortrag:	
---------------------	--

Liste der vorgesehenen Versuchsstationen			Materialien	Experiment
Nr.	Thema:	Bereich:		
1	Einstiegsexperimente zu Nanomaterialien	Nano		
2	Ruß als Nanomaterial	Nano		
3	Ferrofluid	Nano		
4	Kupfer-Nanopartikel: Reduktion mit Ascorbinsäure	Nano		
5	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Elektrolyse	Nano		
6	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Citrat	Nano		
7	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Borhydrid-Ionen	Nano		
8	Biozider Werkstoff: Eingebettete Silber-Nanopartikel in Polyester	Nano		
9	Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Citrat	Nano		
10	Gold-Nanopartikel: Synthese mit Antioxidanzien	Nano		
11	Gold-Nanopartikel: Reduktion mit CO	Nano		
12	Beschichtung von Oberflächen nach dem Sol-Gel-Verfahren	Nano		
13	Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel	Nano		
14	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell) mit Bleistiftminen	Energie		
15	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell) mit Graphitfolien	Energie		
16	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit dem Hofmann-Apparat	Energie		
17	Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor als Generator	Energie		
18	Wind-zu-Wasserstoff: Horizontaler Windrotor als Generator	Energie		
19	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit Windenergie	Energie		
20	Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC)	Energie		

**Abb. 34:** Fragebogen zur Evaluation der Versuchsstationen

Auf der Rückseite werden Fragen zum Konzept gestellt und es ist Raum für Wünsche und Kommentare.

Wichtig für die weitere Entwicklung des Schülerlabors sind die Wünsche bezüglich Materialien und Stationen. Beim Konzept gab es im Vorfeld unterschiedliche Ansätze zwischen den beteiligten Fachdidaktiken, die nunmehr hinterfragt wurden.

<b>Kommentar zu den Versuchsstationen: j/n</b>	
Alle Stationen sollen durchlaufen werden	
Es soll eine Auswahl durchlaufen werden	
Materialien sollen vorher zur Verfügung gestellt werden	
Materialien sollen am Labortag zur Verfügung gestellt werden	

<b>Kommentar zum Konzept: +//+ -// -</b>	
1	Vorbereitung auf W- und P-Kurse (Seminararbeiten)
2	Unterstützung von 'Jugend forscht'
3	Hinführung auf Studiengänge Material-, Nanowissenschaften
4	Anbindung an die Inhalte des Exzellenzclusters
5	Schnupperbesuche in Instituten

<b>Alternative Gesamtkonzepte: Bitte kreuze die bevorzugte Alternative an</b>	
1	Stufenkonzept: 1. Praktikum, 2. Besuch EAM-Labore, 3. Studienarbeiten
2	Einstufig: Kein Praktikum, nur forschungsnahe Experimente

<b>Wärst Du bereit, zu mehreren Terminen zu kommen ? j/n</b>	
--	--

<b>Soll das Schülerlabor Industriekontakte vermitteln ? j/n</b>	
---	--

<b>Welche Alternative würdest Du bevorzugen ? Bitte ankreuzen</b>	
halbtags	
ganztags	

**Wünsche an das Schülerlabor:**

**Freie Kommentare:**

**Abb. 35:** Fragebogen zum Konzept des EAM-Schülerlabors Chemie

Die Auswertung der Fragebögen erfolgte mit dem Statistik-Programm PSPP – einem Open-Source-Programm in Anlehnung an SPSS.

Bewertet wurden diese Inhalte mit den Notenstufen 1 bis 4:

1	2	3	4
gut	weniger gut	bedingt	ungeeignet

Dieses in Schulen unübliche Bewertungsschema wurde erläutert und diente der Vereinfachung und stärkeren Akzentuierung. Die Bewertung 2 bedeutete, dass nur geringe Mängel

vorlagen. Eine Bewertung mit 3 signalisierte Überarbeitungsbedarf bei den Materialien bzw. Experimenten.

Die Auswertung erfolgte über die Ermittlung von Häufigkeitsverteilungen. Eine weitergehende statistische Untersuchung über den t-Test erübrigte sich, da wegen der vorher durchdachten Konzeption in der Regel keine Normalverteilung vorlag.

## **8.2 Evaluation der Fortbildungen für Lehrkräfte**

Beginnend mit dem Wintersemester 2013/14 wurden insgesamt vier Lehrerfortbildungsveranstaltungen durchgeführt und ausgewertet. Der Teilnehmerkreis war unterschiedlich:

- Ausschreibung durch das Regionale Lehrerfortbildungszentrum
- Einladung über den Verband der Chemielehrer an bayerischen Gymnasien
- Ausschreibung als Regionale Lehrerfortbildung durch den Ministerialbeauftragten des Regierungsbezirks Mittelfranken.

Die Teilnehmerzahlen waren relativ gering, da nur jeweils eine Lehrkraft pro Schule beurlaubt wurde. Noch kritischer stellte sich bis zum Sommersemester 2015 die Rückmeldung bzw. Nachfrage dar. Der Durchbruch wurde erst im Wintersemester 2015/16 durch gezielte Ansprache der Schulleiter von Gymnasien mit naturwissenschaftlich-technologischen Zweig im Regierungsbezirk Mittelfranken erreicht. Seither gibt es zu sehr vielen Schulen einen direkten Kontakt mit festen Ansprechpartnern. Nur wenige Schulen haben nicht reagiert. Ob diese Kontakte nachhaltig sind muss die Zukunft erweisen.

Gymnasien werden mit vielfältigen Anfragen zu außerschulischen Projekten konfrontiert. Darüber hinaus ist es durch ministerielle Vorgaben immer schwieriger, sich aus dem Schulalltag zu lösen. Die Gymnasien haben in unserer Zielgruppe Gymnasiale Oberstufe sehr engmaschige Zeitpläne und sind im Sommerhalbjahr durch die Abiturphase kaum noch flexibel.

Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung der Akzeptanz des Konzeptes sowie die schrittweise Erprobung der vorgesehenen Experimente. Letztere müssen wegen der Anforderungen des Zentralabiturs möglichst kompatibel mit dem Lehrplan sein.

Für die Lehrkräfte ist ein Manual erarbeitet worden, in dem neben den ausgearbeiteten Schülerarbeitsbögen auch großer Wert auf wissenschaftliche Hintergrundinformation gelegt wurde (s. Anhang III). Zu Beginn des Projektes gab es achtzehn Stationen:

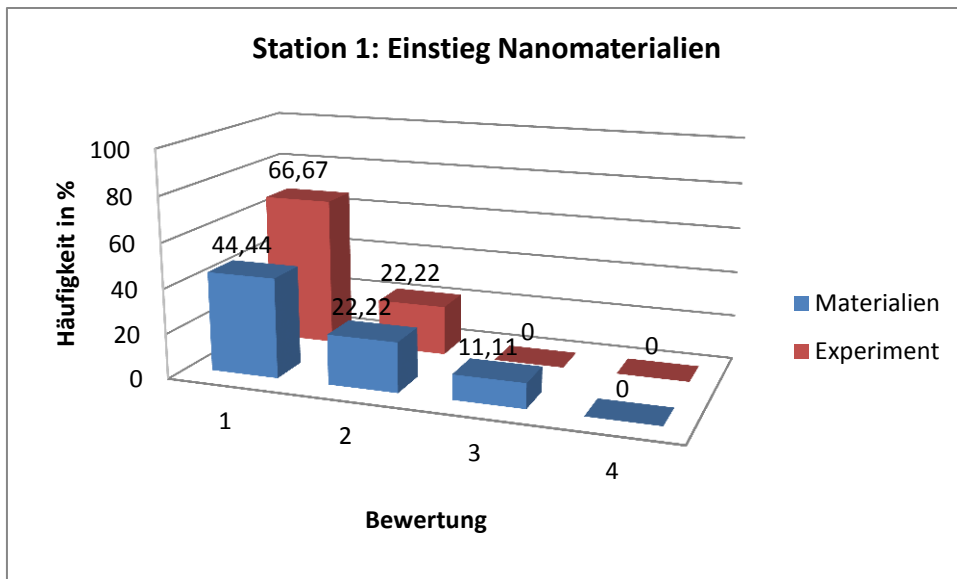
Liste der vorgesehenen Versuchsstationen		
Nr.	Thema:	Bereich:
1	Einstieg Nanomaterialien	Nano
2	Ferrofluid (Systematische Untersuchung zum Superparamagnetismus)	Nano
3	Ruß	Nano
4	Metallkolloide: Kupfer (Reduktion mit Ascorbinsäure)	Nano
5	Metallkolloide: Silber (Elektrolyse nach nach Bredig )	Nano
6	Metallkolloide: Silber (Citratmethode nach Turkevici)	Nano
7	Metallkolloide: Silber (Reduktion mit Borhydrid nach Creighton)	Nano
8	Metallkolloide: Gold (Citratmethode nach Turkevici)	Nano
9	Metallkolloide: Gold (Reduktion mit Antioxidanzien)	Nano
10	Metallkolloide: Gold (Reduktion mit CO aus Mikropropanbrenner)	Nano
11	Sol-Gel-Verfahren: Einführung über Berliner Blau	Nano
12	Sol-Gel-Verfahren: Antireflexbeschichtung mit TEOS	Nano
13	Hydrophobierung von Glasoberflächen ohne Lösungsmittel	Nano
14	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell): Single	Energie
15	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell): Stack	Energie
16	Wind-zu-Wasserstoff: Brennstoffzelle	Energie
17	Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor	Energie
18	Wind-zu-Wasserstoff: Elektrolyse	Energie

**Tab. 2:** Liste der vorgesehenen Versuchsstationen

Vor Eintritt in die Experimentierphase fand ein ca. 90minütiger Einführungsvortrag statt.

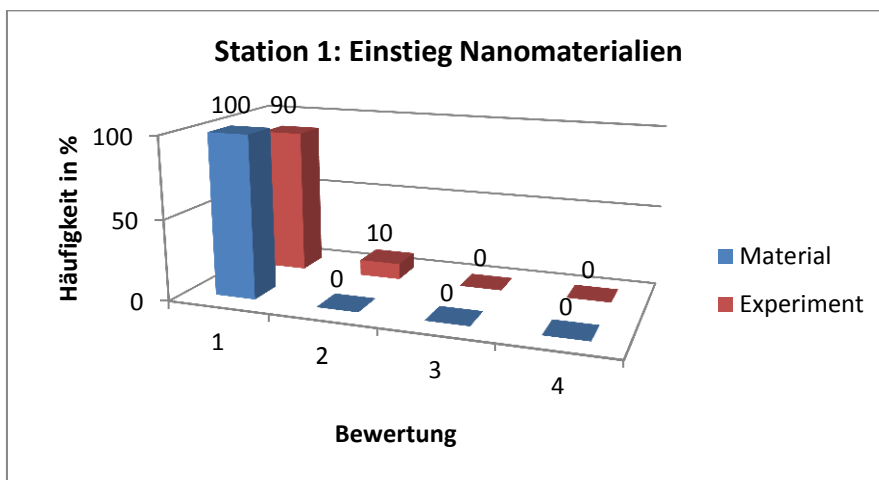
Die vollständigen mit PSPP ermittelten Daten befinden sich im Anhang (Anhang IV). Es sollen an dieser Stelle gezielt Ergebnisse vorgestellt werden. Das Experimentalkonzept wurde bei den ersten Fortbildungen bis zum Sommersemester 2014 so beibehalten.

Der Einführungsvortrag wurde bei beiden Lehrerfortbildungen ganz überwiegend gut beurteilt. Bei Materialien und Experiment sollen hier Beispiele mit dem Bewertungsspektrum 1 bis 3 vorgestellt werden. Die Bewertung 4 (ungeeignet) kam nicht vor.



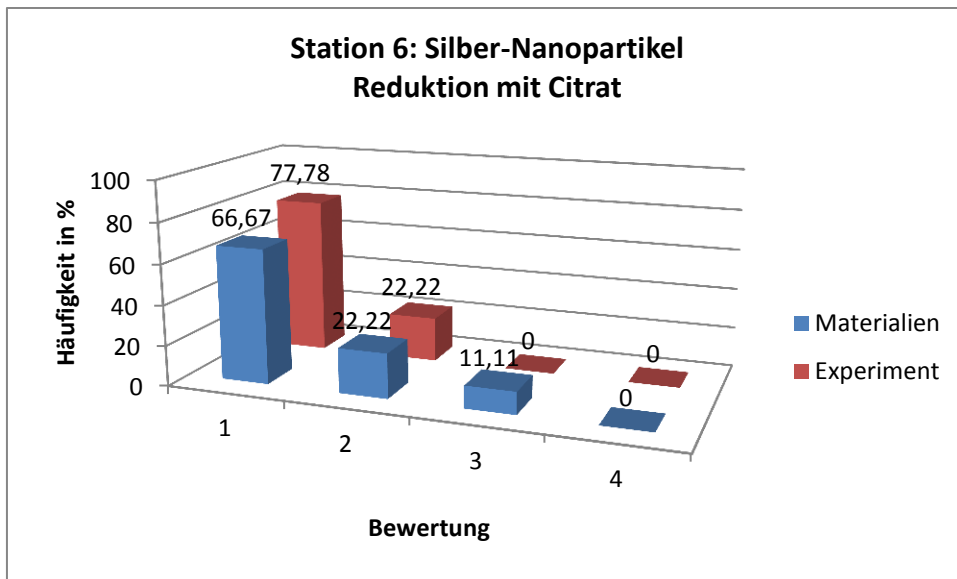
**Abb. 36:** Station Einstiegsexperimente: Ergebnis LFB 02/2014

Die Bewertung der Materialien und Experimente wurde zum Anlass einer Überarbeitung genommen und die Auswertung der nächsten Lehrerfortbildung zeigt eine deutliche Verbesserung:

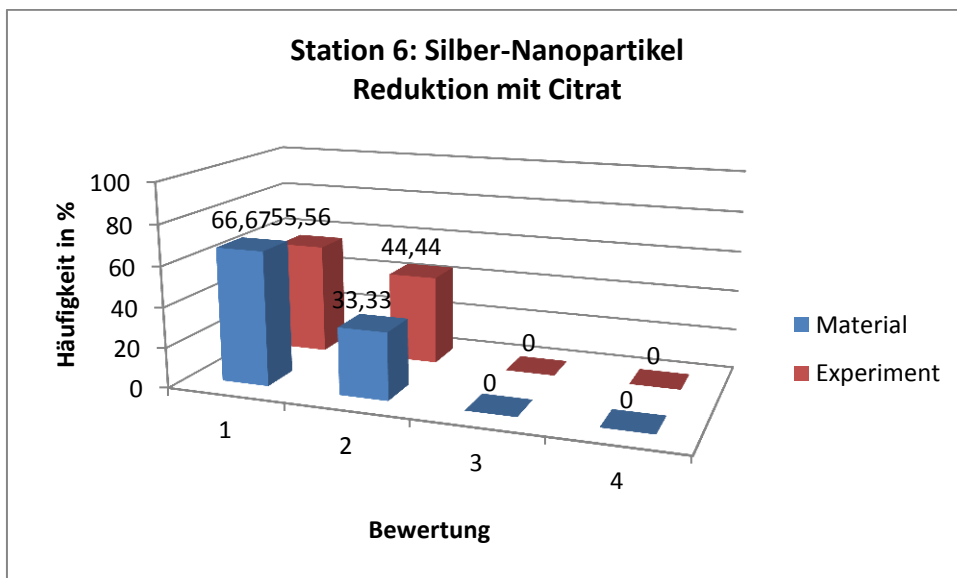


**Abb. 37:** Station Einstiegsexperimente: Ergebnis LFB 07/2014

Im Folgenden sollen weitere Ergebnisse mit einem Bewertungsspektrum von 1 bis 3 vorgestellt und kommentiert werden.

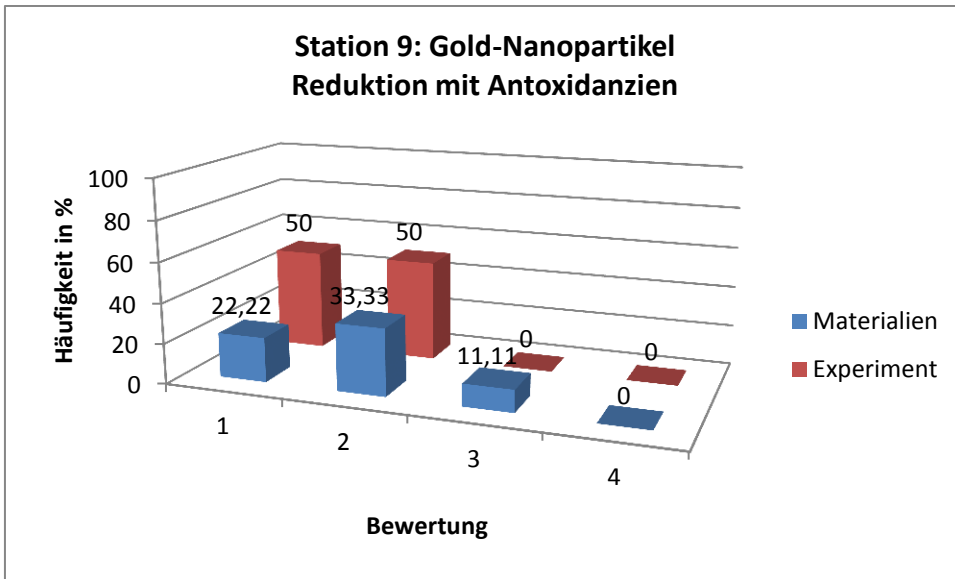


**Abb. 38:** Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 02/2014

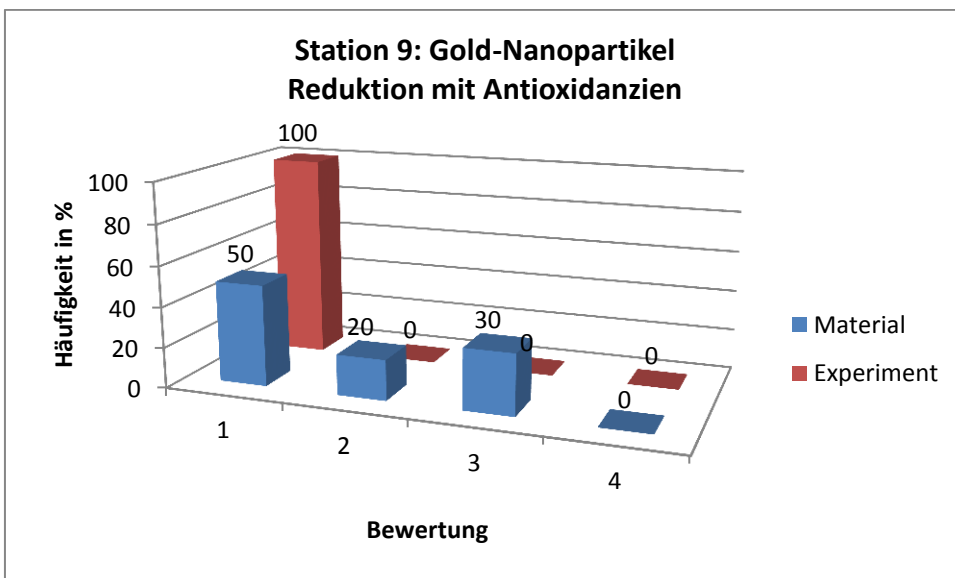


**Abb. 39:** Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 07/2014

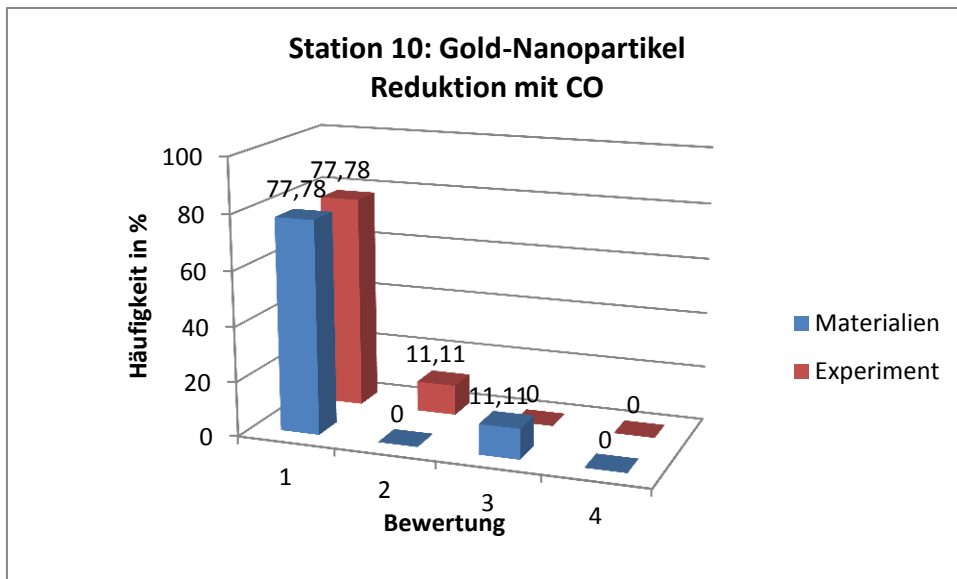
Diese Ergebnisse gaben Anlass zu einer deutlichen Überarbeitung dieser Station. Das Experiment erfordert Geduld und frisch angesetzte Lösungen. Es wurde so umgestaltet, dass die Ergebnisse sicher waren.



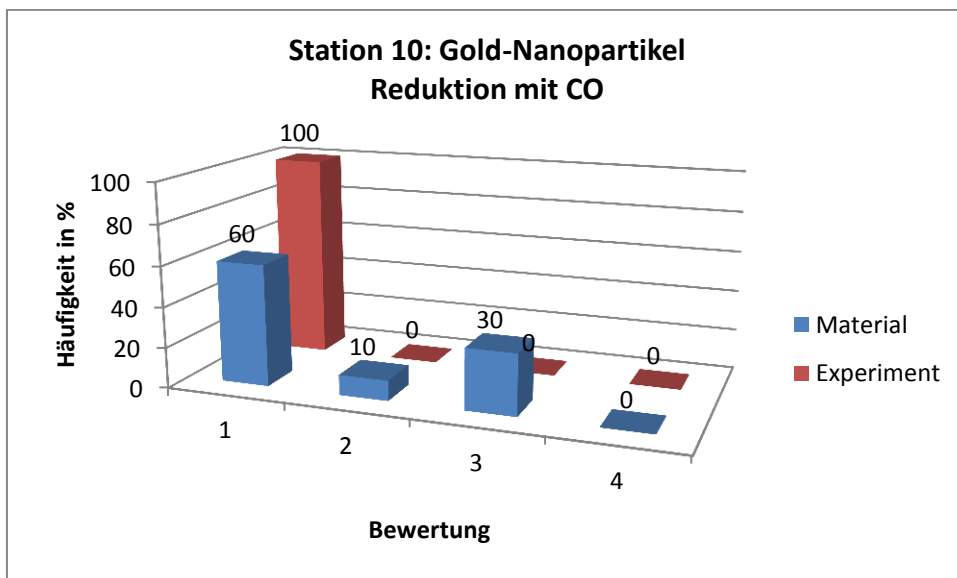
**Abb. 40:** Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Antioxidanzien): Ergebnis LFB 02/2014



**Abb. 41:** Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Antioxidanzien): Ergebnis LFB 07/2014



**Abb. 42:** Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit CO): Ergebnis LFB 02/2014

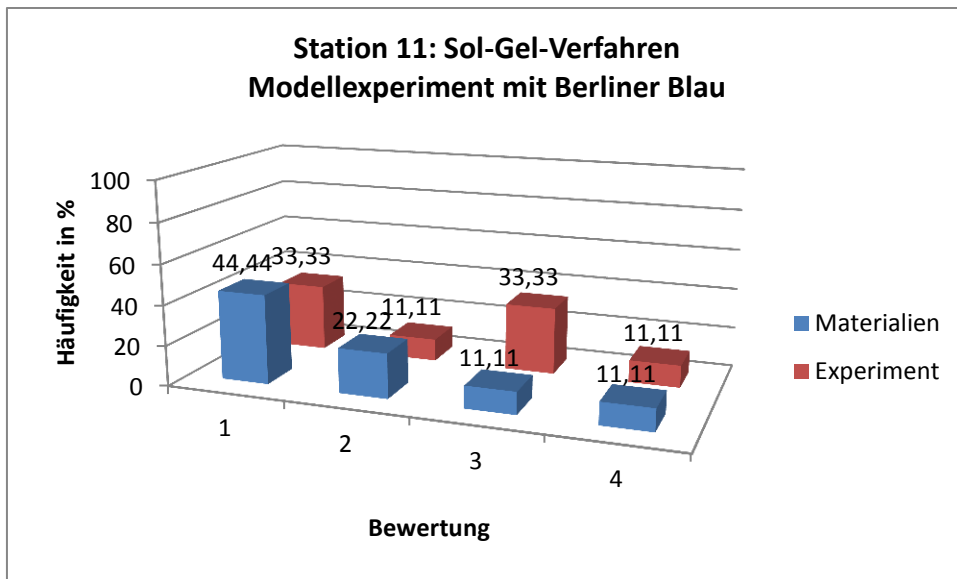


**Abb. 43:** Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit CO): Ergebnis LFB 07/2014

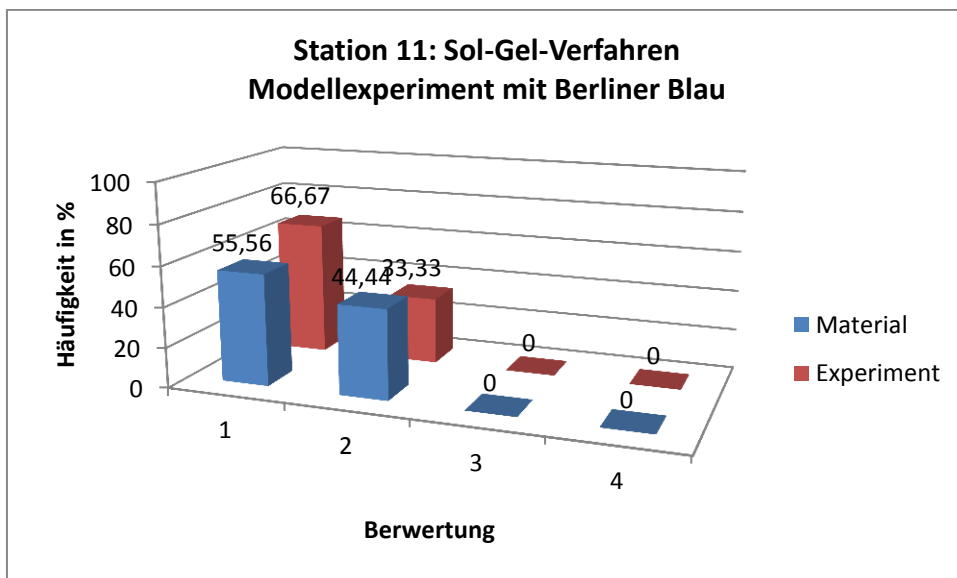
Für alle Gold-Experimente wurden die Materialien hinsichtlich der experimentellen Durchführung überarbeitet und durch Tischvorlagen ergänzt. Die studentischen Hilfskräfte wurden nachgeschult.

Nach diesen Stationen zur Nanotechnologie kam noch das Sol-Gel-Verfahren in einer chemischen Modellvariante. Es handelte sich hier um ein von Ostwald bei seinen Vorträgen vorgeführten Experiment mit dem Berliner Blau (Ostwald, 1943).



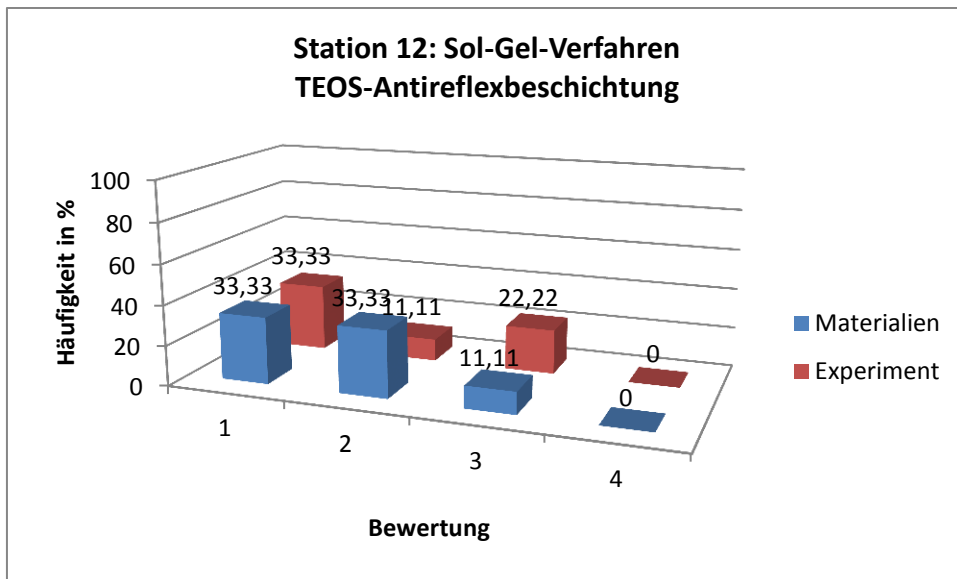


**Abb. 44:** Station Sol-Gel-Verfahren (Modellexperiment mit Berliner Blau): Ergebnis LFB 02/2014

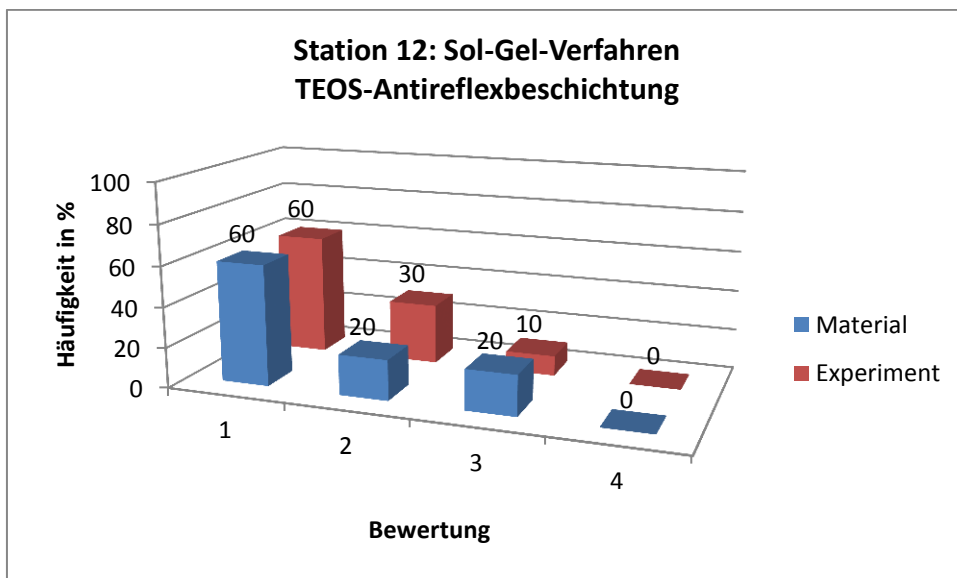


**Abb. 45:** Station Sol-Gel-Verfahren (Modellexperiment mit Berliner Blau): Ergebnis LFB 07/2014

Nach diesen Ergebnissen wurde entschieden, das Experiment nicht weiter anzubieten, zumal es in Bayern auch nicht lehrplankonform ist.

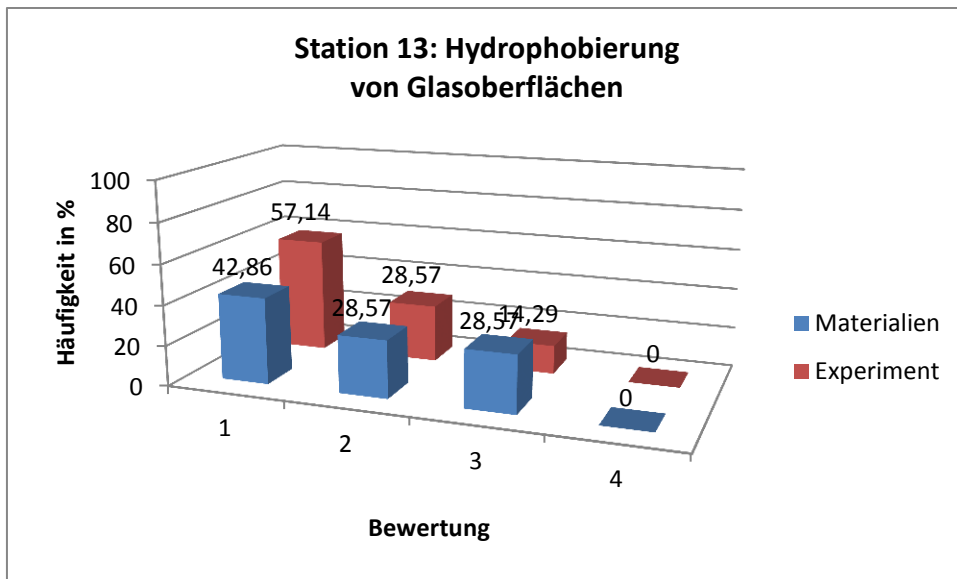


**Abb. 46:** Station Sol-Gel-Verfahren (TEOS-Antireflexbeschichtung): Ergebnis LFB 02/2014

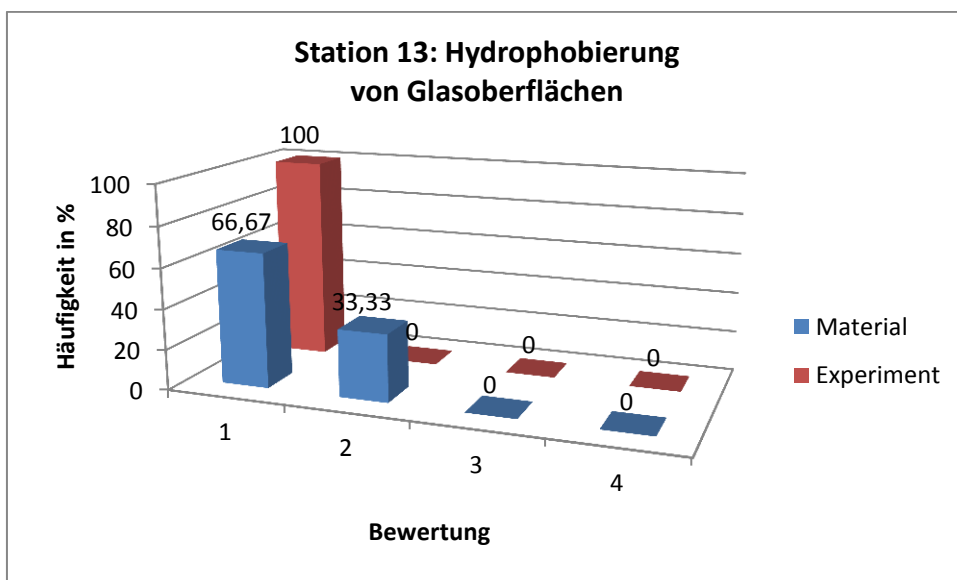


**Abb. 47:** Station Sol-Gel-Verfahren (TEOS-Antireflexbeschichtung): Ergebnis LFB 07/2014

Bei diesem Experiment wurden die Materialien hinsichtlich der experimentellen Durchführung überarbeitet und die studentischen Hilfskräfte sorgten für mehr Hintergrundinformationen.



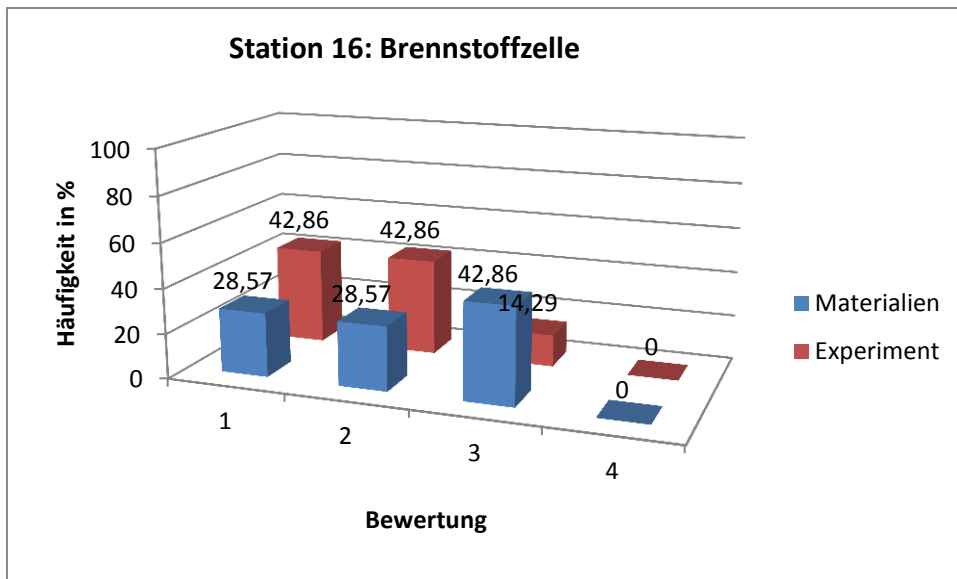
**Abb. 48:** Station Hydrophobierung von Glasoberflächen: Ergebnis LFB 02/2014



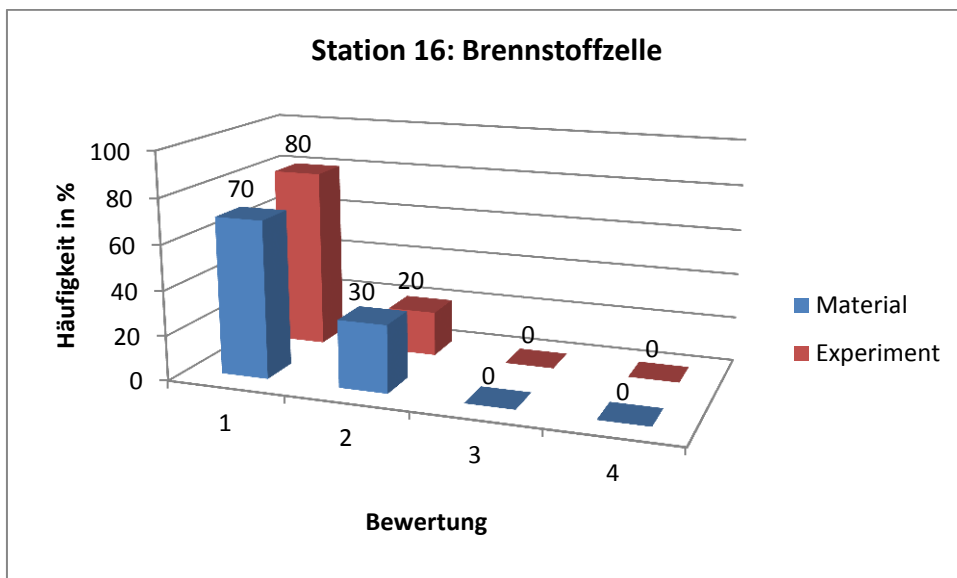
**Abb. 49:** Station Hydrophobierung von Glasoberflächen: Ergebnis LFB 07/2014

Dieses Experiment wurde optimiert und das Ergebnis zeigt eine deutliche Lernkurve bei Materialien und Experiment. Es ist ein Schlüsselexperiment für die Einbindung wissenschaftlicher Methoden der Nanotechnologie und der Kooperation mit Forschungsinstituten (Heinzerling, Dräger, Kometz & Preiß, 2015).

Die folgenden Experimente gehören zum Themenbereich Energie mit dem Schwerpunkt Energiespeicherung. Zur Einheit Wind-zu-Wasserstoff gehört unabdingbar die Brennstoffzelle als Grundlage für die Wasserstoff-Gewinnung und die reversible Energieumwandlung.



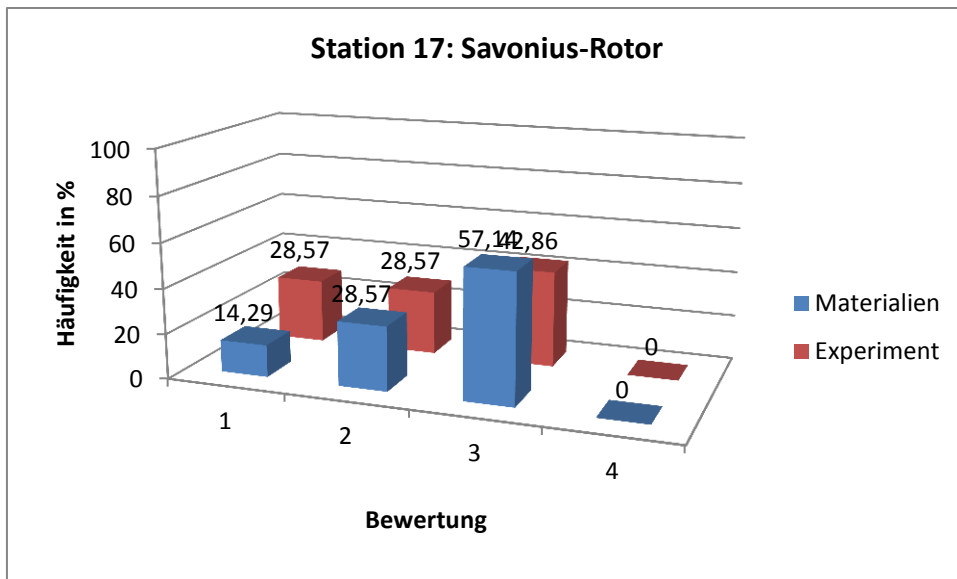
**Abb. 50:** Station Brennstoffzelle: Ergebnis LFB 02/2014



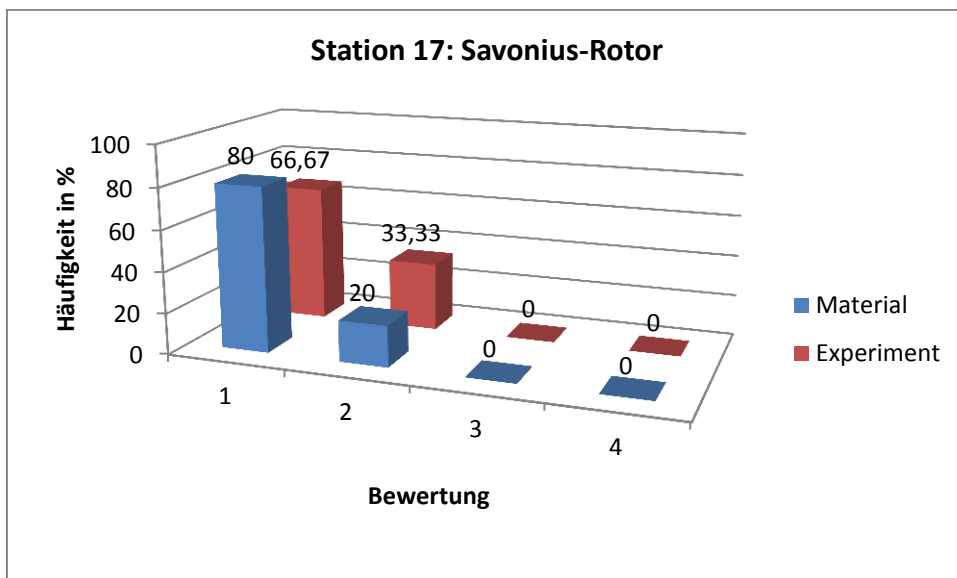
**Abb. 51:** Station Brennstoffzelle: Ergebnis LFB 07/2014

Grundsätzlich ist es ein Wiederholungs- und Festigungsexperiment, lediglich die Versuchsmaterialien sind andere als in der Schule.

Die regenerativen Energien auf der Basis von Windenergie werden schrittweise über den Savonius-Rotor bis hin zu horizontalen Windgeneratoren mit angeschlossener Elektrolyse von Wasser erarbeitet (Heinzerling & Kometz, 2014). Die eingesetzten Lehrmittel stammen aus den USA und Singapur.



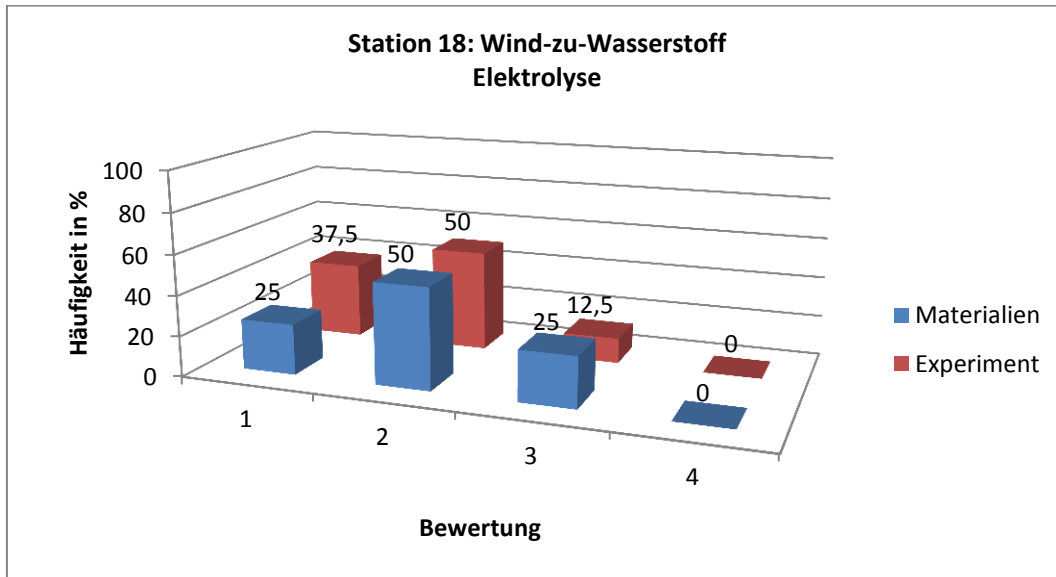
**Abb. 52:** Station Savonius-Rotor: Ergebnis LFB 02/2014



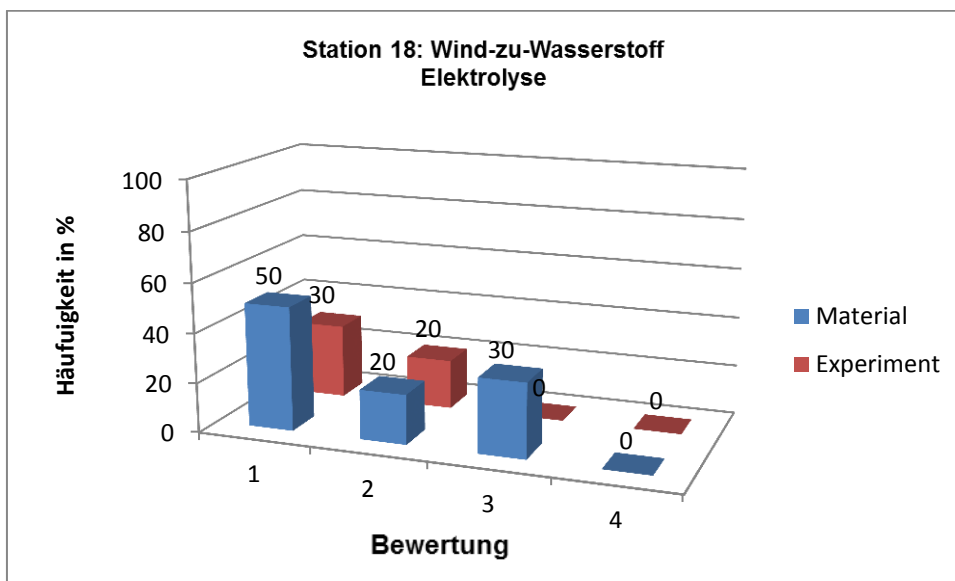
**Abb. 53:** Station Savonius-Rotor: Ergebnis LFB 07/2014

Nach der ersten Fortbildung wurden Materialien und Experiment überarbeitet und optimiert. Die Station diente auch zur Wiederholung von Grundlagen der Physik aus Klasse 9, was für bayerische Chemielehrer ungewohnt war. Im Studium wird ihnen durch die Prüfungsordnung diese Fächerkombination verwehrt (s.o.).

In Station 18 wird schrittweise zum Wind-zu-Wasserstoff-Konzept geführt, bei dem am Ende aus regenerativer Windenergie durch Elektrolyse überschüssige Windenergie in Wasserstoff umgewandelt wird.



**Abb. 54:** Station Wind-zu-Wasserstoff (Elektrolyse): Ergebnis LFB 02/2014



**Abb. 55:** Station Wind-zu-Wasserstoff (Elektrolyse): Ergebnis LFB 07/2014

Als Folge der Evaluation wurde diese Station grundlegend überarbeitet, insbesondere das Material anschaulicher gestaltet.

Die nächste Lehrerfortbildung im Oktober 2014 ergab bei den meisten Stationen Bewertungen für Material und Experiment im Durchschnitt Bestwerte. Die Datenbasis war

allerdings teilweise recht dünn. Es sollen hier nur die Abweichungen von den sonst optimalen Ergebnissen vorgestellt werden.

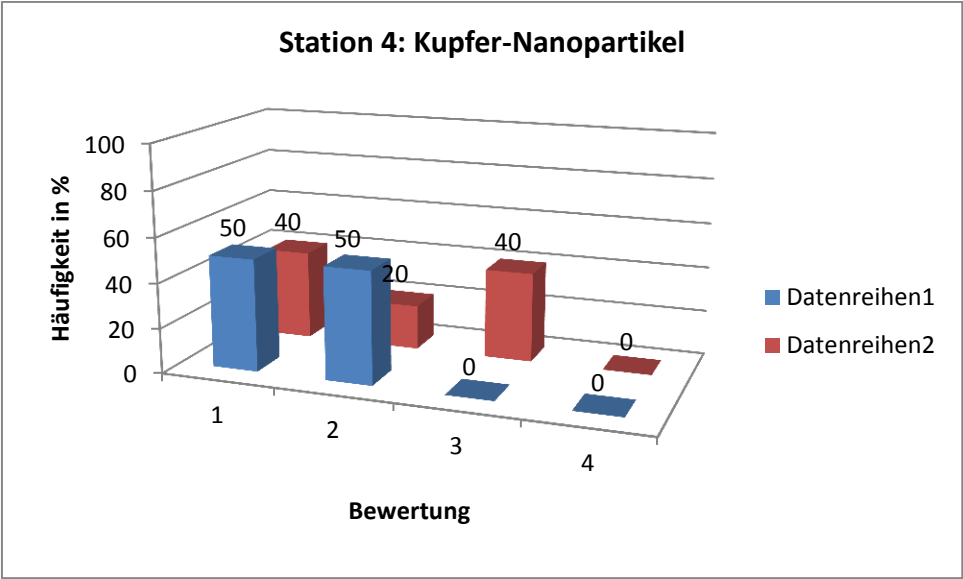


Abb. 56: Station Kupfer-Nanopartikel: Ergebnis LFB 10/2014

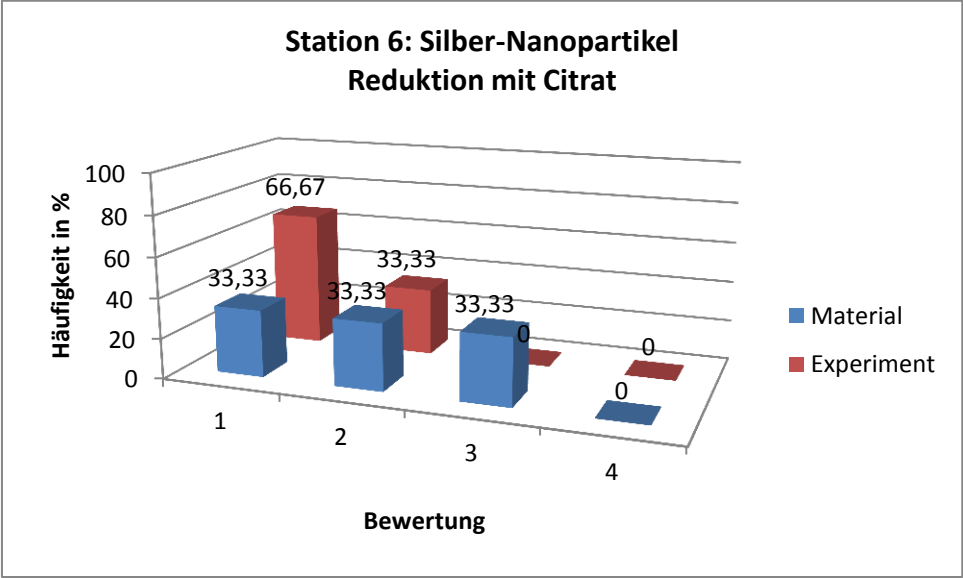
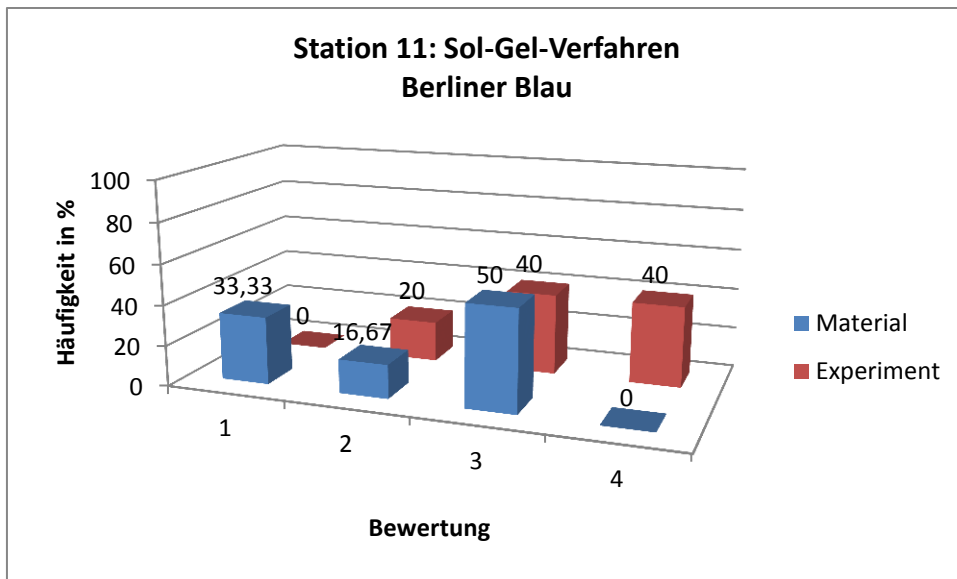
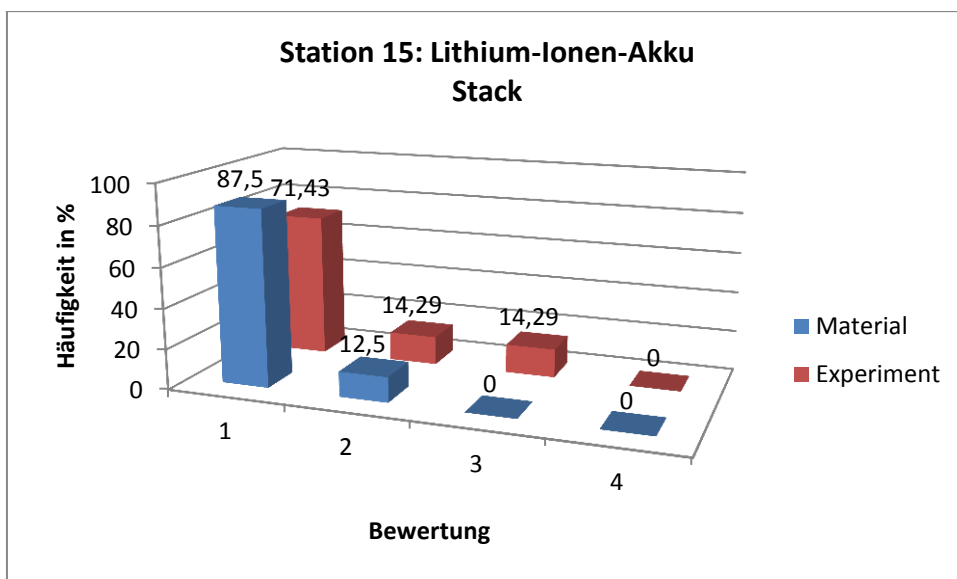


Abb. 57: Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 10/2014



**Abb. 58:** Station Sol-Gel-Verfahren (Modellexperiment mit Berliner Blau): Ergebnis LFB 10/2014

Diese Station erscheint nach den Ergebnissen dreier Lehrerfortbildungen nicht mehr optimierbar.



**Abb. 59:** Station Lithium-Ionen-Akku (Stack): Ergebnis LFB 10/2014

Der Verband der Chemielehrer bayerischer Gymnasien (VCBG) organisierte eine Fortbildung für Lehrkräfte, die z.T. aus großer Entfernung angereist waren. Für das Projekt war bezüglich des späteren Besuches von Schülern nicht sonderlich förderlich. Aufgrund der Expertise der Teilnehmer sollen die Ergebnisse dennoch vorgestellt werden.



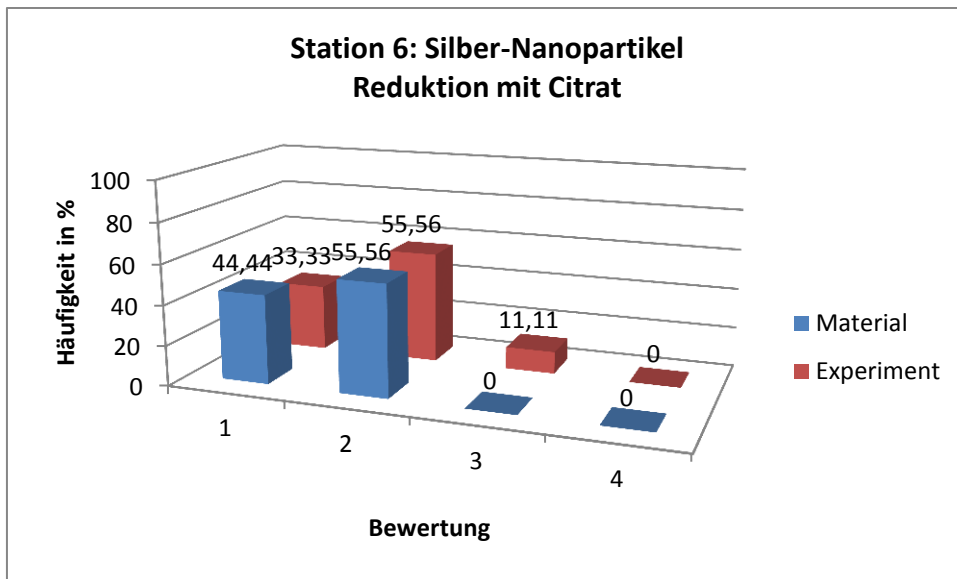
Aus den ersten Evaluationen der Lehrerfortbildungen wurden Konsequenzen bezüglich der Anordnung und der Inhalte gezogen. So wurde das Modellexperiment zum Sol-Gel-Verfahren über die Komplex-Verbindung Berliner Blau eliminiert. Neu hinzugekommen sind die Einbettung von Silber-Nanopartikeln in Polyester und die chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC) als Experimente nahe an der Forschung im Cluster.

Liste der vorgesehenen Versuchsstationen		
Nr.	Thema:	Bereich:
1	Einstiegsexperimente zu Nanomaterialien	Nano
2	Ruß als Nanomaterial	Nano
3	Ferrofluid	Nano
4	Kupfer-Nanopartikel: Reduktion mit Ascorbinsäure	Nano
5	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Elektrolyse	Nano
6	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Citrat	Nano
7	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Borhydrid-Ionen	Nano
8	Biozider Werkstoff: Eingebettete Silber-Nanopartikel in Polyester	Nano
9	Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Citrat	Nano
10	Gold-Nanopartikel: Synthese mit Antioxidanzien	Nano
11	Gold-Nanopartikel: Reduktion mit CO	Nano
12	Beschichtung von Oberflächen nach dem Sol-Gel-Verfahren	Nano
13	Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel	Nano
14	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell) mit Bleistiftminen	Energie
15	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell) mit Graphitfolien	Energie
16	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit dem Hofmann-Apparat	Energie
17	Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor als Generator	Energie
18	Wind-zu-Wasserstoff: Horizontaler Windrotor als Generator	Energie
19	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit Windenergie	Energie
20	Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC)	Energie

**Tab. 3:** Endgültige Liste der vorgesehenen Versuchsstationen

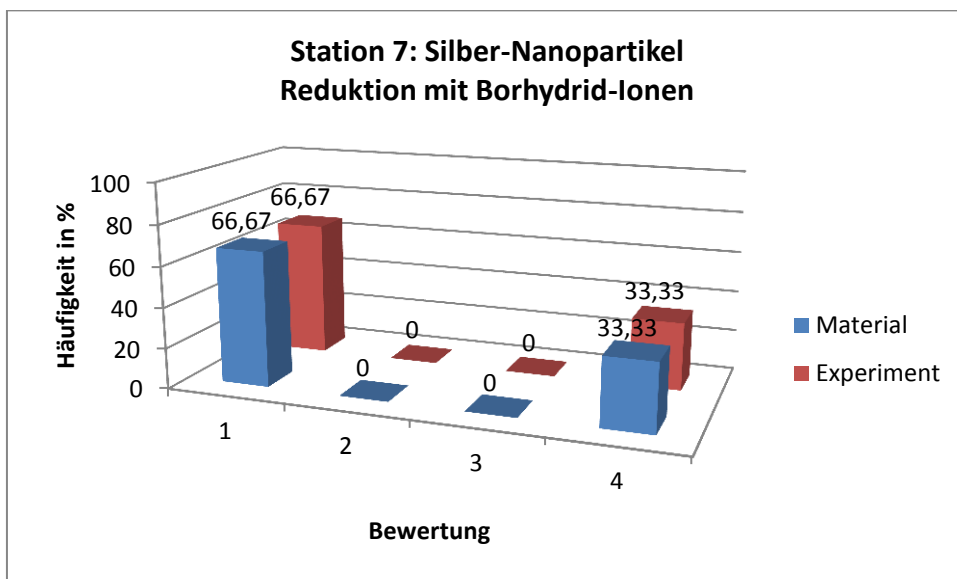
Damit stand die endgültige Konzeption des EAM Schülerlabors Chemie.

Auch hier sollen nur die auffälligen Stationen vorgestellt werden.



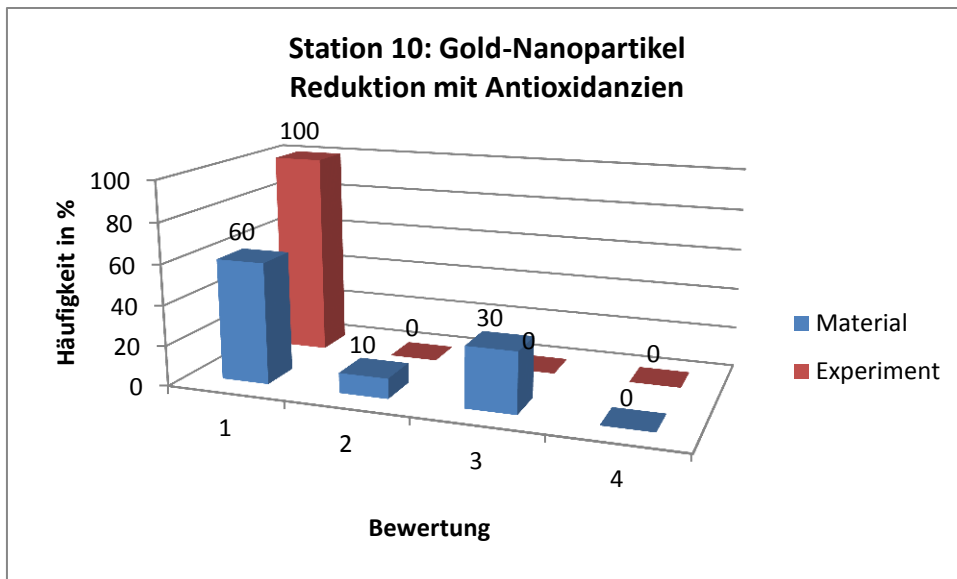
**Abb. 60:** Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB VCBY

Dieses Experiment erfordert Geduld, da die Reduktion nur bei Siedehitze stattfindet. Das Experiment wurde später durch eine Mikrowellenvariante erweitert, die Ergebnisse im unteren Minutenbereich liefert.



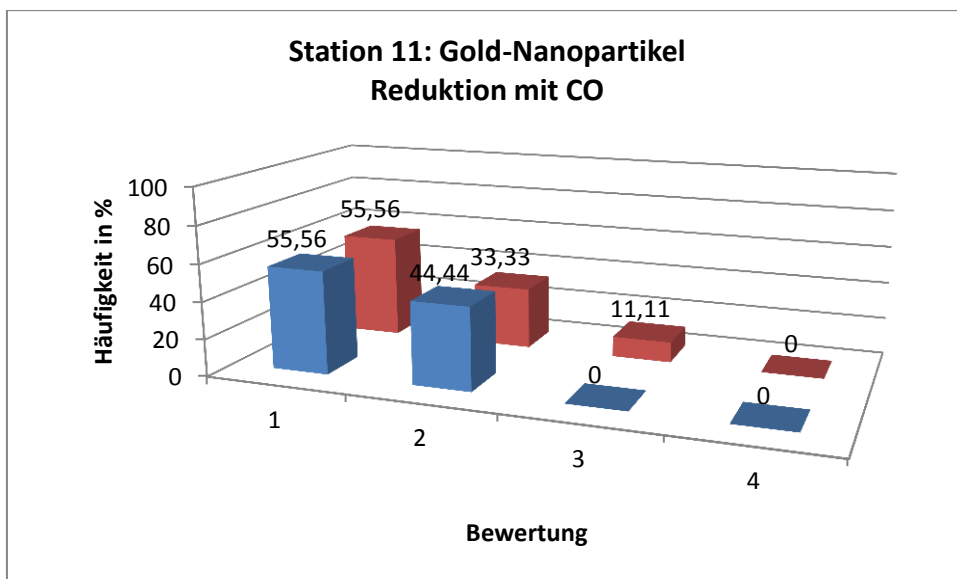
**Abb. 61:** Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Borhydrid-Ionen): Ergebnis LFB VCBY

Eine solche Ergebnisspreizung ist im gesamten Projekt einmalig.



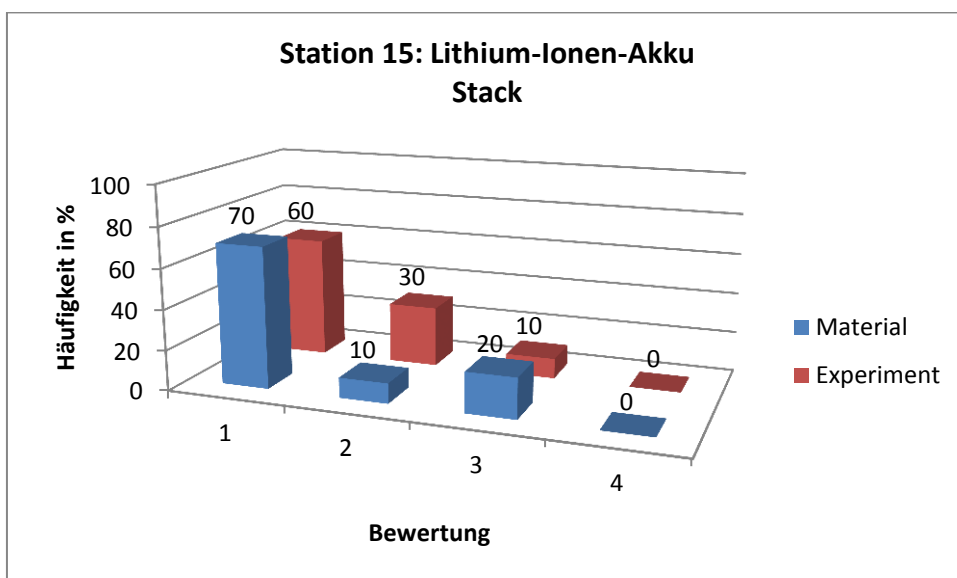
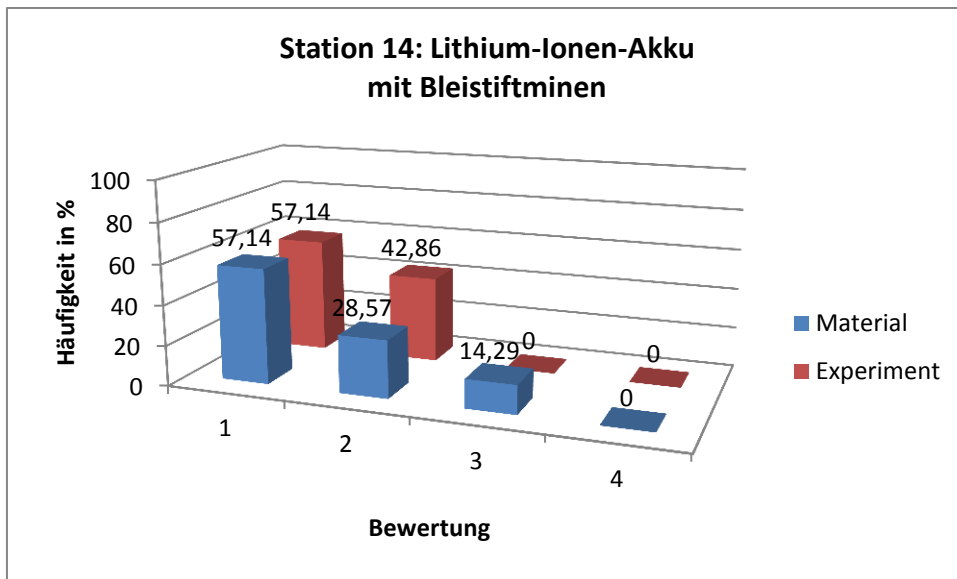
**Abb. 62:** Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Antioxidanzien): Ergebnis LFB VCBY

Bei diesem Experiment liegen anspruchsvolle Begleitmaterialien für den Lehrer vor.



**Abb. 63:** Station Gold-Nanopartikel, Reduktion mit CO: Ergebnis LFB VCBY

Dieses Experiment findet bei Schülern ausgesprochen guten Anklang (s.u.).



**Abb. 64:** Stationen Lithium-Ionen-Akku: Ergebnisse LFB VCBY

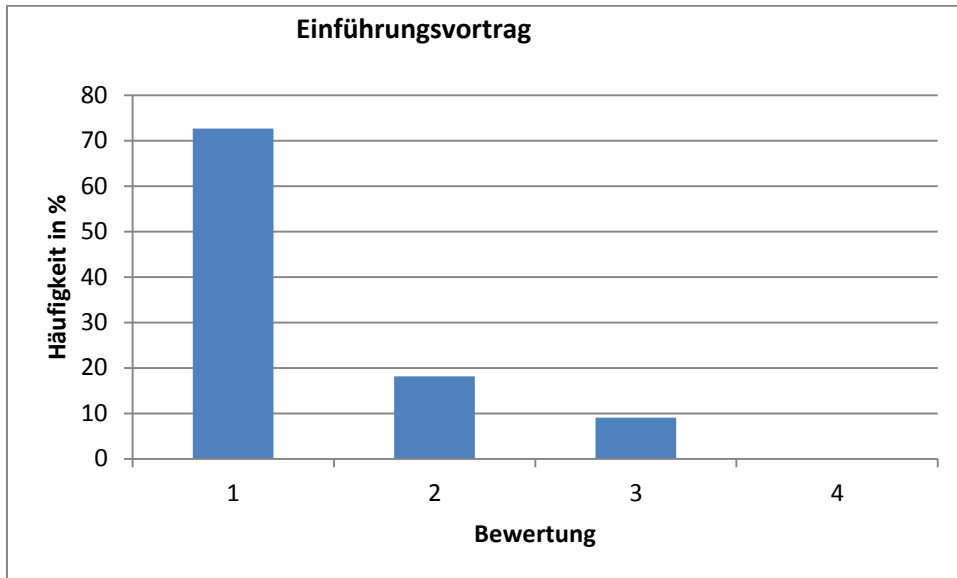
In Gesprächen mit Kolleginnen und Kollegen wurde die Hochpreisigkeit der von Oetken und Hasselmann (Hasselmann & Oetken, 2014) entwickelten Materialien kritisiert und dies auf die Bewertung projiziert. Der Fonds der chemischen Industrie fördert dieses Experimental-konzept finanziell, was vielen Lehrkräften nicht bekannt war.

Die Ausbeute an besuchenden Kursen war nach den ersten drei Lehrerfortbildungen ausgesprochen gering.

Nach diesen Erfahrungen wurden die schriftlichen Materialien überarbeitet und durch Tischvorlagen mit Hintergrundinformationen ergänzt.

Die letzte Lehrerfortbildung kam wie oben beschrieben durch gezielte Ansprache geeigneter Gymnasien zustande. Hier herrschte ein sehr aufgeschlossenes Klima und es gab hinterher eine sehr hohe Besuchsquote.

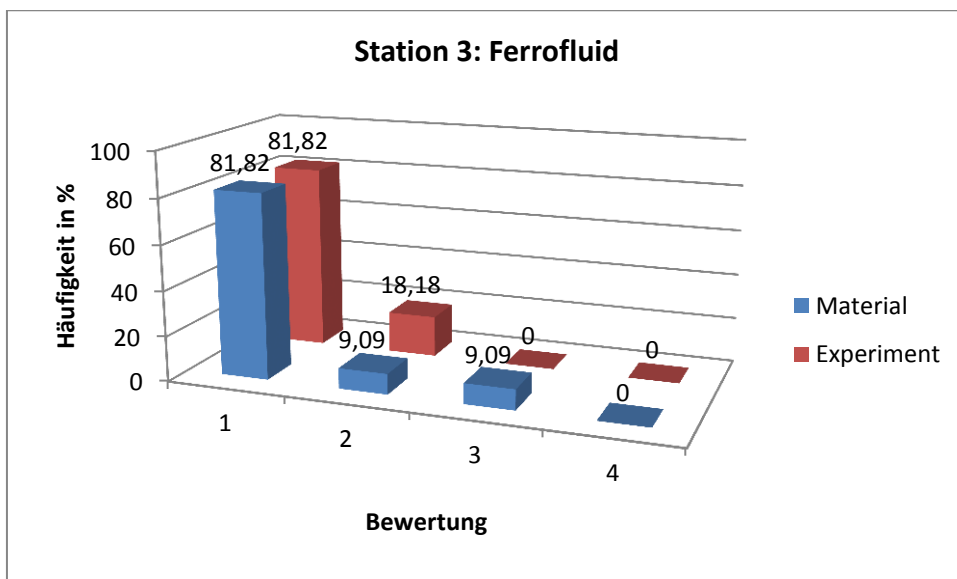
Erstmals gab es eine Spreizung beim Einführungsvortrag:



**Abb. 65:** Einführungsvortrag: Ergebnis LFB 10/2015

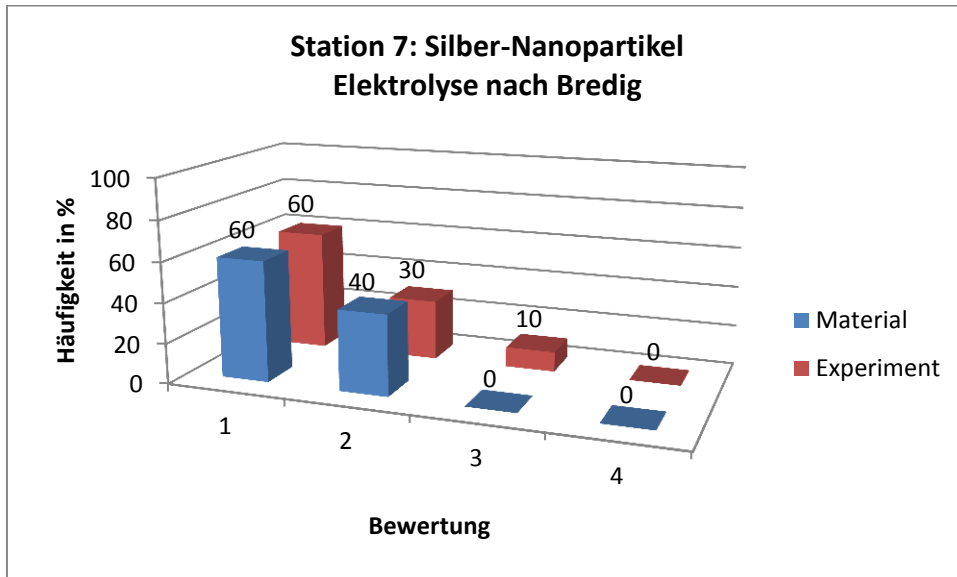
Diese Spreizung wurde kommentiert und mit der Länge des Vortrags bemängelt.

Auch im Folgenden sollen nur die Stationen mit auffälligen Ergebnissen vorgestellt werden.



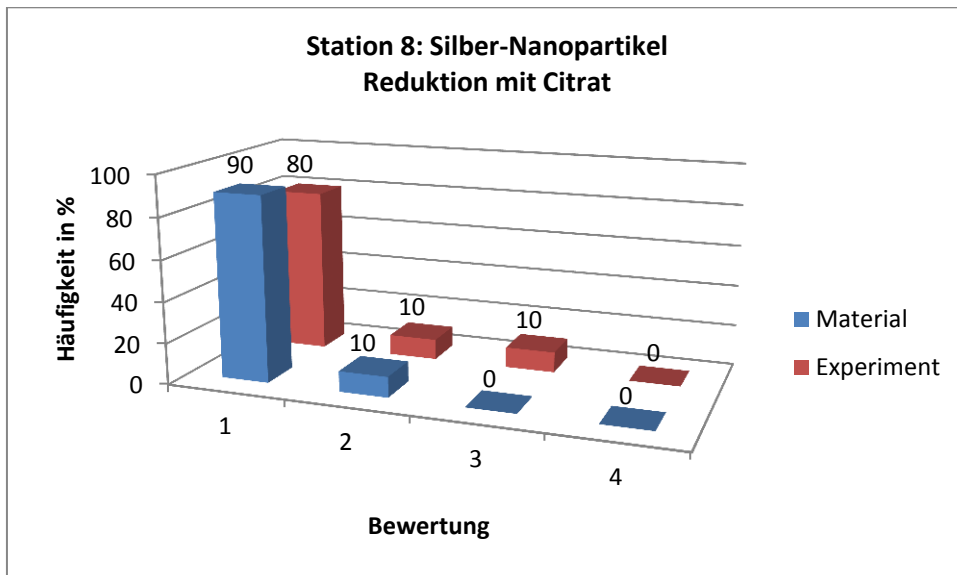
**Abb. 66:** Station Ferrofluid: Ergebnis LFB 10/2015

Es handelt sich um eine Station mit Anschauungsmaterial. Für die Lehrer und Schüler wird die Herstellung von Ferrofluid beschrieben, was den zeitlichen Rahmen des Praktikums gesprengt hätte.

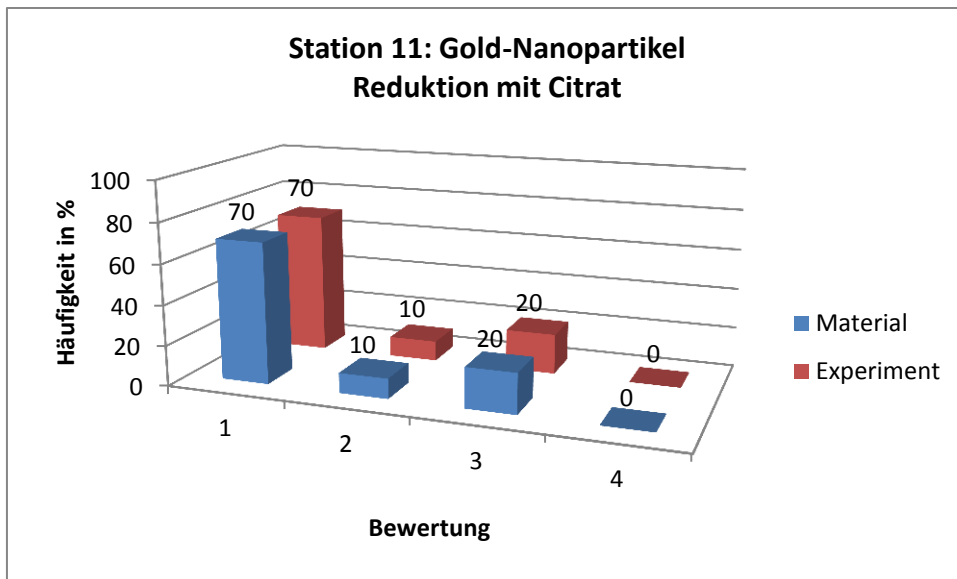


**Abb. 67:** Station Silber-Nanopartikel (Elektrolyse nach Bredig) Ergebnis LFB 10/2015

Dieses Evaluationsergebnis für diese Station war einmalig. Eine weitere Optimierung erschien nicht erforderlich.

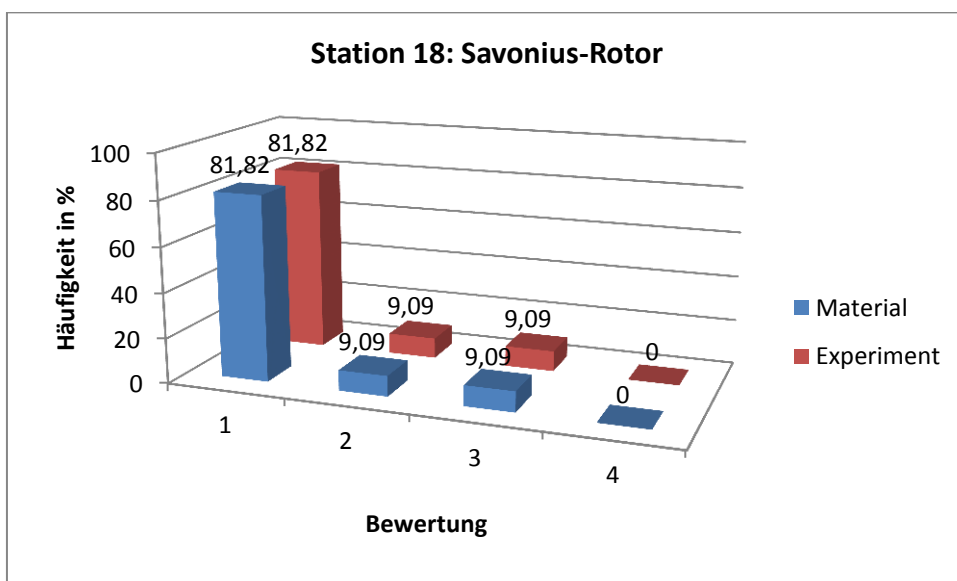


**Abb. 68:** Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 10/2015



**Abb. 69:** Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 10/2015

Beide Stationen erfordern beim Experimentieren etwas Geduld und bilden das Referenzexperiment nach Turkevich ab (Turkevich et al., 1951). Zum Zeitpunkt dieser Lehrerfortbildung kamen noch nicht die schnellen Mikrowellen-Varianten zum Einsatz.

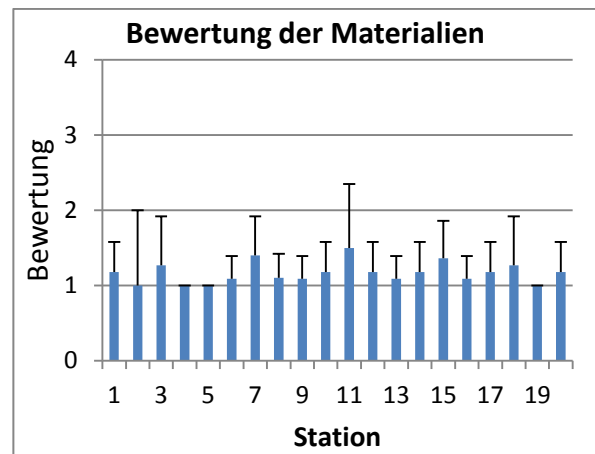
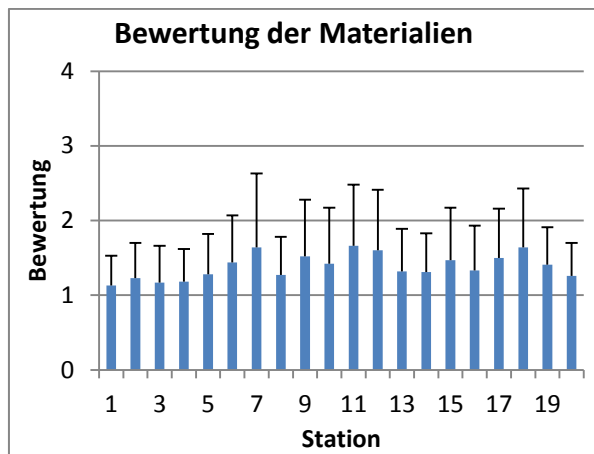


**Abb. 70:** Station Savonius-Rotor: Ergebnis LFB 10/2015

Dieses Experiment wurde bereits oben kommentiert.

Als Folge dieser Lehrerfortbildung gab es Besuche von zwölf Kursen und die Kontakte blieben intakt.

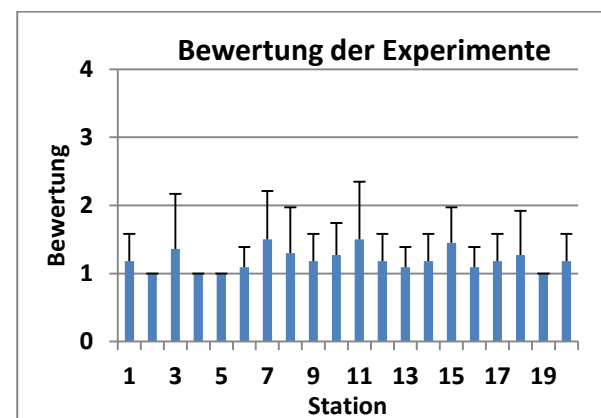
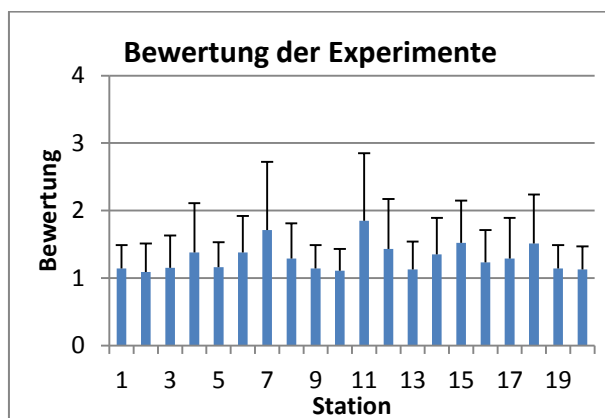
Zusammenfassend sollen hier die Bewertungen über alle Fortbildungen im Vergleich mit der letzten entscheidenden grafisch dargestellt werden:



Alle Lehrerfortbildungen

Lehrerfortbildung 10/2015

**Abb. 71:** Bewertung der Materialien der Fortbildungen mit Standardabweichung (Die Abweichungen nach unten wurden wegen nicht sinnvoller Ergebnisse  $< 1$  nicht dargestellt)



Alle Lehrerfortbildungen

Lehrerfortbildung 10/2015

**Abb. 72:** Bewertung der Materialien der Fortbildungen mit Standardabweichung (Die Abweichungen nach unten wurden wegen nicht sinnvoller Ergebnisse  $< 1$  nicht dargestellt)

Hier ist bei beiden Kategorien eine deutliche Lernkuve zu erkennen.

Nach den aufwändigen Evaluationen des Experimentalkonzeptes sollen im Folgenden über alle Fortbildungen die Kommentare zur Struktur und Konzeption des EAM Schülerlabors vorgestellt werden. Angegeben werden nur die tatsächlichen Antworten, die fehlenden wurden eliminiert.

Zunächst geht es um Organisatorisches:



- Sollen alle Stationen durchlaufen werden ?
- Soll das Material bereits vorher zur Verfügung gestellt werden ?

Antwort	Alle Stationen	Auswahl Stationen	Material vorher	Material taggleich
ja	10	38	21	31
nein	38	8	25	18

Zur inhaltlichen Konzeption wurden mehrere Fragen gestellt:

1	Vorbereitung auf W- und P-Kurse (Seminararbeiten)
2	Unterstützung von 'Jugend forscht'
3	Hinführung auf Studiengänge Material-, Nanowissenschaften
4	Anbindung an die Inhalte des Exzellenzclusters
5	Schnupperbesuche in Instituten

Diese konzeptionellen Fragen sollten mit +, +/- oder – beantwortet werden:

Antwort	Vorbereitung W- und P-Kurse	Unterstützung Jugend forscht	Hinführung Studium MW + NT	Anbindung Inhalte EAM	Schnupperbesuche in Instituten
+	29	32	34	10	33
+/-	13	8	9	12	7
-	2	0	1	7	1

Das zunächst zwischen den Didaktiken der Chemie und Physik strittige Gesamtkonzept wurde hinterfragt:

1	Stufenkonzept: 1. Praktikum, 2. Besuch EAM-Labore, 3. Studienarbeiten	28
2	Einstufig: Kein Praktikum, nur forschungsnahe Experimente	5

Die Mitglieder des VCBY wurden nicht befragt. Von 39 befragten Lehrkräften gaben 33 gültige Antworten, die Tendenz ist jedoch eindeutig, insbesondere bei der letzten entscheidenden Fortbildung.

Zur Ergänzung wurde noch die Bereitschaft für mehrere Termine und der Wunsch nach Industriekontakten hinterfragt:

Antwort	Mehrere Termine	Industriekontakte
ja	18	11
nein	30	33

Die Antworten sind konkludent: Industriekontakte setzen mehrere Termine voraus.

Bei der letzten Fortbildung wurde noch die Frage der Alternative halbtags oder ganztags abgefragt. Die Entscheidung fiel eindeutig zu Gunsten des halbtägigen Besuchs aus.

### 8.3 Evaluation der Einstiegsschulen

Nach der ersten Lehrerfortbildung im Februar 2014 gestaltete es sich als sehr schwierig, überhaupt Schulen zum Besuch zu gewinnen, zumal zu dem Zeitpunkt die Laborfrage noch ungeklärt war. Die ersten Besuche ließen sich erst im Winter-Semester 2014/15 realisieren und es handelte sich um drei Schulen:

- Emil-von-Behring-Gymnasium Spardorf (P-Kurs Q11)
- Adam-Kraft-Gymnasium Schwabach (Chemie-Kurs E10)
- Christian-Ernst-Gymnasium Erlangen (Kurs Chemisch-Biologisches Experimentieren Q11)

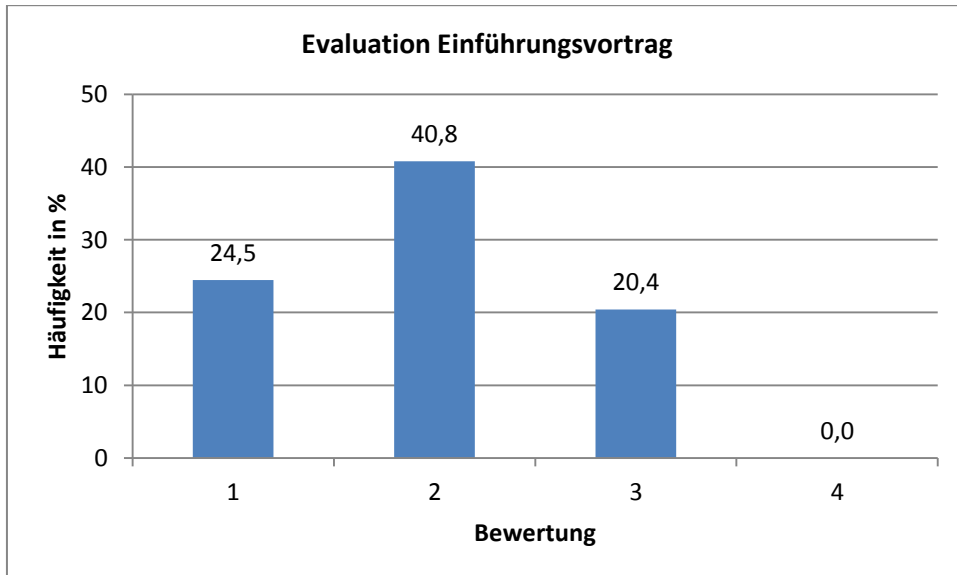
Der Kurs aus Spardorf war sehr klein, jedoch mit einigen Spitzenschülern bestückt. Der Kurs aus Erlangen kam von einem Musischen Gymnasium und konnte das Labor nur am Nachmittag besuchen, was zu einer zeitlichen Einschränkung führte. Der Besuch eines E10-Kurses diente auch der Prüfung der Frage, ob das Schülerlabor auch für den Jahrgang 10 geeignet ist.

In dieser Phase wurde am Konzept noch viel experimentiert. Das Labor in Erlangen war bezogen, das experimentelle Konzept jedoch noch nicht ausgereift. Die Betreuung fand durch Studenten des Lehramts an Gymnasien statt. Von daher diente diese Evaluation der Findung des endgültigen Konzeptes.

Im Vor- und Nachtest sollten Kenntnislücken zur Nanotechnologie hinterfragt werden, deren Antworten im Einführungsvortrag geschlossen werden sollten. Darüber hinaus ging es vor dem Ziel der Hinführung von Schülern zu den Studiengängen des Exzellenzclusters auch um

die Ermittlung des Informationsstandes – die Universität veranstaltet regelmäßig Schnupperstudientage mit einem sehr großen Schulverteiler.

Der Einführungsvortrag wies eine beträchtliche Speizung aus:



**Abb. 73:** Evaluation des Einführungsvortrags WS 2014/15

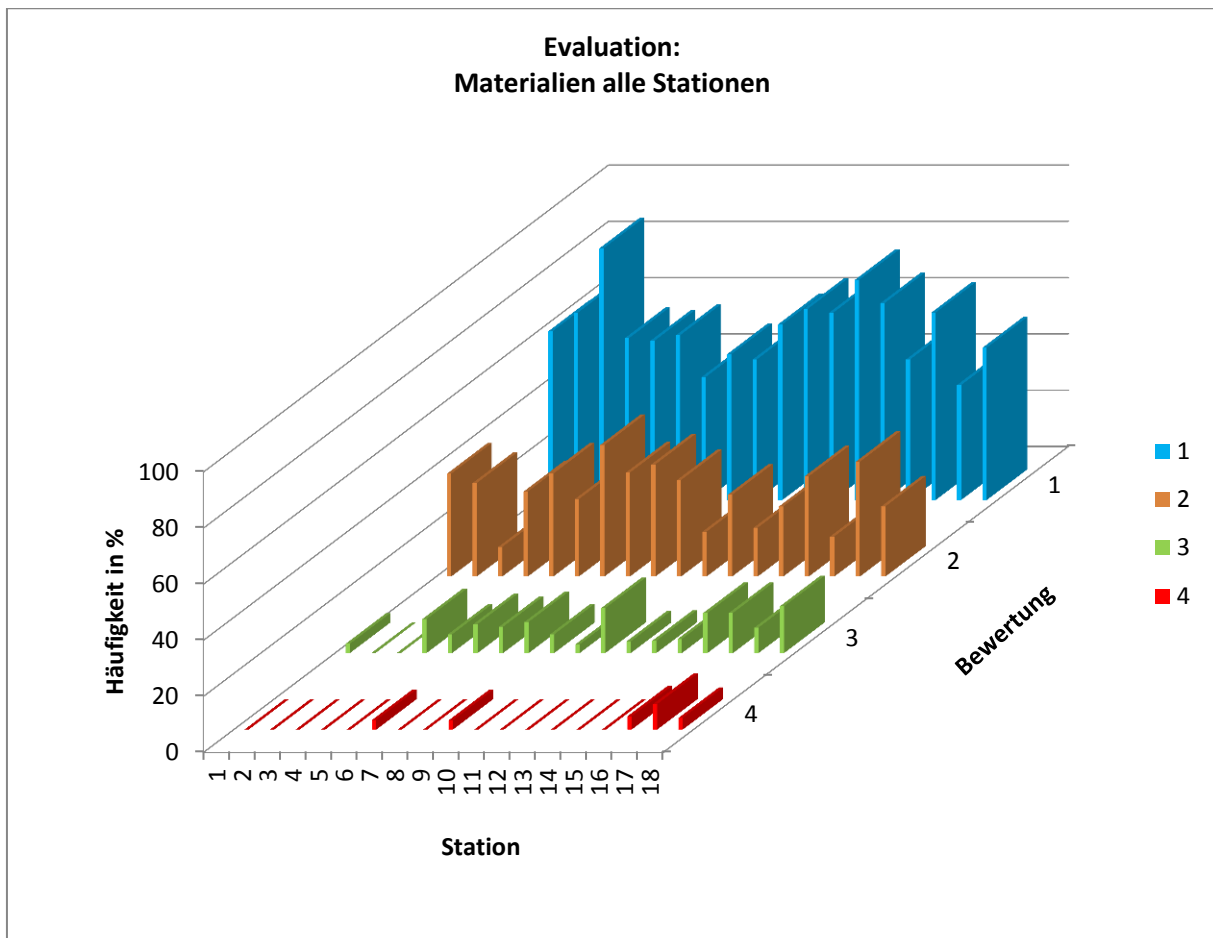
Für die Schüler standen 18 Stationen bereit:

Liste der vorgesehenen Versuchsstationen		
Nr.	Thema:	Bereich:
1	Einstieg Nanomaterialien	Nano
2	Ferrofluid (Systematische Untersuchung zum Superparamagnetismus)	Nano
3	Ruß	Nano
4	Metallkolloide: Kupfer (Reduktion mit Ascorbinsäure)	Nano
5	Metallkolloide: Silber (Elektrolyse nach nach Bredig )	Nano
6	Metallkolloide: Silber (Citratmethode nach Turkevic)	Nano
7	Metallkolloide: Silber (Reduktion mit Borhydrid nach Creighton)	Nano
8	Metallkolloide: Gold (Citratmethode nach Turkevic)	Nano
9	Metallkolloide: Gold (Reduktion mit Antioxidanzien)	Nano
10	Metallkolloide: Gold (Reduktion mit CO aus Mikropropanbrenner)	Nano
11	Sol-Gel-Verfahren: Einführung über Berliner Blau	Nano
12	Sol-Gel-Verfahren: Antireflexbeschichtung mit TEOS	Nano
13	Hydrophobierung von Glasoberflächen ohne Lösungsmittel	Nano
14	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell): Single	Energie
15	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell): Stack	Energie
16	Wind-zu-Wasserstoff: Brennstoffzelle	Energie
17	Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor	Energie
18	Wind-zu-Wasserstoff: Elektrolyse	Energie

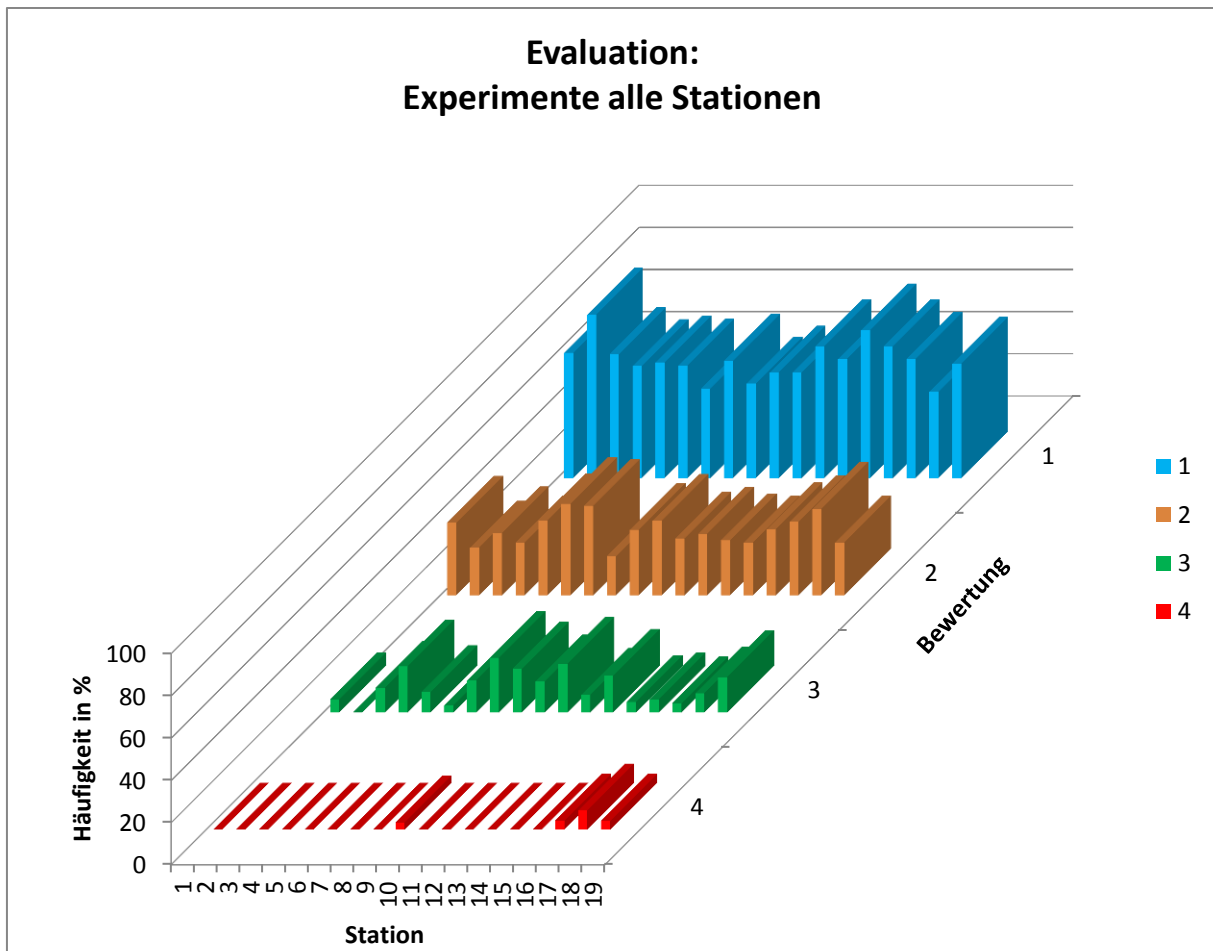
**Tab. 4:** Liste der vorgesehenen Versuchsstationen WS 2014/15

Die Fragebögen zu den Experimentierstationen waren zu dem Zeitpunkt suboptimal und es wurden von den Schülern in der Regel nur die Hälfte der Experimente durchgeführt.

Zunächst soll eine Gesamtschau der Ergebnisse gezeigt werden:



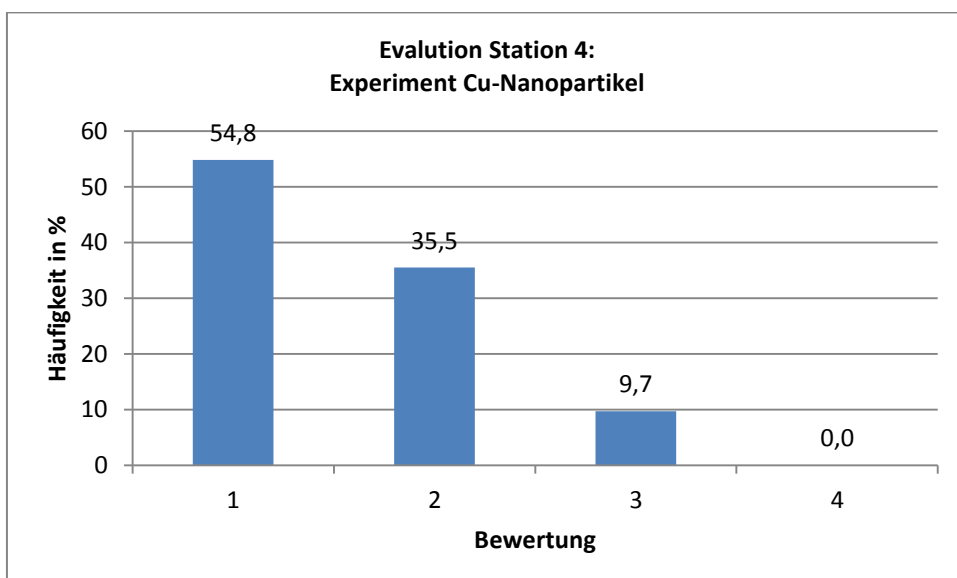
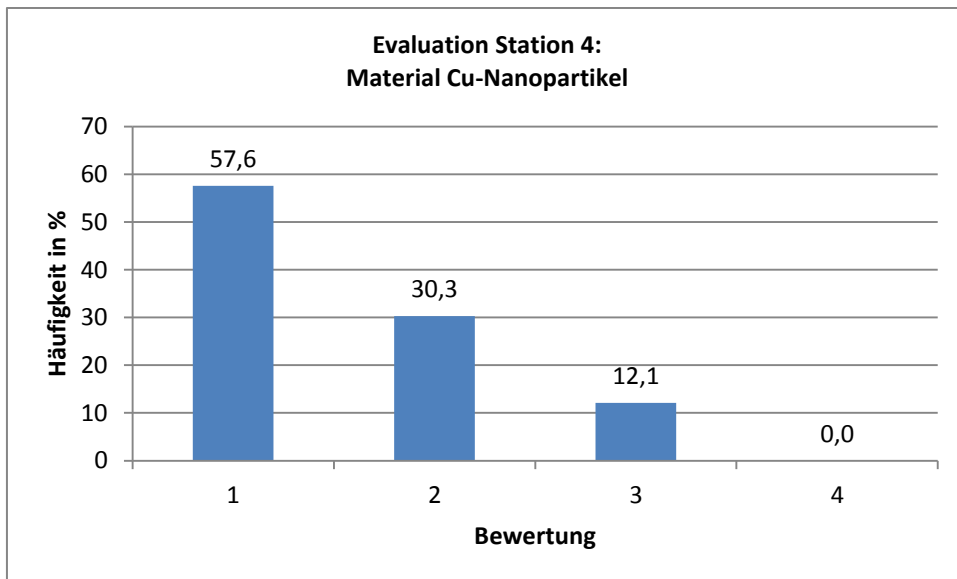
**Abb. 74:** Evaluation der Materialien aller Stationen (1-13: Nanotechnologie; 14-18: Energie; N=49)



**Abb. 75:** Evaluation der Experimente aller Stationen (1-13: Nanotechnologie; 14-18: Energie, N = 49))

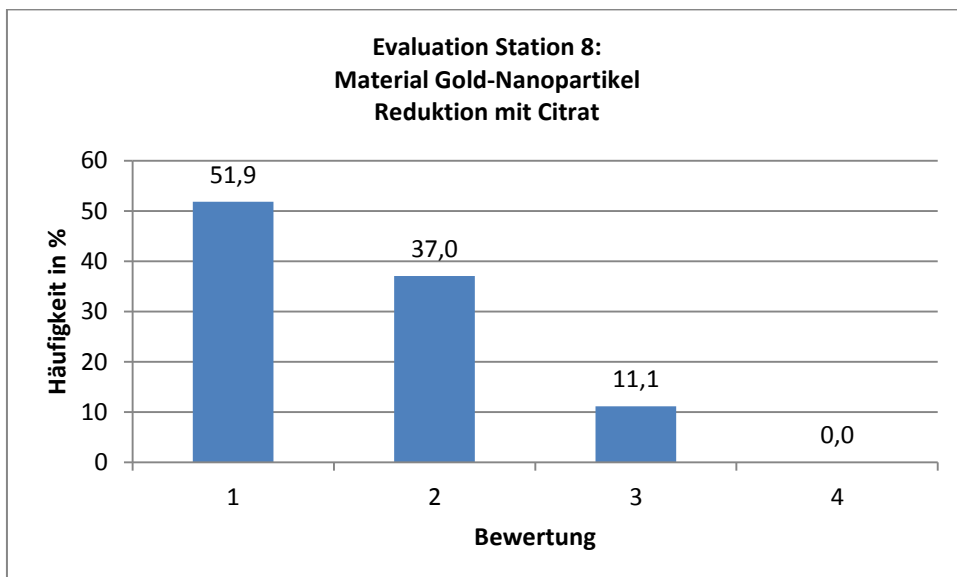
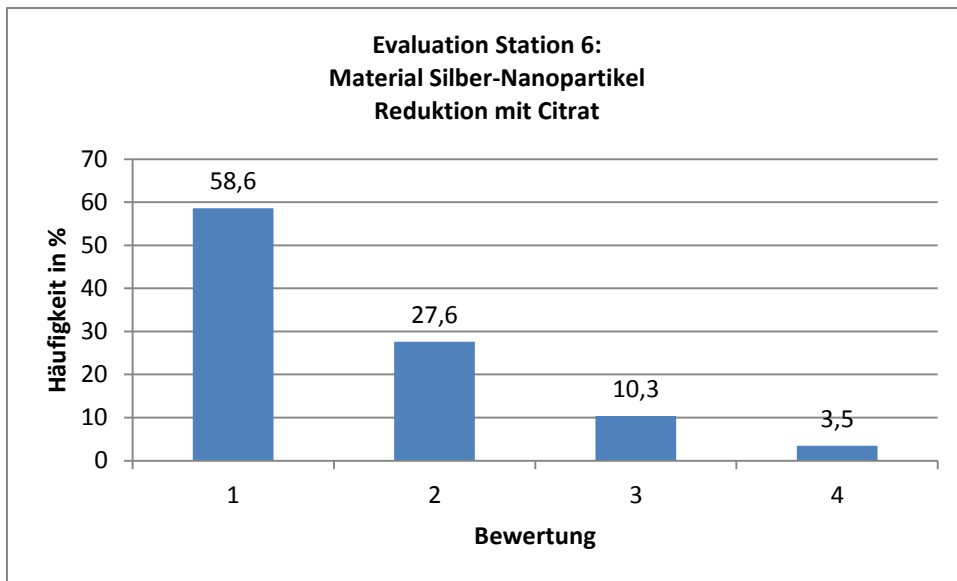
Hier können keine einzelnen Fallzahlen angegeben werden, da die Stationen nur teilweise durchlaufen wurden. Diese können im Anhang den der Dokumentation entnommen werden. Der Auswertung lagen 49 Fälle zugrunde.

Es sollen hier einige auffällige Bewertungen vorgestellt werden. Als auffällig wird ein Teilergebnis von schlechter als 2 mit mehr als 10% betrachtet sowie Bewertungen über das gesamte Spektrum.



**Abb. 76:** Bewertung der Materialien (N=33) und Experimente (N=30) zu Station 4

Dieses Experiment war bei den Lehrerfortbildungen nicht auffällig bewertet worden. Der Mangel lag in der Auswahl des ungeeigneten Laserpointers.



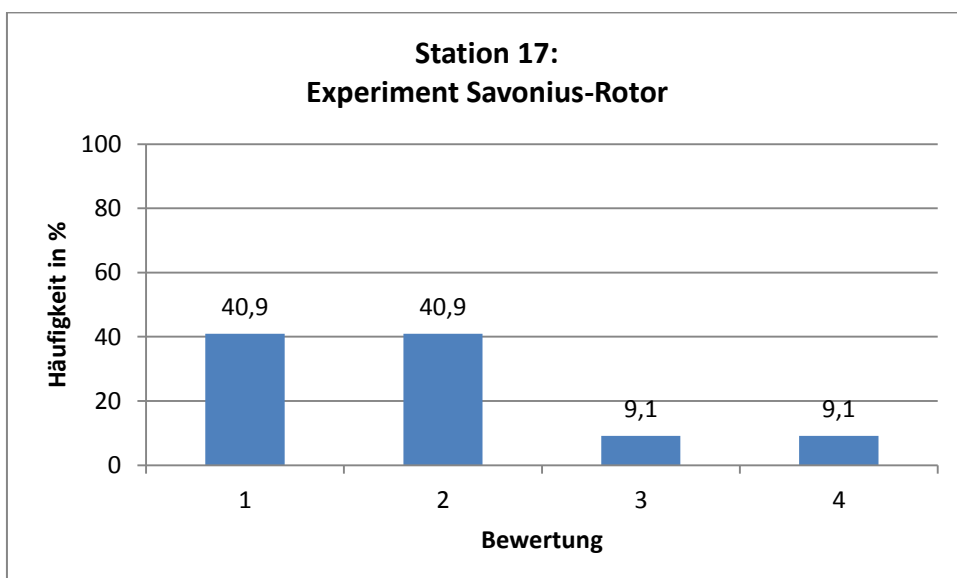
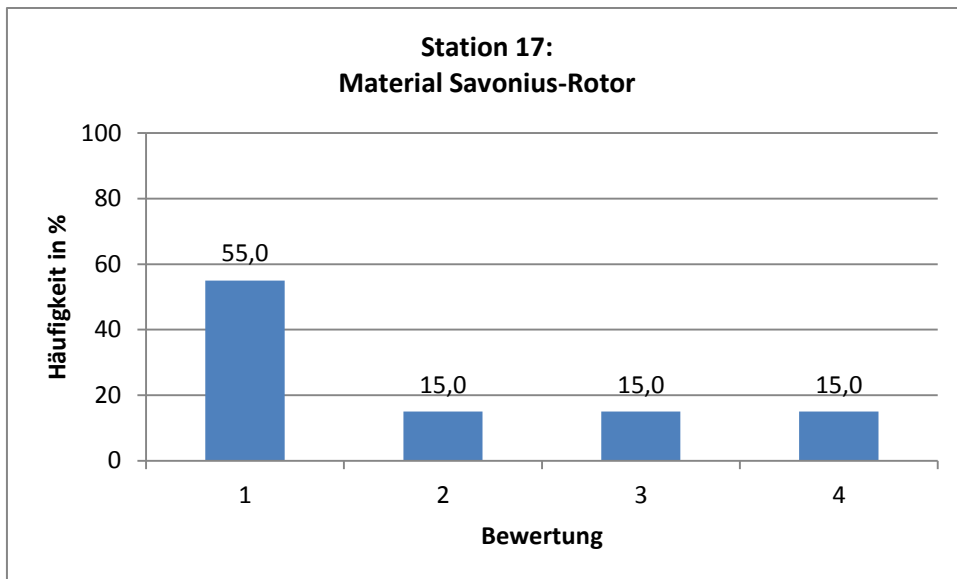
**Abb. 77:** Bewertung der Materialien zur Herstellung von Silber-(N=29) und Goldnanopartikeln(N=30) durch Reduktion mit Citrat (Turkevich-Methode)

Bei beiden recht ähnlichen Experimenten wurden die Versuchsanleitungen überarbeitet und die studentischen Hilfskräfte nachgeschult.

Die übrigen bemängelten Materialien und Experimente zum Themenbereich Nano waren bereits bei den ersten beiden Lehrerfortbildungen auffällig geworden.

Die vier Energie-Stationen wiesen ähnliche Bewertungen auf. Sie wurden entsprechend überarbeitet. Als Beispiel sei hier die Station zum Savonius-Rotor genannt:





**Abb. 84:** Bewertung von Materialien (N=20) und Experiment (N=22) zum Savonius-Rotor

Die Auswertung der Fragen zur Konzeption ergab nachstehende Ergebnisse:

Bewertung	Alle Stationen	Auswahl Stationen	Material vorher	Material taggleich
ja	3	8	5	20
nein	13	7	23	9

Die Ergebnisse zeigen bei den Stationen keine eindeutigen Werte, dagegen ist die Tendenz bei den Materialien eindeutig – die Aussagekraft ist für diese Datenbasis allerdings noch gering.

Antwort	Vorbereitung W- und P-Kurse	Unterstützung Jugend forscht	Hinführung Studium MW + NT	Anbindung Inhalte EAM	Schnupperbesuche in Instituten
+	26	17	18	17	12
+/-	0	0	0	0	0
-	3	10	10	6	14

Hier drängt sich der Eindruck auf, dass die Schüler mit dem Bewertungsschema nicht umgehen konnten und daher zu Ja-Nein-Antworten neigten.

Die Frage zum Gesamtkonzept wurde nur von einem Drittel der Schüler beantwortet und soll – obwohl im Ergebnis sehr eindeutig zu Gunsten des Stufenkonzepts – hier nicht dokumentiert werden.

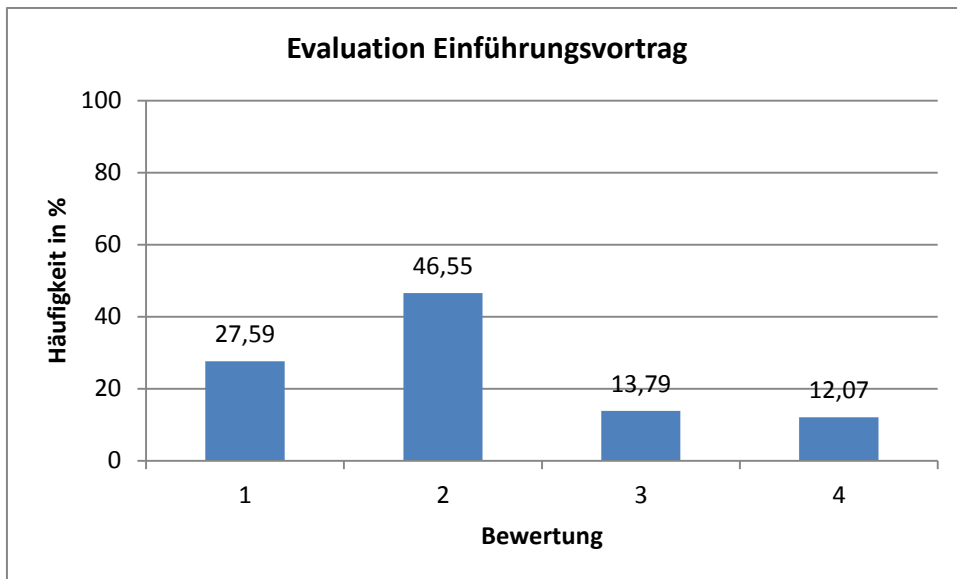
#### **8.4 Evaluation der Testphase**

Ab Januar 2015 begann die Testphase mit überarbeiteten Materialien. Das Design wurde geändert: Nunmehr wurden 20 Stationen angeboten. Das Modellexperiment zum Sol-Gel-Verfahren mit Berliner Blau wurde eliminiert, in den Energieteil umstrukturiert und das Experiment zum Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) zusätzlich aufgenommen.

Liste der vorgesehenen Versuchsstationen		
Nr.	Thema:	Bereich:
1	Einstieg Nanomaterialien	Nano
2	Ruß	Nano
3	Ferrofluid (Systematische Untersuchung zum Superparamagnetismus)	Nano
4	Sol-Gel-Verfahren: Antireflexbeschichtung mit TEOS	Nano
5	Metallkolloide: Kupfer (Reduktion mit Ascorbinsäure)	Nano
6	Sol-Gel-Verfahren: Antireflexbeschichtung mit TEOS	Nano
7	Metallkolloide: Silber (Elektrolyse nach nach Bredig )	Nano
8	Metallkolloide: Silber (Citratmethode nach Turkevic)	Nano
9	Metallkolloide: Silber-Nanopartikel in Polyester	Nano
10	Metallkolloide: Silber (Reduktion mit Borhydrid nach Creighton)	Nano
11	Metallkolloide: Gold (Citratmethode nach Turkevic)	Nano
12	Metallkolloide: Gold (Reduktion mit Antioxidanzien)	Nano
13	Metallkolloide: Gold (Reduktion mit CO aus Mikropropanbrenner)	Nano
14	Hydrophobierung von Glasoberflächen ohne Lösungsmittel	Nano
15	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell): Single mit Bleistiftminen	Energie
16	Lithium-Ionen-Akku (Dual-Carbon-Cell): Stack mit Graphitfolie	Energie
17	Wind-zu-Wasserstoff: Brennstoffzelle	Energie
18	Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor	Energie
19	Wind-zu-Wasserstoff: Elektrolyse	Energie
20	Wind-zu-Wasserstoff: LOHC	Energie

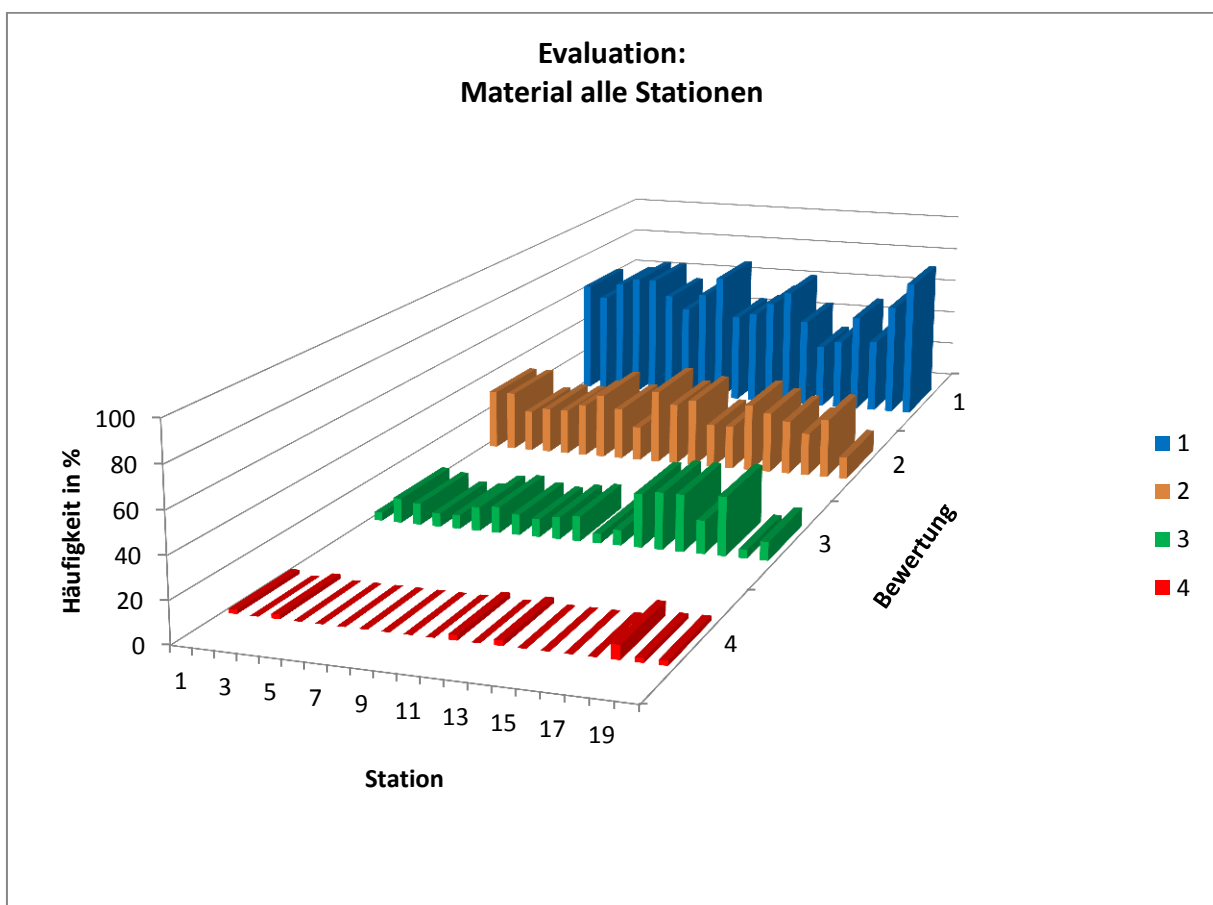
**Tab. 5:** Liste der Stationen während der Testphase

Es kamen bis Juni fünf unterschiedliche Kurse, davon auch ein P-Kurs Nanotechnologie aus Ingolstadt. Leider waren die Ergebnisse durch äußere Zwänge überschattet: Vier von fünf Kursen mussten bereits frühzeitig wieder aufbrechen, da Klausurtermine wahrgenommen werden mussten. Teilweise wurden die Evaluationsbögen und Nachtests dadurch erst auf der Heimreise ausgefüllt und es kam zu teilweise deutlichen Datenlücken. Die Datenbasis für die einzelnen Stationen ist im Anhang dokumentiert.



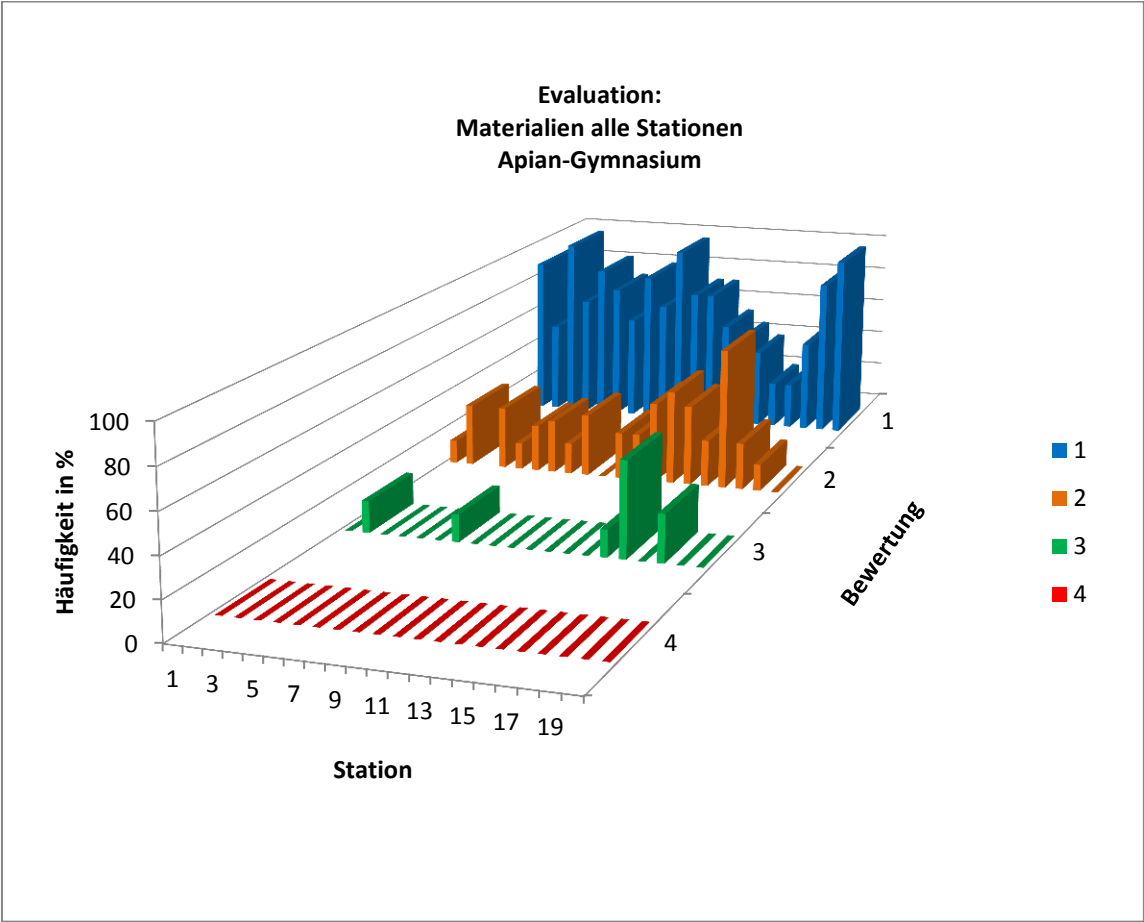
**Abb. 79:** Evaluation des Einführungs-vortrags (Testphase)

Es liegt eine tendenzielle Verschlechterung bei der Bewertung 4 vor: In freien Kommentaren wurde die Länge des Vortrags bemängelt.

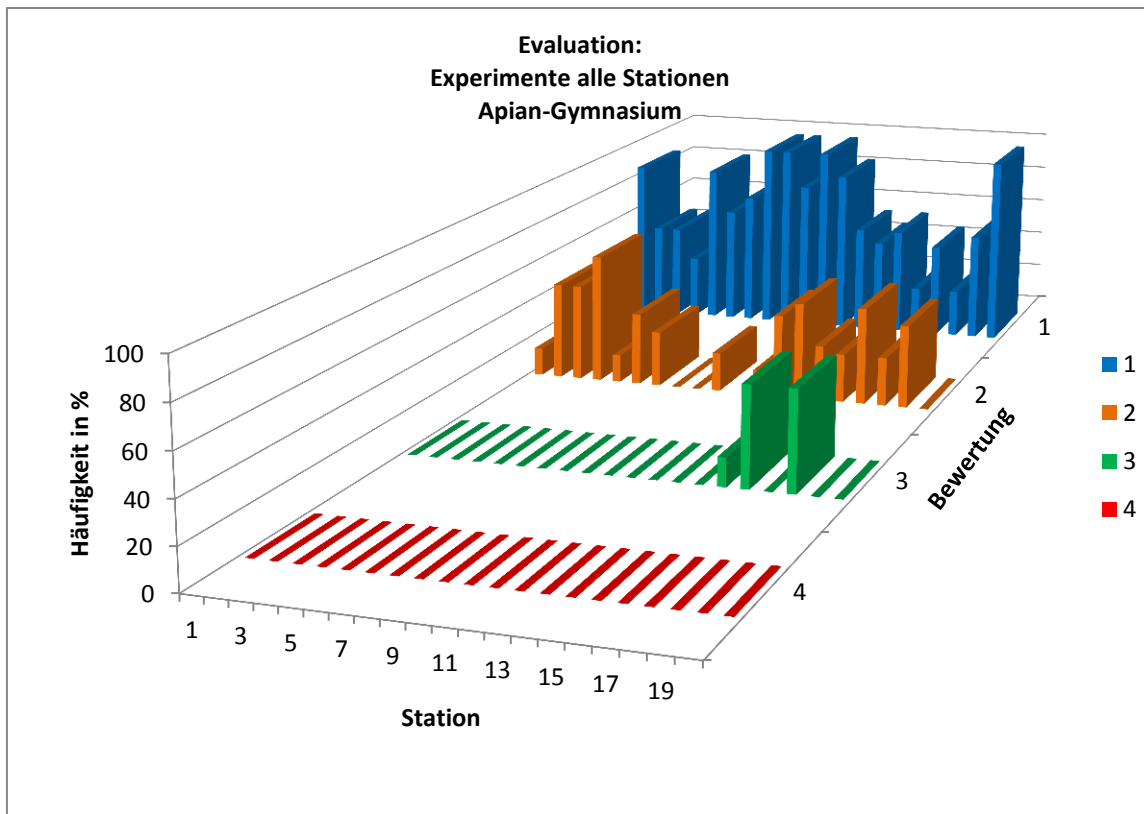


**Abb. 80:** Evaluation der Materialien aller Stationen (1-13: Nanotechnologie; 14-18: Energie; N=52)

Der Besuch eines P-Kurses Nanotechnologie vom Apian-Gymnasium Ingolstadt soll hier gesondert evaluiert werden – auch wenn die Datenbasis sehr dünn ist: Der Kurs bestand aus zehn Schülern, begleitet von zwei Lehrkräften.



**Abb. 81:** Gesonderte Darstellung der Evaluation der Materialien: P-Kurs Nanotechnologie, Apian-Gymnasium Ingolstadt



**Abb. 82:** Gesonderte Darstellung der Evaluation der Experimente: P-Kurs Nanotechnologie, Apian-Gymnasium Ingolstadt

Die recht guten Bewertungen im Bereich Nano sollen hier beachtet werden.

Während dieser Testphase war die Betreuung durch studentische Hilfskräfte nicht kontinuierlich und ausreichend gewährleistet. Zwischenzeitlich sprang sogar die Technische Assistentin des Lehrgebietes ein. Es gab teilweise Betreuungsverhältnisse von 1 : 6 und das machte sich bei den durchlaufenen Stationen sowie den Bewertungen bemerkbar. Die Lehramtsstudenten Gymnasium waren ausgeschieden und durch Studenten der Nanotechnologie ersetzt worden, die sehr engagiert die Stationen betreuten und nebenbei den Schülern Informationen zum Studium lieferten.

Die Auswertungen der Befragungen zum Konzept ergaben nachstehende Ergebnisse (Angaben in % der gültigen Werte, N=52):

Antwort	Alle Stationen	Auswahl Stationen	Material vorher	Material taggleich
ja	22,58	77,05	51,72	81,36
nein	77,42	22,95	48,28	18,64

Die Fragen zu inhaltlichen Verknüpfungen ergaben eindeutige Ergebnisse:

Wert	Vorbereitung W- und P-Kurse	Jugend forscht	Hinführung Studium MW und NT	Anbindung Inhalte EAM	Schupperbesuche
+	36,51	54,84	63,49	36,07	67,74
+/-	42,86	30,65	30,16	36,07	20,97
-	20,63	14,52	6,35	27,87	11,29

Die Antworten zum Gesamtkonzept fielen auf dieser Datenbasis (N=52, 18 fehlende Werte) knapp aus:

Stufenkonzept	57,69
Einstufig	42,31

Es wurde noch nach der Bereitschaft zu mehreren Terminen zu kommen und zur Vermittlung von Industrie gefragt:

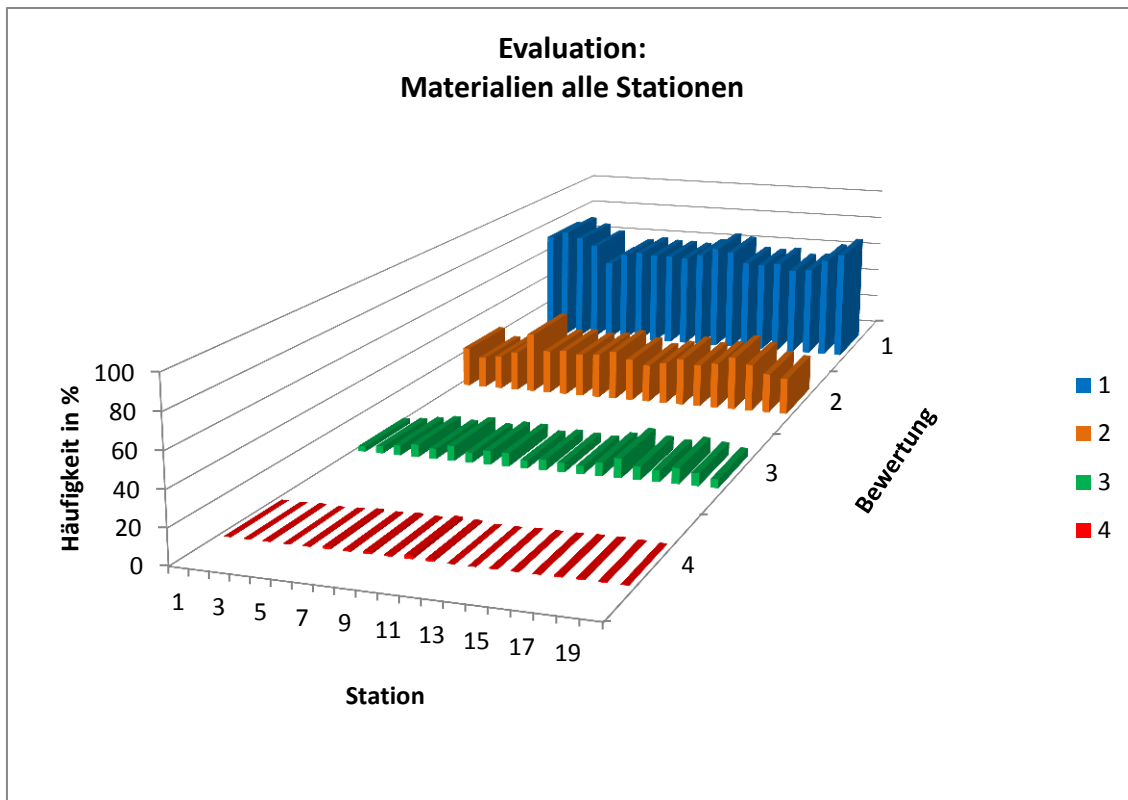
Antwort	Mehrere Termine	Industriekontakte
ja	65,08	75,81
nein	34,92	24,19

Die Antworten waren konkludent, da der Wunsch nach Industriekontakten mehrere Besuche voraussetzt.

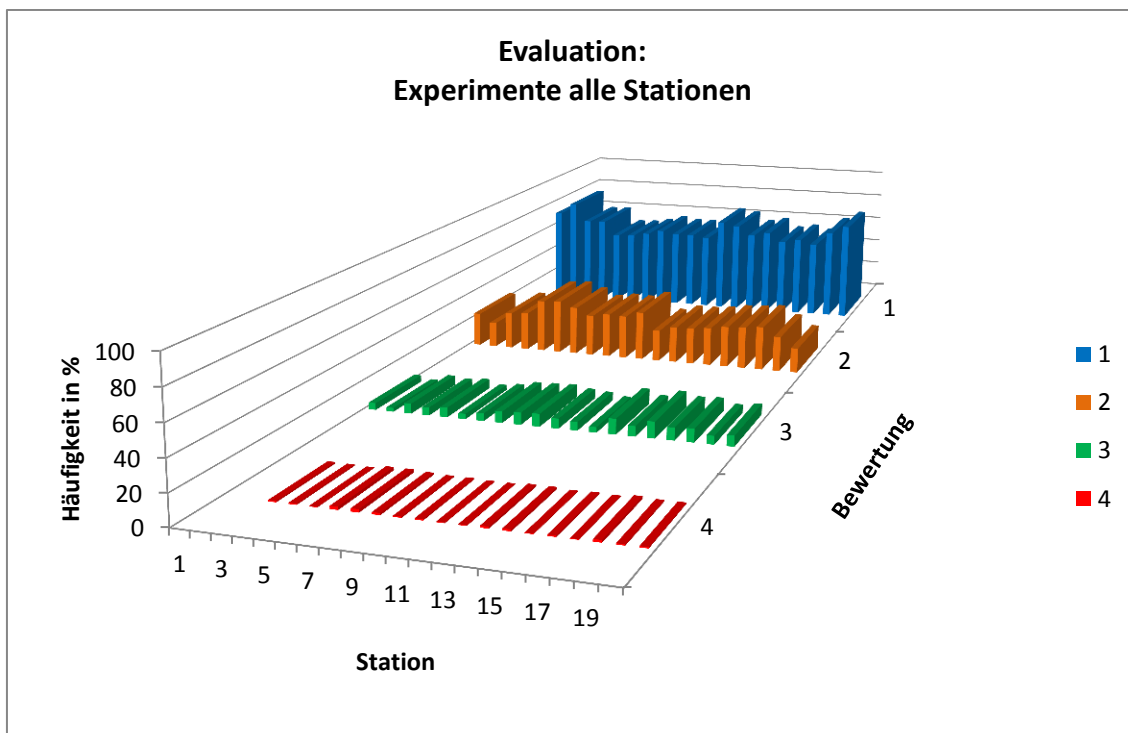
Die Alternative halbtags zu ganztags wurde mit 74%:26% zu Gunsten des Halbtagesbesuchs beantwortet.

## 8.5 Evaluation der Konsolidierungsphase

Zu Beginn des Winter-Semesters 2015 fand eine Regionale Lehrerfortbildungsveranstaltung des Ministerialbeauftragten für Gymnasien Mittelfranken statt. Hieraus ergaben sich Besuche von 15 Kursen von Lauf a.d. Pegnitz bis Herzogenaurach – alles Gymnasien mit naturwissenschaftlich-technologischem Zweig. Die Lehrkräfte brachten sich sehr engagiert in die Fortbildung ein.



**Abb. 83:** Evaluation der Materialien über alle Stationen (N=274)



**Abb. 84:** Evaluation der Experimente über alle Stationen (N=274)

Gegenüber der Testphase ist hier eine tendenzielle Verbesserung zu erkennen: Es gab nach wie vor Bewertungen im Bereich 3 und 4, diese bewegen sich allerdings im niedrigen



einstelligen Bereich. Es hat in dieser Phase eine sehr auffällige Gruppe gegeben: Ein Gymnasium hatte sich zunächst mit 28 Schülern angemeldet, daraus wurden schlussendlich 32 und die stammten aus diversen Kursen mit teilweise geringem chemischen Hintergrund. Eine gesonderte Auswertung ergab eine deutliche Häufung der Bewertungen 3 und 4 bei dieser Gruppe.

Insgesamt kann somit die Konsolidierungsphase als erfolgreich angesehen werden. Viele Schüler durchliefen einen großen Teil, etliche sogar alle Stationen. Das spiegelt sich in der entsprechenden Erhebung wieder:

Ergebnis	Alle Stationen	Auswahl Stationen	Material vorher	Material taggleich
ja	57,3	49,6	47,1	82,9
nein	42,8	50,4	52,9	17,1

Die Befragung zur inhaltlichen Konzeption ergab nachstehendes Ergebnis (N=274, Häufigkeit in % der gültigen Werte):

Wert	Vorbereitung W- und P-Kurse	Jugend forscht	Hinführung Studium MW und NT	Anbindung Inhalte EAM	Schnupperbesuche
+	43,0	56,5	83,9	50,0	74,0
+/-	41,3	27,4	14,1	42,2	18,2
-	15,7	16,0	2,0	7,8	7,9

Hier sind bei den für die Zielsetzung des Projektes:

- Hinführung von Schülern auf die Studiengänge des Exzellenzclusters
- Anbindung an die Inhalte des EAM
- Vorbereitung des Schnupperstudenttags
- Unterstützung von Jugend forscht

deutliche Steigerung gegenüber den vorigen Phasen festzustellen.

Das verfolgte Gesamtkonzept wurde mit großer Mehrheit unterstützt (N=274, Häufigkeit in % der gültigen Werte):

1	Stufenkonzept: 1. Praktikum, 2. Besuch EAM-Labore, 3. Studienarbeiten	65,1
2	Einstufig: Kein Praktikum, nur forschungsnahe Experimente	34,9

Die Befragung zu der Option mit mehreren Terminen und Industriekontakten fiel tendenziell ähnlich wie in den vorigen Phasen aus (N=274, Häufigkeit in % der gültigen Werte):

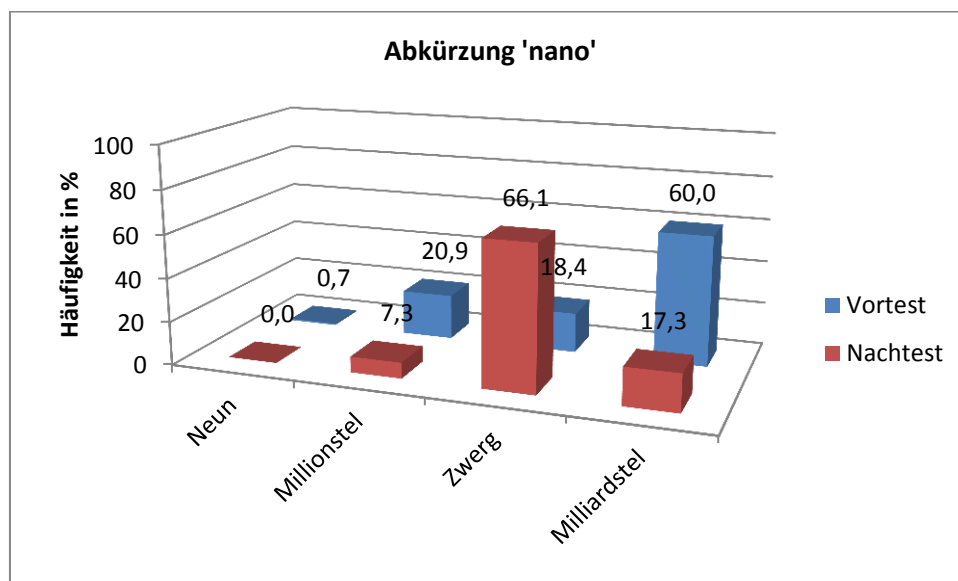
Ergebnis	Mehrere Termine	Industriekontakte
ja	33,9	22,0
nein	66,1	78,1

Die Alternative halbtags zu ganztags wurde mit 87%:13% zu Gunsten des Halbtagesbesuchs beantwortet. Das war noch eindeutiger als in den vorangegangenen Phasen.

### 8.6 Evaluation der Vor- und Nachtests

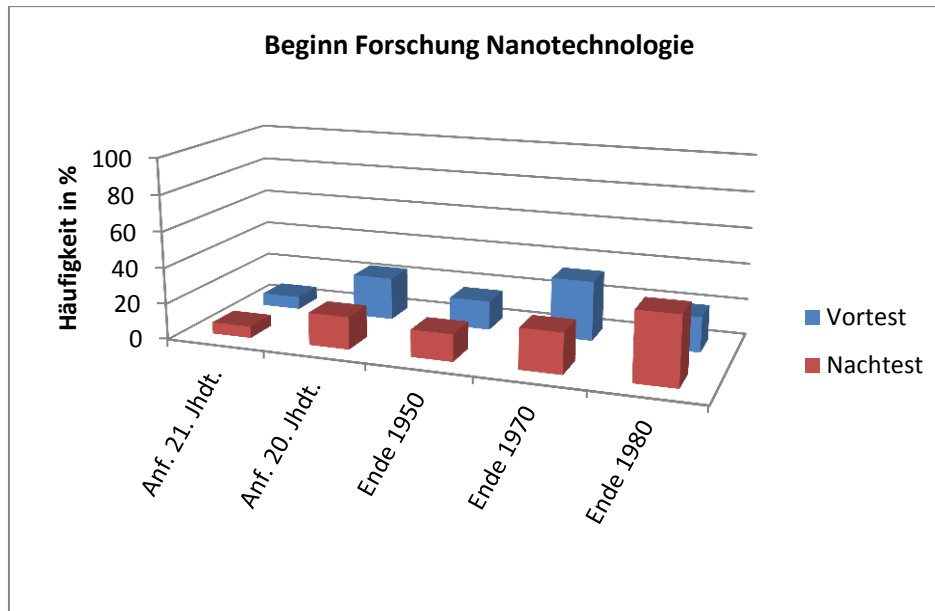
Die Vor- und Nachtests sollten Kenntnisstand der Schüler zu elementaren Begriffen, Entwicklungen und Perspektiven der Nanotechnologie ermitteln und den Lernfortschritt nach einer Veranstaltung dokumentieren. Die Ergebnisse werden in einer Gesamtschau über alle Phasen dargestellt.

Die Abkürzung nano war nach dem Einführungsvortrag den meisten Schülern geläufig:



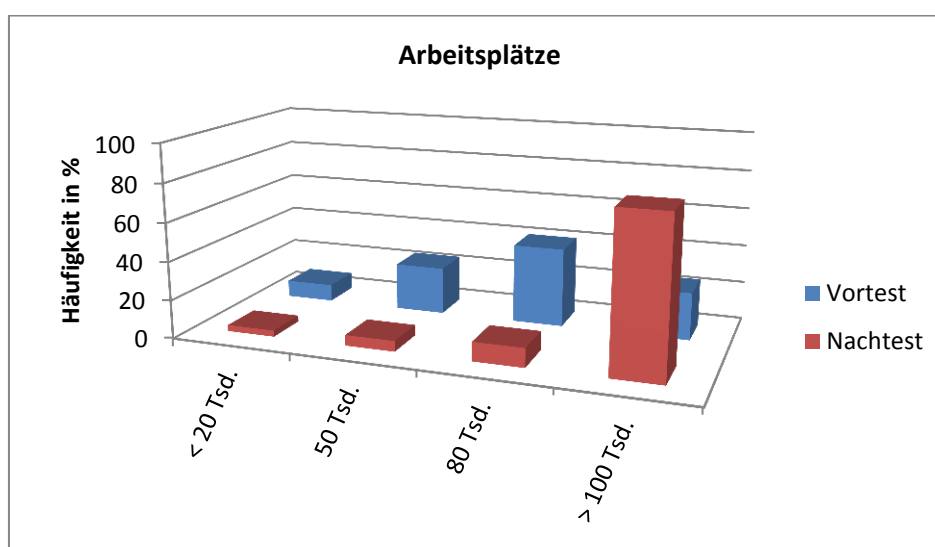
**Abb. 85:** Evaluation der Vor- und Nachtests zur Bedeutung der Abkürzung ,nano' (N=406)

Der Beginn der eigentlichen Forschung zu Nanotechnologie datiert eigentlich auf die Publikation von Binnig et al. (Binnig, Rohrer, Gerber & Weibel, 1982b) zum Rastertunnelmikroskop, gefolgt von der Entwicklung des Kraftfeldmikroskops (Binnig et al., 1986). Dies ist zwar deutlicher geworden, es sind jedoch Unsicherheiten geblieben:



**Abb. 86:** Evaluation der Vor- und Nachttests zum zeitlichen Forschungshorizont (N=406)

Über die Zahl der von der Nanotechnologie abhängigen Arbeitsplätze liegen vor der Veranstaltung in der Regel nur diffuse Vorstellungen vor, hinterher wurden die Informationen offenkundig internalisiert:



**Abb. 87:** Evaluation der Vor- und Nachttests zur Anzahl der Arbeitsplätze (N=406)

Ein wesentliches Ziel des Projektes ist die Heranführung von Schülern an die Studiengänge der Materialwissenschaft und Nanotechnologie. Hier geschah die Befragung zweistufig:

Im Vortest wurde die Information über die Studienmöglichkeit in Erlangen abgefragt:

**Kennt Ihr den Studiengang Materialwissenschaften und Werkstofftechnik ? j/n**

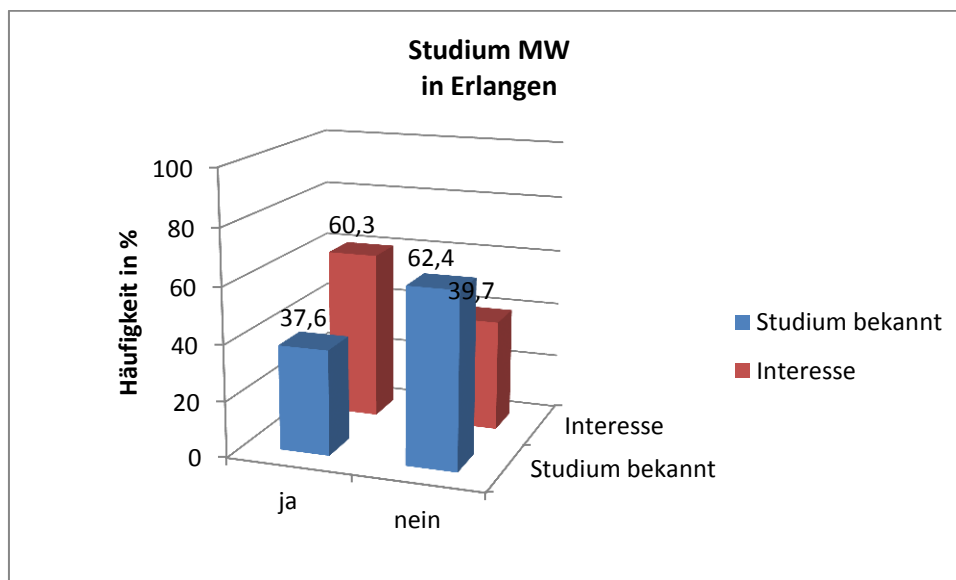
**Wisst Ihr, dass man in Erlangen Nanotechnologie studieren kann ? j/n**

Im Nachtest ging es um das konkrete Interesse:

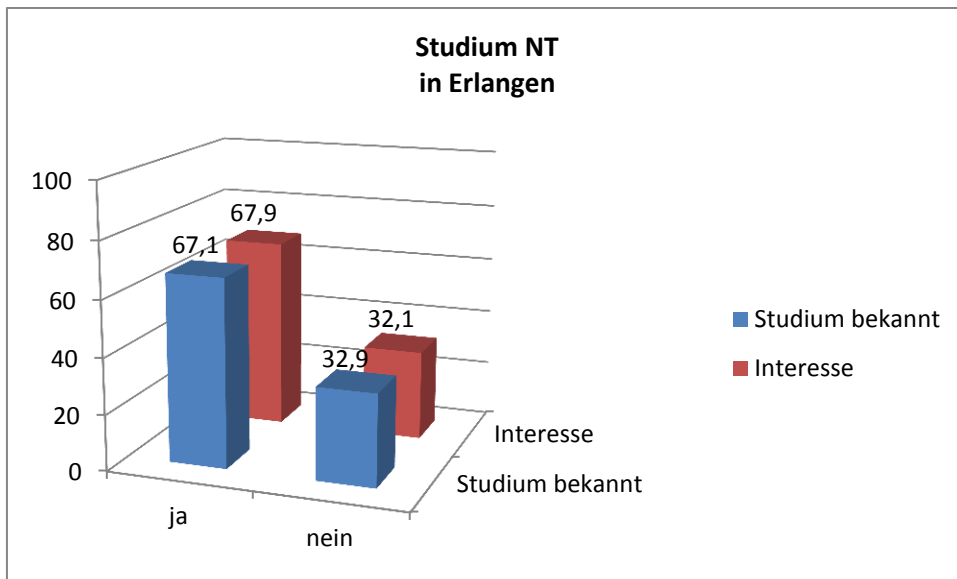
**Möchtet Ihr den Studiengang Materialwissenschaften und Werkstofftechnik kennen lernen ? j/n**

**Möchtet Ihr den Studiengang Nanotechnologie kennen lernen ? j/n**

Die Ergebnisse waren eindeutig, wobei erstaunlich viele Schüler bereits über die Möglichkeit, Nanotechnologie in Erlangen zu studieren, Bescheid wussten:



**Abb. 88:** Evaluation der Vor- und Nachtests zur Kenntnis bzw. Interesse am Studium der Materialwissenschaft (N=406)



**Abb. 89:** Evaluation der Vor- und Nachtests zur Kenntnis bzw. Interesse am Studium der Nanotechnologie (N=406)

Dieses Interesse sollte durch einen gezielten Schnupperstudientag gefördert werden.

### 9.7 Schnupperstudientag

Der erste Schnupperstudientag im Herbst 2015 basierte auf einer relativ geringen Kohorte von 139 Gymnasiasten des 11. Jahrgangs und 37 FOSBOS-Schülern des 12. Jahrgangs. Die FOSBOS-Schüler kamen aus Bamberg und wurden wegen der geringen Datenbasis in dieser Studie nicht weiter evaluiert.

Zum Studientag meldeten sich zunächst 18 Schüler, tatsächlich erschienen 11. Die restlichen waren aus nachvollziehbaren Gründen verhindert – in der Regel mussten Klausuren geschrieben oder Seminararbeiten abgegeben werden.

Der Studientag begann mit einer Einführung ins Studium und einer privaten Vorlesung von Prof. Dr. Mathias Göken. Danach besuchten die Schüler vier Forschungsstationen im Bereich der Werkstoffwissenschaft/Nanotechnologie:

- Atomsonde
- Vom Mikro- zum Nanodiamant
- Organische Photovoltaik
- Transmissionselektronenmikroskopie

und es wurde ihnen zum Abschluss das LOHC-Projekt im Institut für Chemische Reaktions-  
technik vorgestellt. Unterbrochen wurde das Programm durch einen Mensabesuch.

Diese Programmpunkte wurden ganz überwiegend bestens bewertet.

Es wurden auch Fragen zum Ablauf des Schnupperstudenttags:

<b>Organisation vor dem Schnupperstudentag (Einladung, Treffen am Bahnhof usw.)</b>
<b>Betreuung durch die Studenten</b>
<b>Organisation durch den Fachbereich</b>
<b>Mensaessen</b>

**Tab. 6:** Fragen zum Ablauf des Schnupperstudentags

und Bewertungen des Konzepts vorgenommen:

<b>Ohne das EAMLab hätte ich nichts von den Studiengängen erfahren</b>
<b>Ich hatte mich vorher noch nicht für ein Studium interessiert</b>
<b>Das EAMLab führt gezielt auf ein Studium der Material- und Nanowissenschaften hin</b>
<b>Ich möchte weitere Infos zum Studium der Material- und Nanowissenschaften erhalten</b>
<b>Ich würde gerne ein Praktikum in Material- und Nanowissenschaften durchführen</b>
<b>Ich habe Informationen über die Berufsaussichten erhalten</b>
<b>Der Schnupperstudentag hat für mich keine neuen Erkenntnisse gebracht</b>

**Tab. 7:** Fragen zum Konzept des Schnupperstudentags

Wegen der geringen Datenbasis sollen die Ergebnisse nicht im Detail dargestellt werden. Das Konzept wurde im Wesentlichen sehr gut bestätigt und bildet eine Grundlage für künftige Veranstaltungen.

## **9 Diskussion und Ausblick**

### **9.1 Erfahrungen aus dem Projekt**

Zum Zeitpunkt des Einstiegs in dieses Projekt waren wesentliche Voraussetzungen nicht gegeben:

- Es fehlten geeignete Räumlichkeiten für ein Labor
- Studentische Hilfskräfte und interessierte Lehramtsstudenten waren Mangelware
- Kontakte zu Forschern des EAM waren nicht vorhanden

- Zu Gymnasien gab es keine institutionalisierten Kontakte
- Der Standort Nürnberg war räumlich weit entfernt von den Instituten des EAM

Die Laborfrage wurde außerhalb des Exzellenzclusters mehr zufällig geklärt und hat sich als Glücksgriff erwiesen.

Nach wie vor ist die Rekrutierung von studentischen Hilfskräften aus dem Bereich der Studiengänge des Exzellenzclusters ein Problem und wird nur durch enge Kooperation mit Hochschullehrern zu lösen sein.

Die Kontakte zu Forschern des EAM herzustellen waren recht unproblematisch. Es gab eine große Bereitschaft, mit dem Schülerlabor zusammenzuarbeiten und es wurden wertvolle Hilfen geleistet. Der gefundene Standort des Labors im Institut für Biochemie ist für die Erreichbarkeit für die Schulen der Region wegen der Bahnhofsnähe optimal. Das Institut verfügt über eine hervorragende personelle und technische Infrastruktur, das Labor ist in einem sehr guten Zustand. Zu Beginn musste zwei Mal für Einführungsveranstaltungen auf Räumlichkeiten des benachbarten Christian-Ernst-Gymnasiums zurückgegriffen werden – das war später nicht mehr erforderlich. Die Institutsdirektorin unterstützt das Projekt nach besten Kräften.

Die Kontakte zu den Gymnasien in Mittelfranken mussten mit viel Einsatz hergestellt werden. Nach persönlicher Vorstellung bei den Schulleitungen und dem Kennenlernen etlicher Kollegen sind diese nunmehr gefestigter. Es muss allerdings nach wie vor davon ausgegangen werden, dass dieser Zustand nur durch intensive Arbeit aufrechterhalten werden kann.

## **9.2 Kritische Hinterfragung des Konzeptes**

Das Konzept baut auf anspruchsvollen Inhalten auf und steht und fällt mit dem vertrauensvollen Umgang mit den Beteiligten:

- Gymnasien
- Schüler
- Forscher des EAM

Um es weiter auf dem Stand zu halten, müsste die weitere Betreuung institutionalisiert werden und die dahinter stehenden Personen müssen sehr viel zeitliches und fachliches

Engagement aufbringen. Bei anderen Schülerlaboren in Deutschland mit diesem Anspruch wird die personelle Kontinuität in der Regel durch abgeordnete Lehrkräfte sowie technische Hilfskräfte gewährleistet. Die Zusammenarbeit mit Schulen wird im Fachbereich Chemie und Pharmazie durch einen Angehörigen des Mittelbaus gewährleistet, der mit einem Teil seiner Arbeitszeit nur für diese Aufgaben abgestellt ist und dessen Position institutionalisiert ist. Dieser Forscher ist den Schulen der Region als Ansprechpartner auch bekannt und er erzielt bei Veranstaltungen des Fachbereichs gute Resonanz. Die Bereitschaft zur Zusammenarbeit ist expliziert vorhanden.

### **9.3 Perspektiven des EAM Schülerlabors Chemie**

Das EAM Schülerlabor Chemie soll künftig das bereits existierende NESSI-Lab in Nürnberg in Richtung Gymnasiale Oberstufe abrunden. Die Voraussetzung dafür ist durch dieses Konzept begründet und gegeben. Schwierigkeiten könnten die fixen Terminierungen sein, da Gymnasien besonders im Sommerhalbjahr sehr eingespannt in den Abitur- und sonstigen Prüfungsplan sind. Die meisten Schulen profilieren sich mit Schulplänen und da muss dieses Schülerlabor erst seinen festen Platz finden.

Das NESSI-Lab ist in die Lehrerausbildung integriert. Die Experimente im EAM Schülerlabor Chemie sind durch die Verwendung von zeitgemäßem Experimentiergerät bestens geeignet, den Studenten des Lehramts Gymnasium die entsprechenden Fertigkeiten zu vermitteln.

In den vorliegenden Untersuchungen wurden die FOSBOS-Schulen bisher ausgeklammert. Es liegen Daten von zwei Kursen einer Schule vor. Infrage kämen alle FOSBOS-Schulen, die zum Abitur führen und das sind in Mittelfranken sechs. Es wurde mit großem Aufwand eine externe Regionale Lehrerfortbildung in Bamberg vor Technologie-Lehrkräften abgehalten, ein vertiefter Kontakt zu den Schulen kam leider nicht zustande. Hier müsste der Weg über die Dienststelle des Ministerialbeauftragten gegangen werden. Vom Lehrplan her liegen die FOSBOS-Schulen deutlich hinter den Gymnasien zurück. Ihr Konzept führt Absolventen mit entsprechenden Sekundarstufen I-Abschlüssen in dreizehn Jahren zur Allgemeinen Hochschulreife. Wenn für Gymnasien der geeignete Besuchszeitpunkt in der ersten Hälfte von Q11 liegt, wäre das bei FOSBOS-Schulen eher am Ende von Q12 oder zu Beginn von Q13.

Schulpartnerschaften könnten das Projekt stabilisieren. Nach erster Erfahrung mit einer interessierten Schule muss jedoch sehr darauf geachtet werden, dass diese Partnerschaft



auch vom Fachkollegium breit getragen und sie nicht zur Einbahnstraße wird. Es haben drei Schulen Interesse signalisiert und das wird verfolgt werden.

Erste Befragungen zum Interesse der Schüler an dem nächsten Schnupperstudentag zu Beginn des Wintersemesters 2016/17 ergaben ermunternde Zwischenergebnisse.

Dieses Schülerlabor kann in Gänze oder mit Teilen auf ähnliche Forschungsstrukturen an Hochschulen übertragen werden. So bietet sich an der Pädagogischen Hochschule Freiburg die Übertragung der Inhalte zur Energiewende für das künftige Energy-Lab an.

Die Experimente zur chemischen Nanotechnologie passen gut in das Freiburger Materialforschungszentrum (FMF) und in den Freiburger Material- und Medizinverbund (FM&M) an der Albert-Ludwigs-Universität. Daraus könnte eine Kooperation als Public Outreach erwachsen.

#### **9.4 Zusammenfassung**

Es wurden alle Forschungsfragen durch Befragungen evaluiert. Die Hauptziele – die Heranführung von Gymnasiasten an die Studiengänge des Exzellenzclusters durch Akzeptanz der Inhalte des Schülerlabors – konnten erreicht und in den Ergebnissen bestätigt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass künftig regelmäßig ein Stamm von Gymnasien die Einrichtung besuchen wird und sich für den Schnupperstudentag ungefähr ein Fünftel der Schüler melden werden.

## Danksagung

Prof. Dr. Andreas Kometz hat mir durch die Übertragung des Projektes diese Dissertation ermöglicht. Ohne das großzügige Angebot der Mitnutzung der Räumlichkeiten des Praktikums für Mediziner in Erlangen wäre das Vorhaben gescheitert. Dafür sei Prof. Dr. Jürgen Schatz und seiner Mitarbeiterin Gisela Falk gedankt. Im Institut für Biochemie wurde von den Mitarbeitern, angefangen über die Institutsdirektorin Prof. Dr. Anja Bosserhoff über das Sekretariat, den technischen Assistenten und den Mitarbeitern der Werkstatt alles getan, um diese Arbeit und die Schulbesuche zu unterstützen.

Forscher des EAM und der Technischen Fakultät waren stets ansprechbar und haben die Entwicklung der Experimente unterstützt. Genannt werden sollen Prof. Dr. Peter Wasserscheid, Prof. Dr. Mathias Göken, Prof. Dr. Wolfgang Arlt, Prof. Dr. Wolfgang Peukert, Prof. Dr. Christoph Alexiou, Dr. Björn Braunschweig, Dr. Cornelia Damm, Dr. Andreas Bösmann und Dipl.-Ing. Patrick Preuster. Der Geschäftsführer der Fa. hydrogenious technologies Dr.-Ing. Daniel Teichmann und sein CRO Dr.-Ing. Martin J. Schneider haben es ermöglicht, dass der LOHC-Versuch inzwischen auch an Schulen durchgeführt werden kann.

Im Fachbereich Chemie der Leibniz Universität Hannover fand ich bei meiner Arbeit in Hannover ständig wertvolle Unterstützung – Labore und Bibliotheksressourcen wurden mir zugänglich gemacht. Hier seien Prof. Dr. Franz Renz und Dr. Gerald Dräger genannt.

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Marco Oetken für die Übernahme der Erstbegutachtung dieser Arbeit und Prof. Dr. Jens Friedrich für die Bereitschaft zur Zweitbegutachtung. Prof. Oetken hat das Projekt mit all seinen Höhen und Tiefen über die Jahre begleitet und mir das Promotionsverfahren in Freiburg ermöglicht.

Nicht vergessen werden sollen die studentischen Hilfskräfte sowie die Kolleginnen und Kollegen der teilnehmenden Schulen. Hier war Frau StDin Waltraud Habelitz-Tkotz einer wertvolle Gesprächspartnerin und Türöffnerin.

## Literaturverzeichnis:

- ALP (Hrsg.). (2014). *Chemie? - Aber sicher* (Akademieberichte) (3. Auflage). Dillingen: Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung. Zugriff am 23.1.2016. Verfügbar unter: <https://alp.dillingen.de/publikationen/suche/publikation.html?Nr=475>
- von Ardenne, M. & von Borries, B. (1941). Electron scanning microscope. Zugriff am 12.1.2016. Verfügbar unter: <http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=US000002241432A>
- Ausfelder, F., Beilmann, C., Bertau, M., Bräuninger, S., Heinzl, A., Hoer, R. et al. (2015). Energiespeicherung als Element einer sicheren Energieversorgung. *Chemie Ingenieur Technik*, 87 (1-2), 17–89. doi:10.1002/cite.201400183
- Beecher, G.R. (2003). Overview of Dietary Flavonoids: Nomenclature, Occurrence and Intake. *The Journal of Nutrition*, 133 (10), 3248S–3254S.
- Behörde für Schule und Berufsbildung (Hrsg.). (2009). Rahmenplan - Chemie gymnasiale Oberstufe. Zugriff am 31.3.2016. Verfügbar unter: <http://www.hamburg.de/contentblob/1475194/data/chemie-gyo.pdf>
- Belitz, H.D., Grosch, W. & Schieberle, P. (2008). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie* (6. Auflage). Berlin Heidelberg New York: Springer. Zugriff am 24.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.springer.com/gb/book/9783540732013>
- Berger, P., Adelman, N.B., Beckman, K.J., Campbell, D.J., Ellis, A.B. & Lisensky, G.C. (1999). Preparation and Properties of an Aqueous Ferrofluid. *Journal of Chemical Education*, 76 (7), 943. doi:10.1021/ed076p943
- Binnig, G., Quate, C.F. & Gerber, C. (1986). Atomic Force Microscope. *Physical Review Letters*, 56 (9), 930–933. doi:10.1103/PhysRevLett.56.930
- Binnig, G., Rohrer, H., Gerber, C. & Weibel, E. (1982a). Tunneling through a controllable vacuum gap. *Applied Physics Letters*, 40 (2), 178–180. doi:10.1063/1.92999
- Binnig, G., Rohrer, H., Gerber, C. & Weibel, E. (1982b). Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. *Physical Review*, 49 (1), 57–61.
- Blaser, S.A., Scheringer, M., Macleod, M. & Hungerbühler, K. (2008). Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: contribution of nano-functionalized plastics and textiles. *The Science of the Total Environment*, 390 (2-3), 396–409. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.10.010
- BMBF. (2015). Aktionsplan Nanotechnologie. Zugriff am 9.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.nanopartikel.info/files/downloads/Brosch%C3%BCre-BMBF-aktionsplan-nanotechnologie-2015.pdf>
- BMBF, DFG & WR. (2012). *Exzellenzinitiative 2*. Berlin.
- Boymans, N. (2012). *Die (Chemie-AG) 2: ein Lernortlaborkonzept zur Einbindung aller am Bildungssystem beteiligten Glieder* (Aachener Beiträge zur Chemie) (1. Auflage). Aachen: Mainz.
- Brückner, N., Obesser, K., Bösmann, A., Teichmann, D., Arlt, W., Dungs, J. et al. (2014). Evaluation of Industrially Applied Heat-Transfer Fluids as Liquid Organic Hydrogen Carrier Systems. *ChemSusChem*, 7 (1), 229–235. doi:10.1002/cssc.201300426
- Brust, M., Walker, M., Bethell, D., Schiffrin, D.J. & Whyman, R. (1994). Synthesis of thiol-derivatised gold nanoparticles in a two-phase Liquid–Liquid system. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (7), 801–802. doi:10.1039/C39940000801
- Bundesregierung. (2015, Februar). Bilanz zur Energiewende 2015. Zugriff am 14.2.2016. Verfügbar unter: [https://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/2015/03/2015-03-23-bilanz-energiewende-2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2015/03/2015-03-23-bilanz-energiewende-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- Bureau International des Poids et Mesures. (1960). Comptes Rendus des Séances de la Onzième Conference Generale des Poids et Mesures (S. 87). Gehalten auf der Onzième Conference Generale des Poids et Mesures, Paris. Zugriff am 8.2.2016. Verfügbar unter: [http://search.bipm.org/bipm/en/C=eJw9xstygiAUAND7K8x0xYpOh0eXIFKLIwJcPd04MQmPCAESbEK\\*XlDdnTMDR3yEHggFDqkYyWXLm76TLUztyOnSYbCgp8OAnqJpEqN!RuIBOP2lAsj\\*XpSkM9BYR!wg94r5WV6990P8dS9bzz1lwmg6G4fGa!bbw0\\*S3ZC5m8MoWgk2ImXidKVH2mfx!Ra](http://search.bipm.org/bipm/en/C=eJw9xstygiAUAND7K8x0xYpOh0eXIFKLIwJcPd04MQmPCAESbEK*XlDdnTMDR3yEHggFDqkYyWXLm76TLUztyOnSYbCgp8OAnqJpEqN!RuIBOP2lAsj*XpSkM9BYR!wg94r5WV6990P8dS9bzz1lwmg6G4fGa!bbw0*S3ZC5m8MoWgk2ImXidKVH2mfx!Ra)

figureqEGwrWalW7iJs!yvunFdjlygUlaKkthx\*0hRBI0uVLCJynrVlhRtUS6SzR\*nNgo97H3m\*pGpJb  
etDRc7UV9rYs5vVuV99wctL\*AAUhhUNA\_\_?action=s&r=%2bcBIPM%2f11202029627308680  
798

- Chopra, I. (2007). The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern? *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 59 (4), 587–590. doi:10.1093/jac/dkm006
- Creighton, J.A., Blatchford, C.G. & Albrecht, M.G. (1979). Plasma resonance enhancement of Raman scattering by pyridine adsorbed on silver or gold sol particles of size comparable to the excitation wavelength. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 2: Molecular and Chemical Physics*, 75 (0), 790–798. doi:10.1039/F29797500790
- Daniel, M.-C. & Astruc, D. (2004). Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology - Chemical Reviews (ACS Publications). Zugriff am 13.1.2016. Verfügbar unter: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cr030698%2B>
- Daoutsali, E. (2011). *Der Nano-Autoabgaskatalysator im Chemieunterricht - eine kontextorientierte Unterrichtseinheit zur Einführung der Nanotechnologie*. Münster: Westfälische-Wilhelms-Universität.
- Davidson Institute - Weizmann Institute of Science. (o. J.). *Davidson Institute of Science*. Zugriff am 1.2.2016. Verfügbar unter: <http://davidson.weizmann.ac.il/en/content/about-institute-0>
- Dewey, J. (1938). *Logic The Theory Of Inquiry*. Zugriff am 13.4.2016. Verfügbar unter: <http://archive.org/details/JohnDeweyLogicTheTheoryOfInquiry>
- Donau, J. (1905). Über eine rote, mittels Kohlenoxyd erhaltene Goldlösung. *Monatshefte für Chemie und verwandte Teile anderer Wissenschaften*, 26, 525–530.
- Dt. Bundestag. (2015, Juni 22). BT-Drucksache 17/6246. Zugriff am 14.2.2016. Verfügbar unter: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/062/1706246.pdf>
- Ellis, A.B. (2002). „Real-Time“ Chemistry and Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, 79 (9), 1034. doi:10.1021/ed079p1034
- Ellis, A.B., Nordell, K.J., Kuech, T.F., Stockman, S.A., Lisensky, G.C. & Condren, S.M. (2001). LEDs: New Lamps for Old and a Paradigm for Ongoing Curriculum Modernization. *Journal of Chemical Education*, 78 (8), 1033. doi:10.1021/ed078p1033
- energie:labor. (o. J.). *energie:labor*. Zugriff am 1.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.forschungswerkstatt.de/labore/energielabor/>
- Ethik-Kommision. (2011, Juni 28). Deutschlands Energiewende - Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft.
- Experimentierkoffer Learning Nano. (o. J.). . Verfügbar unter: [http://www.hessen-nanotech.de/mm/learningnano\\_Ankuend.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/learningnano_Ankuend.pdf)
- Experimentierkoffer Neue Materialien. (o. J.). . Verfügbar unter: <https://www.conatex.com/catalog/chemie/nanotechnologie>
- Experimentierset EWU Ulm. (o. J.). . Verfügbar unter: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-organische-chemie-iii/schuelerlabor-emu-lab.html>
- Faraday, M. (1847). The Bakerian Lecture: Experimental Relations of Gold (and other Metals) to Light. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 147, 145–181.
- Feynman, R.P. (1960). There's Plenty of Room at the Bottom. *Engineering and Science*, 23 (5), 22–36.
- Furno, F., Morley, K.S., Wong, B., Sharp, B.L., Arnold, P.L., Howdle, S.M. et al. (2004). Silver nanoparticles and polymeric medical devices: a new approach to prevention of infection? *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 54 (6), 1019–1024. doi:10.1093/jac/dkh478
- Giljohann, D.A., Seferos, D.S., Daniel, W.L., Massich, M.D., Patel, P.C. & Mirkin, C.A. (2010). Goldnanopartikel in Biologie und Medizin. *Angewandte Chemie*, 122 (19), 3352–3366. doi:10.1002/ange.200904359
- Graham, T. (1861). Liquid Diffusion Applied to Analysis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 151, 183–224. doi:10.1098/rstl.1861.0011

- Grube, T. (2014). Das Potenzial elektrochemischer Verfahrenstechnik bei der Nutzung erneuerbarer Energien. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 63 (7), 10–13.
- Guderian, P. (2007). *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte - Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik*. Berlin: Humboldt-Universität. Zugriff am 26.3.2016. Verfügbar unter: <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/guderian-pascal-2007-02-12/PDF/guderian.pdf>
- Gutsch, A., Mühlenweg, H. & Pridöhl, M. (2006). Nanomaterialien - Synthese und Anwendung. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 55 (1), 17–20.
- Haes, A.J. & Van Duyne, R.P. (2002). A nanoscale optical biosensor: sensitivity and selectivity of an approach based on the localized surface plasmon resonance spectroscopy of triangular silver nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 124 (35), 10596–10604.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. & Lo, K. (2010). Global Surface Temperature Change. *Reviews of Geophysics*, 48 (4), RG4004. doi:10.1029/2010RG000345
- Hasselmann, M. & Oetken, M. (2014). Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus. *Chemie in unserer Zeit*, 48 (2), 102–113. doi:10.1002/ciuz.201400619
- Havel, J. et al. (2009). Gold and nano-gold in medicine: overview, toxicology and perspectives. *Journal of Applied Biomedicine*, 7, 75–91.
- Heinzerling, P. (2006). Nanochemie in der Schule. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 55 (1), 33–35.
- Heinzerling, P. (2011). Deos - ein Beitrag zur Körper- und Umwelthygiene, Teil 2. *Chemie&Schule*, 2011 (3), 14–16.
- Heinzerling, P. (2012). Farbige Silberkolloide. *CHEMKON*, 19 (1), 33–36. doi:10.1002/ckon.201110166
- Heinzerling, P., Boymans, N. & Schneider, J. (2012). Goldrubinglas – von alchemistischer Glaskunst bis zur chemischen Nanotechnologie. *CHEMKON*, 19 (4), 163–170. doi:10.1002/ckon.201210182
- Heinzerling, P., Dräger, G., Kometz, A. & Preiß, E. (2015). Funktionelle Beschichtungen in der Nanotechnologie - Ein Kooperationsprojekt Schule-Hochschule. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 64 (4), 42–46.
- Heinzerling, P. & Kometz, A. (2014). Die Energiewende. Eine didaktische Herausforderung? *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 63 (7), 23–33.
- Hempelmann, R., Haupt, O.J., Domjahn, J., Ulrike, M., Skibe, C., Forst, S. et al. (2013). Schülerlabore - Begriffsschärfung und Kategorisierung. *MNU*, 66 (6), 324–330.
- Hoffmann, R. (2014). Der „Kampf um Strom“ - Die Energiewende in Deutschland als Thema im Geographieunterricht. *Geographie aktuell & Schule*, 36 (207), 19–28.
- Iler, R.K. (1979). *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica - Ralph K. Iler*. Zugriff am 1.2.2016. Verfügbar unter: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-047102404X.html>
- Initiative Junger Forscher Würzburg. (o. J.). . Verfügbar unter: <http://www.initiative-junge-forscher.de/mint-angebote/schulbesuche/nanotechnologie.html>
- Itzek-Greulich, H. (2014). *Einbindung des Lernorts Schülerlabor in den naturwissenschaftlichen Unterricht*. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität. Zugriff am 26.3.2016. Verfügbar unter: [https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/bitstream/handle/10900/60557/Dissertation\\_Heike\\_Itzek-Greulich.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/bitstream/handle/10900/60557/Dissertation_Heike_Itzek-Greulich.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Iwase, E. (1928). Die Herstellung roter Goldsole unter Verwendung von Auszügen aus frischen Blättern und Pflanzen als Reduktionsmittel. *Kolloid-Zeitschrift*, 44 (1), 42–44.
- Jansen, W. (2014). Das Historisch-problemorientiertes Unterrichtsverfahren. Zugriff am 12.1.2016. Verfügbar unter: <https://www.uni-oldenburg.de/chemie/chemiedidaktik/prof-em-dr-walter-jansen/arbeitsgebiete/historisch-problemorientiertes-unterrichtsverfahren>
- Jordan, A., Maier-Hauff, K., Wust, P., Rau, B. & Johannsen, M. (2007). Thermotherapie mit magnetischen Nanopartikeln. *Der Onkologe*, 10, 894–912. doi:10.1007/s00761-007-1263-3
- Kemfert, C. (2013). *Kampf um Strom - Mythen, Macht und Monopole*. Hamburg: Murmann. Zugriff am 23.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.murmann-verlag.de/kampf-um-strom.html>

- Kieler Forschungswerkstatt. (o. J.). *Kieler Forschungswerkstatt*. Zugriff am 1.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.forschungs-werkstatt.de/>
- klick!:labor. (o. J.). *klick!:labor*. Zugriff am 1.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.forschungs-werkstatt.de/labore/klicklabor/>
- Knoll, M. & Ruska, E. (1932). Das Elektronenmikroskop. *Zeitschrift für Physik*, 78 (5-6), 318–339. doi:10.1007/BF01342199
- Kometz, A. & Urbanger, M. (2009). Schülerlabor NESSI-Lab - ein Projekt zur Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung. (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik#Bd.#29; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2008). In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. In Schwäbisch Gmünd 2008*. (S. 277–279). Münster: Lit Verl.
- Krees, S. (2012). CHEM2DO. Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen. *Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule*, 61 (8), 44–45.
- Kultusministerium BW (Hrsg.). (2016a). Bildungsplan - 3.2.1.1 Stoffe und ihre Eigenschaften. Zugriff am 23.3.2016. Verfügbar unter: [http://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/Startseite/de\\_a/a\\_sek1\\_CH\\_ik\\_7-9\\_02\\_01](http://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/Startseite/de_a/a_sek1_CH_ik_7-9_02_01)
- Kultusministerium BW (Hrsg.). (2016b). Bildungsplan - 3.4.8 Chemie in Wissenschaft, Forschung und Anwendung. URL *Bildungsplan 2016 BW*. Zugriff am 23.3.2016. Verfügbar unter: [http://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/Startseite/de\\_a/a\\_gym\\_CH\\_ik\\_11-12-4s\\_08\\_00](http://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/Startseite/de_a/a_gym_CH_ik_11-12-4s_08_00)
- Kunckel, J. (1679). *Johannis Kunckelii ... Ars Vitraria Experimentalis, Oder Vollkommene Glasmacher-Kunst ...: So in drey unterschiedenen Büchern/ und mehr als 200. Experimenten bestehet/ darinnen vom Glasmahlen/ Vergulden und Brennen ...* (W. Fetzer, Hrsg.) (Reprod. d. Erstaussg. von 1679.). Leipzig: Glas Keramik, Volkseigener Außenhandelsbetrieb.
- Landesinstitut für Schulen (Hrsg.). (2010). Lehrpläne Naturwissenschaften Sekundarbereich I, Oberschule und Gymnasium. Zugriff am 23.3.2016. Verfügbar unter: <http://www.lis.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen56.c.15226.de>
- Lee, J., Joo, M.K., Oh, H., Sohn, Y.S. & Jeong, B. (2006). Injectable gel: Poly(ethylene glycol)–sebacic acid polyester (Special issue in honour of James McGrath). *Polymer*, 47 (11), 3760–3766. doi:10.1016/j.polymer.2006.03.109
- Lee, N., Yoo, D., Ling, D., Cho, M.H., Hyeon, T. & Cheon, J. (2015). Iron Oxide Based Nanoparticles for Multimodal Imaging and Magnetoresponse Therapy. *Chemical Reviews*, 115 (19), 10637–10689. doi:10.1021/acs.chemrev.5b00112
- LehrplanPLUS - Gymnasium - Fachlehrpläne. (2016). . Zugriff am 23.1.2016. Verfügbar unter: [http://www.lehrplanplus.bayern.de/schulart/gymnasium/inhalt/fachlehrplaene?w\\_schulart=gymnasium&wt\\_1=schulart&w\\_fach=chemie&wt\\_2=fach](http://www.lehrplanplus.bayern.de/schulart/gymnasium/inhalt/fachlehrplaene?w_schulart=gymnasium&wt_1=schulart&w_fach=chemie&wt_2=fach)
- Leont'ev, A.N. (1982). *Tätigkeit, Bewußtsein, Persönlichkeit* (Studien zur kritischen Psychologie) (Lizenzausg.). Köln: Pahl-Rugenstein.
- Lyer, S., Tietze, R., Unterweger, H., Zaloga, J., Singh, R., Matuszak, J. et al. (2015). Nanomedical innovation: the SEON-concept for an improved cancer therapy with magnetic nanoparticles. *Nanomedicine (London, England)*, 10 (21), 3287–3304. doi:10.2217/nnm.15.159
- MagForce AG – NanoTherm® Therapie. (o. J.). . Zugriff am 14.1.2016. Verfügbar unter: <http://www.magforce.de/produkte/nanothermr-therapie.html>
- Maier, J. (2002). Schülerlabore bei der BASF. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 55 (1), 15–17.
- Markiewicz, M., Zhang, Y.Q., Bösmann, A., Brückner, N., Thöming, J., Wasserscheid, P. et al. (2015). Environmental and health impact assessment of Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) systems – challenges and preliminary results. *Energy & Environmental Science*, 8, 1035–1045.
- Menthe, J., Düker, J., Heller, H. & Hönke, A. (2015). Nanosilber in der Waschmaschine - ein kontextorientierter Zugang zu Elektrochemie und Nanotechnologie. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 64 (4), 18–23.

- Mie, G. (1908). Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Annalen der Physik*, 330 (3), 377–445. doi:10.1002/andp.19083300302
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur (Hrsg.). (2014). Chemie: Lehrpläne Rheinland-Pfalz. Zugriff am 23.3.2016. Verfügbar unter: [http://lehrplaene.bildung-rp.de/lehrplaene-nach-faechern.html?tx\\_abdownloads\\_pi1%5Bcategory\\_uid%5D=86&tx\\_abdownloads\\_pi1%5Bcid%5D=5786&cHash=b5d209a055953f75e03e2f3538b077e1](http://lehrplaene.bildung-rp.de/lehrplaene-nach-faechern.html?tx_abdownloads_pi1%5Bcategory_uid%5D=86&tx_abdownloads_pi1%5Bcid%5D=5786&cHash=b5d209a055953f75e03e2f3538b077e1)
- Ministerium für Schule und Weiterbildung. (2014). Kernlehrplan Chemie S II. Zugriff am 23.3.2016. Verfügbar unter: [http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp\\_SII/ch/KLP\\_GOST\\_Chemie.pdf](http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/ch/KLP_GOST_Chemie.pdf)
- Ministerium für Schule und Weiterbildung (Hrsg.). (2014). Kernlehrplan Chemie S I. Zugriff am 23.3.2016. Verfügbar unter: [http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene\\_download/gymnasium\\_g8/gym8\\_chemie.pdf](http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_g8/gym8_chemie.pdf)
- Mock, J.J., Barbic, M., Smith, D.R., Schultz, D.A. & Schultz, S. (2002). Shape effects in plasmon resonance of individual colloidal silver nanoparticles. *The Journal of Chemical Physics*, 116 (15), 6755–6759. doi:10.1063/1.1462610
- Mulfinger, L., Solomon, S.D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A.V., Rutkowsky, S.A. & Boritz, C. (2007). Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 84 (2), 322. doi:10.1021/ed084p322
- National Nanotechnology Initiative. (o. J.). *NNI.gov*. Verfügbar unter: <http://www.nano.gov/about-nni/what>
- Neher, E.-M. (2002). XLAB. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 51(8), 2–6.
- Neouze, M.-A. & Schubert, U. (2008). Surface Modification and Functionalization of Metal and Metal Oxide Nanoparticles by Organic Ligands. *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*, 139 (3), 183–195. doi:10.1007/s00706-007-0775-2
- Obendrauf, V. (2006). Experimente mit Blattgold. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 55 (5), 31–33.
- Odenthal, S. (2001). Ferrofluide - Ihre Grundlagen und Anwendungen. *Physik in unserer Zeit*, 32 (3), 122–127.
- Ojea-Jiménez, I., Bastús, N.G. & Puentes, V. (2011). Influence of the Sequence of the Reagents Addition in the Citrate-Mediated Synthesis of Gold Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115 (32), 15752–15757. doi:10.1021/jp2017242
- Ostwald, W. (1900). Über die vermeintliche Isomerie des roten und gelben Quecksilberoxyds und die Oberflächenspannung fester Körper. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 34, 495–503.
- Ostwald, W. (1923). *Grundriß der Kolloidchemie* (3. Auflage). Dresden [u.a.]: Steinkopff Verlag Dresden.
- Ostwald, W. (1943). *Kleines Praktikum der Kolloidchemie*. (P. Wolski, Hrsg.) (9., unveränd. Aufl.). Dresden [u.a.]: Steinkopff.
- Ostwald, W. (1944). *Die Welt der vernachlässigten Dimensionen: eine Einführung in die Kolloidchemie mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendungen* (12., unveränd. Aufl.). Dresden [u.a.]: Steinkopff.
- Ozcelik, B., Blencowe, A., Palmer, J., Ladewig, K., Stevens, G.W., Abberton, K.M. et al. (2014). Highly porous and mechanically robust polyester poly(ethylene glycol) sponges as implantable scaffolds. *Acta Biomaterialia*, 10 (6), 2769–2780. doi:10.1016/j.actbio.2014.02.019
- Panzarasa, G. & Sparnacci, K. (2012). Glowing Teacup Demonstration: Trautz–Schorigin Reaction of Natural Polyphenols. *Journal of Chemical Education*, 89 (10), 1297–1300. doi:10.1021/ed200810c
- Paris Climate Change Conference. (2015). . Verfügbar unter: [http://unfccc.int/meetings/paris\\_nov\\_2015/meeting/8926.php](http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/meeting/8926.php)

- Park, J.-W. & Shumaker-Parry, J.S. (2015). Strong Resistance of Citrate Anions on Metal Nanoparticles to Desorption under Thiol Functionalization. *ACS Nano*, 9 (2), 1665–1682. doi:10.1021/nn506379m
- Pawek, C. (2009, Juli 14). *Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe* (doc-type:doctoralThesis). Christian-Albrechts Universität Kiel, CAU Kiel. Zugriff am 26.3.2016. Verfügbar unter: [http://macau.uni-kiel.de/receive/dissertation\\_diss\\_00003669](http://macau.uni-kiel.de/receive/dissertation_diss_00003669)
- Peukert, W., Wasserscheid, P. & Hirsch, A. (2011). From Molecules to Materials: the Cluster of Excellence “Engineering of Advanced Materials” at Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg. *Advanced Materials*, 23 (22-23), 2508–2513. doi:10.1002/adma.201101403
- Riedel, E. & Janiak, C. (2011). *Anorganische Chemie*. Berlin, Boston: De Gruyter. Zugriff am 23.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.degruyter.com/viewbooktoc/product/41060>
- Rossa, E. (1977). *Methodik Chemieunterricht* (2. Auflage). Berlin: Volk und Wissen.
- RSK. (2011, Mai 14). RSK-Stellungnahme: Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan).
- Samuel, U. & Guggenbichler, J.P. (2004). Prevention of catheter-related infections: the potential of a new nano-silver impregnated catheter (Part II of the International Symposium Hot Topics in Urinary Tract Infection). *International Journal of Antimicrobial Agents*, 23, Supplement 1, 75–78. doi:10.1016/j.ijantimicag.2003.12.004
- Sasol. (2015). MARLOTHERM® SH MSDS.
- Schäfer, A. (2008). *Über neue Synthesewege für ultrakleine, fluoreszente „Gold-Nanopartikel“ und deren Einbau in Materialien*. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.
- Schmidt, H. (2002). Nanochemie - Oberflächentechnik über chemische Verfahren mit Nanotechnologie. *Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule*, 51 (4), 2–10.
- Schmidt, H. (2006). Considerations about the sol-gel process: From the classical sol-gel route to advanced chemical nanotechnologies. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 40 (2-3), 115–130. doi:10.1007/s10971-006-9322-6
- Schmitt-Sody, B., Urbanger, M. & Kometz, A. (2015). Experimentieren mit Förderschülern - eine besondere Herausforderung in einem Schülerlabor und ein kleiner Beitrag für die Inklusion. *Chemie&Schule*, 2015 (4), 5–10.
- Schwarzer, S., Akaygun, S., Sagun-Gokoz, B., Anderson, S. & Blonder, R. (2015). Using Atomic Force Microscopy in Out-of-School Settings—Two Case Studies Investigating the Knowledge and Understanding of High School Students. *Journal of Nano Education*, 7 (1), 10–27. doi:10.1166/jne.2015.1079
- Schweda, E. (2012). *Jander/Blasius Anorganische Chemie I* (17. Auflage). Hirzel Verlag Stuttgart.
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport (Hrsg.). (2006a). Rahmenlehrplan Chemie, Sekundarstufe I Berlin. Oberdruck. Zugriff am 10.2.2016. Verfügbar unter: [http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1\\_chemie.pdf?start&ts=1450262874&file=sek1\\_chemie.pdf](http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1_chemie.pdf?start&ts=1450262874&file=sek1_chemie.pdf)
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport (Hrsg.). (2006b). Rahmenlehrplan Physik, Sekundarstufe I Berlin. Zugriff am 10.2.2016. Verfügbar unter: [http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1\\_physik.pdf](http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1_physik.pdf)
- Sharma, R.K., Gulati, S. & Mehta, S. (2012). Preparation of Gold Nanoparticles Using Tea: A Green Chemistry Experiment. *Journal of Chemical Education*, 89 (10), 1316–1318. doi:10.1021/ed2002175
- Siedentopf, H. & Zsigmondy, R. (1902). Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. *Annalen der Physik*, 315 (1), 1–39. doi:10.1002/andp.19023150102



- Standke, B. (2006). Permanenter Graffitienschutz - Zur Wirkung nanoskaliger, organofunktioneller Silan-Systeme. *MNU*, 59 (8), 452–457.
- STEM Education focusing on Energy. (o. J.). . Zugriff am 28.3.2016. Verfügbar unter: <http://www.picoturbine.com/>
- Stöber, W., Fink, A. & Bohn, E. (1968). Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range. *Journal of Colloid and Interface Science*, 26 (1), 62–69. doi:10.1016/0021-9797(68)90272-5
- Taniguchi, N. (1974). On the Basic Concept of „Nano - Technology“. *Proceedings International Conference on Production Engineering*, 2, 18–23.
- Tausch, M.W. (2000). Didaktische Integration - die Versöhnung von Fachsystematik und Alltagsbezug. *Chemie in der Schule*, 47 (3), 179–181.
- Tausch, M.W. (2004). Curriculare Innovation. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 53 (6), 18–21.
- Tausch, M.W. & von Wachtendonk, M. (2007). *Chemie 2000+ Sekundarstufe II: Stoffe - Reaktionen - Kreisläufe*. Buchner. Zugriff am 10.2.2016. Verfügbar unter: <http://www.amazon.de/Chemie-2000-Gesamtband-Sekundarstufe-Zentralabitur/dp/3766134159>
- Teichmann, D., Arlt, W. & Wasserscheid, P. (2012). Liquid Organic Hydrogen Carriers as an efficient vector for the transport and storage of renewable energy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (23), 18118–18132. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.08.066
- Teichmann, D., Arlt, W. & Wasserscheid, P. (2014). Einbindung von Wind- und Solarenergie in die Infrastruktur für flüssige Kraftstoffe - Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)-Systeme und ihr möglicher Beitrag zur Energiewende. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 63 (7), 5–9.
- Theyßen, C. & Lueken, H. (2002). Einbindung kolloider Systeme in die Sekundarstufe I - ein Plädoyer. *CHEMKON*, 9 (3), 130–135. doi:10.1002/1521-3730(200207)9:3<130::AID-CKON130>3.0.CO;2-3
- Tsuji, M., Hashimoto, M., Nishizawa, Y., Kubokawa, M. & Tsuji, T. (2005). Microwave-Assisted Synthesis of Metallic Nanostructures in Solution. *Chemistry – A European Journal*, 11 (2), 440–452. doi:10.1002/chem.200400417
- Turkevich, J., Garton, G. & Stevenson, P.C. (1954). The color of colloidal gold. *Journal of Colloid Science*, 9, 26–35. doi:10.1016/0095-8522(54)90070-7
- Turkevich, J., Stevenson, P.C. & Hillier, J. (1951). A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. *Discussions of the Faraday Society*, 11 (0), 55–75. doi:10.1039/DF9511100055
- Tyndall, J. (1868). On the Blue Colour of the Sky, the Polarization of Skylight, and on the Polarization of Light by Cloudy Matter. *Proceedings of the Royal Society of London*, 17 (223233).
- URL Wissenschaft erleben. (2016, Januar 13). *Wissenschaft erleben*. Zugriff am 13.1.2016. Verfügbar unter: <http://wissenschaft-erleben.de/>
- Vasylyev, S., Damm, C., Segets, D., Hanisch, M., Taccardi, N., Wasserscheid, P. et al. (2013). Synthesis of silver nanoparticles in melts of amphiphilic polyesters. *Nanotechnology*, 24 (11), 115604. doi:10.1088/0957-4484/24/11/115604
- VCI. (2015). Nanobox. Verfügbar unter: <https://www.vci.de/fonds/presse-und-infos/publikationen/detailpage-80.jsp?fsID=30745>
- Vinoy, K.J. & Jha, R.M. (1995). Trends in radar absorbing materials technology. *Sadhana*, 20 (5), 815–850. doi:10.1007/BF02744411
- Voigt, A. & Kometz, A. (2002). Chemobil und Chemie zum Anfassen, 51 (8), 10–13.
- Voijtech, J.M., Cano-Mejia, J., Dumont, M.F., Size, R.W. & Fernandes, R. (2015). Biofunctionalized Prussian Blue Nanoparticles for Multimodal Molecular Imaging Applications. *Journal of Visualized Experiments*, 98, 1–14.
- Vygotskij, L.S. (2002). *Denken und Sprechen: psychologische Untersuchungen* (Beltz-Taschenbuch ; 125 : Psychologie). (J. Lompscher, G. Rückriem & A. Métraux, Hrsg.) (Orig.-Ausg.). Weinheim [u.a.]: Beltz.

- Wagenschein, M. (2009). *Naturphänomene sehen und verstehen : genetische Lehrgänge ; das Wagenschein-Studienbuch / Martin Wagenschein. Hrsg. von Hans Christoph Berg*. Bern: hep.
- Waitz, T., Dege, J. & Wilke, T. (2015). Von der Sonnencreme zur Solarzelle - Ein Schule-Hochschule-Projekt über Titandioxid-Nanopartikel. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 64 (4), 32–37.
- Weimarn, N. v. (1928). Versuche zur Herstellung leicht reproduzierbarer Goldsole von rein roter Farbe mit wässrigen Auszügen aus Blumen. *Kolloid-Zeitschrift*, 44 (1), 41–42.  
doi:10.1007/BF01678354
- Wong, J.X.H. & Yu, H.-Z. (2013). Preparation of Transparent Superhydrophobic Glass Slides: Demonstration of Surface Chemistry Characteristics. *Journal of Chemical Education*, 90 (9), 1203–1206. doi:10.1021/ed300809m
- Wuithschick, M., Birnbaum, A., Witte, S., Sztucki, M., Vainio, U., Pinna, N. et al. (2015). Turkevich in New Robes: Key Questions Answered for the Most Common Gold Nanoparticle Synthesis. *ACS Nano*, 9 (7), 7052–7071. doi:10.1021/acsnano.5b01579
- Xia, H., Bai, S., Hartmann, J. & Wang, D. (2010). Synthesis of Monodisperse Quasi-Spherical Gold Nanoparticles in Water via Silver(I)-Assisted Citrate Reduction. *Langmuir*, 26 (5), 3585–3589.  
doi:10.1021/la902987w
- Zehren, W. (2009). *Forschendes Lernen im Schülerlabor*. Saarbrücken: Universität des saarlandes. Zugriff am 26.3.2016. Verfügbar unter: [http://scidok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2009/2337/pdf/Promotion\\_endgueltige\\_Fassung.pdf](http://scidok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2009/2337/pdf/Promotion_endgueltige_Fassung.pdf)

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen:

Abb.:	Legende:	Seite:
1	Vernetzungsstruktur des Exzellenzclusters	1
2	Statistik der Chemiestudierenden (Quelle: GDCh)	5
3	Besucherstatistik des XLAB (Quelle: XLAB Jahresbericht 2014)	6
4	Publikationen zur Nanotechnologie im Journal of Chemical Education	13
5	Saure Hydrolyse des Kieselsäureesters mit anschließender Polykondensation (Aus: Schmidt, 2002)	22
6	Bildung von Kieselsäure-Gelen in Abhängigkeit vom Milieu (Reproduktion aus (Iler, 1979) mit Genehmigung von John Wiley & Sons, Inc.)	23
9	Funktionalisierung mit Chlorsilanen: A: Trichloroctadecylsilan, B: Trichlormethylsilan; Einblendung TEM-Aufnahme	24
8	Reaktion der organofunktionellen Silane mit einer Betonoberfläche (Aus: Standke, 2006)	25
9	Wirkung der Betonversiegelung (Aus: Standke, 2006)	25
10	Links: Regionale Aufteilung der Übertragungsnetze; Rechts: Momentaufnahme Windenergie	28
11	Vertikale Netzlast und Einspeisung aus erneuerbaren Energien bei starkem Ausbau der Windkraft . Rote Linie: Vertikale Lastkurve (Quelle: FZ Jülich aus (Grube, 2014))	29
12	LOHC-Konzept auf der Basis von Dibenzyltoluol (DBT) – Handelsname Marlotherm® SH (Aus: (Teichmann, Arlt & Wasserscheid, 2014)	31
13	Prinzip der Gasphasen-Synthese (Aus (Gutsch, Mühlenweg & Pridöhl, 2006) )	39
14	Herstellung von Nanomaterialien über das Sol-Gel-Verfahren (Aus (VCI, 2015))	40
15	Herstellung eines Sols für das Sol-Gel-Verfahren (Quelle: INM-GmbH)	40
16	Temperaturanomalien gegenüber im Zeitraum 1880-2000 (Aus (Hansen, Ruedy, Sato & Lo, 2010) mit Genehmigung von Wiley)	41
17	Auftragung der Temperaturanomalien (Untere Troposphäre) gegen den Anstieg von CO <sub>2</sub> (Mauna Loa(Hawaii) (Quellen mit Genehmigung: RSS (Remote Sensing Systems (USA)); Earth System Research Laboratory, National Ocean & Atmospheric Administration, Department of Commerce(USA))	42
18	Spezifische Erzeugungskosten für Strom aus Photovoltaik in Europa und installierte Kapazitäten in ausgewählten Ländern (Quelle: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln(EWI))	43
19	Spezifische Kosten für die Stromerzeugung aus Windenergie (Quelle: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln(EWI))	44

20	Photovoltaik-Volllaststunden bei optimaler Neigung sowie installierte Photovoltaik-Kapazitäten im Jahr 2011 in MW (linke Grafik); Volllaststunden für 3 MW-Onshore-Windkraftwerke sowie installierte Windkraft-Kapazitäten im Jahr 2011 in MW (rechte Grafik); Quelle: EWI (basierend auf Eurowind, EWEA, EurObserv'ER)	45
21	Tischvorlage zur Station Ferrofluid	48
22	Reduktion von Tetrachlorogold(III)chlorid-Lösung mit Kohlenstoffmonooxid	51
23	Catechine im Tee (Abdruck mit Erlaubnis aus (Panzarasa & Sparnacci, 2012))	54
24	Tannin im Rotwein (Abdruck mit Erlaubnis aus (Panzarasa & Sparnacci, 2012))	55
25	Anregung der Elektronenhülle durch Licht (Aus: (Schäfer, 2008))	58
26	Abhängigkeit der Wellenlänge von der Größe der citratstabilisierten Goldnanopartikel (Aus: (Schäfer, 2008))	58
27	Abhängigkeit der Lichtabsorption und der Schmelzpunkte von der Teilchengröße bei Gold (Abdruck mit Erlaubnis von Amanda J. Haes, University of Iowa)	59
28	Vorgeschlagener Mechanismus der Citrat-Reduktion von Tetrachlorogold(III)säure unter Berücksichtigung der Pufferwirkung und der Reaktion des SADC mit AuCl Legende: SADC = Sodium Acetone Dicarboxylate (Natriumacetondicarboxylat) (Abdruck mit Genehmigung aus (Xia, Bai, Hartmann & Wang, 2010))	60
29	Monomerbaustein 4-Hydroxyphenyl(4-phenoxyphenyl)methanon aus Polyetheretherketon (PEEK)	66
30	Polykondensationsreaktion zwischen Sebacinsäuredichlorid (Octandisäuredichlorid) und Polyethylenglykol 200 (PEG 200)	67
31	Vergleich der Speicherkapazitäten für 10 MWh (Output) (Aus (Teichmann et al., 2014))	76
32	Speicherkapazität des Tanklagers in Ingolstadt am Beispiel von H12-NEC(Folie P. Heinzerling, Abb. aus (Teichmann, Arlt & Wasserscheid, 2012) )	77
33	Fragebogen zum Vortest	84
34	Fragebogen zur Evaluation der Versuchsstationen	85
35	Fragebogen zum Konzept des EAM-Schülerlabors Chemie	86
36	Station Einstiegsexperimente: Ergebnis LFB 02/2014	89
37	Station Einstiegsexperimente: Ergebnis LFB 07/2014	89
38	Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 07/2014	90
39	Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 02/2014	90
40	Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Antioxidanzien): Ergebnis LFB 02/2014	91
41	Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Antioxidanzien): Ergebnis LFB 07/2014	91
42	Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit CO): Ergebnis LFB 02/2014	92
43	Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit CO): Ergebnis LFB 07/2014	92
44	Station Sol-Gel-Verfahren (Modellexperiment mit Berliner Blau): Ergebnis LFB 02/2014	93
45	Station Sol-Gel-Verfahren (Modellexperiment mit Berliner Blau): Ergebnis LFB 07/2014	93

46	Station Sol-Gel-Verfahren (TEOS-Antireflexbeschichtung): Ergebnis LFB 02/2014	94
47	Station Sol-Gel-Verfahren (TEOS-Antireflexbeschichtung): Ergebnis LFB 07/2014	94
48	Station Hydrophobierung von Glasoberflächen: Ergebnis LFB 02/2014	95
49	Station Hydrophobierung von Glasoberflächen: Ergebnis LFB 07/2014	95
50	Station Brennstoffzelle: Ergebnis LFB 02/2014	96
51	Station Brennstoffzelle: Ergebnis LFB 07/2014	96
52	Station Savonius-Rotor: Ergebnis LFB 02/2014	97
53	Station Savonius-Rotor: Ergebnis LFB 07/2014	97
54	Station Wind-zu-Wasserstoff (Elektrolyse): Ergebnis LFB 02/2014	98
55	Station Wind-zu-Wasserstoff (Elektrolyse): Ergebnis LFB 07/2014	98
56	Station Kupfer-Nanopartikel: Ergebnis LFB 10/2014	99
57	Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 10/2014	99
58	Station Sol-Gel-Verfahren (Modellexperiment mit Berliner Blau): Ergebnis LFB 10/2014	100
59	Station Lithium-Ionen-Akku (Stack): Ergebnis LFB 10/2014	100
60	Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB VCBY	102
61	Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Borhydrid-Ionen): Ergebnis LFB VCBY	102
62	Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Antioxidanzien): Ergebnis LFB VCBY	103
63	Station Gold-Nanopartikel, Reduktion mit CO: Ergebnis LFB VCBY	103
64	Stationen Lithium-Ionen-Akku: Ergebnisse LFB VCBY	104
65	Stationen Lithium-Ionen-Akku: Ergebnisse LFB VCBY	105
66	Station Ferrofluid: Ergebnis LFB 10/2015	105
67	Station Silber-Nanopartikel (Elektrolyse nach Bredig) Ergebnis LFB 10/2015	106
68	Station Silber-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 10/2015	106
69	Station Gold-Nanopartikel (Reduktion mit Citrat): Ergebnis LFB 10/2015	107
70	Station Savonius-Rotor: Ergebnis LFB 10/2015	107
71	Bewertung der Materialien der Fortbildungen mit Standardabweichung (Die Abweichungen nach unten wurden wegen nicht sinnvoller Ergebnisse < 1 nicht dargestellt)	108
72	Bewertung der Materialien der Fortbildungen mit Standardabweichung (Die Abweichungen nach unten wurden wegen nicht sinnvoller Ergebnisse < 1 nicht dargestellt)	108
73	Evaluation des Einführungsvortrags WS 2014/15	111

74	Evaluation der Materialien aller Stationen (1-13: Nanotechnologie; 14-18: Energie; N=49)	113
75	Evaluation der Experimente aller Stationen (1-13: Nanotechnologie; 14-18: Energie, N = 49))	114
76	Bewertung der Materialien (N=33) und Experimente (N=30) zu Station 4	115
77	Bewertung der Materialien zur Herstellung von Silber-(N=29) und Gold-nanopartikeln(N=30) durch Reduktion mit Citrat (Turkevich-Methode)	116
78	Bewertung von Materialien (N=20) und Experiment (N=22) zum Savonius-Rotor	117
79	Evaluation des Einführungsvortrags (Testphase)	120
80	Evaluation der Materialien aller Stationen (1-13: Nanotechnologie; 14-18: Energie; N=52)	120
81	Gesonderte Darstellung der Evaluation der Materialien: P-Kurs Nanotechnologie, Apian-Gymnasium Ingolstadt	121
82	Gesonderte Darstellung der Evaluation der Materialien: P-Kurs Nanotechnologie, Apian-Gymnasium Ingolstadt	122
83	Evaluation der Materialien über alle Stationen (N=274)	124
84	Evaluation der Experimente über alle Stationen (N=274)	124
85	Evaluation der Vor- und Nachtests zur Bedeutung der Abkürzung ‚nano‘	126
86	Evaluation der Vor- und Nachtests zum zeitlichen Forschungshorizont	127
87	Evaluation der Vor- und Nachtests zur Anzahl der Arbeitsplätze (N=406)	127
88	Evaluation der Vor- und Nachtests zur Kenntnis bzw. Interesse am Studium der Material-wissenschaft (N=406)	128
89	Evaluation der Vor- und Nachtests zur Kenntnis bzw. Interesse am Studium der Nano-technologie (N=406)	129

<b>Tab.:</b>	<b>Legende:</b>	<b>Seite:</b>
1	Teilnehmerzahlen bei den International Science Camps (Quelle: XLAB Jahresbericht 2014)	10
2	Liste der vorgesehenen Versuchsstationen	88
3	Endgültige Liste der vorgesehenen Versuchsstationen	101
4	Liste der vorgesehenen Versuchsstationen WS 2014/15	112
5	Liste der Stationen während der Testphase	119





## **Anhänge:**

- I            Power-Point-Präsentation: Einführungsvortrag
- II           Schülerbroschüre
- III          Lehrer-Manual
- IV          PSPP-Daten

## Anhang I



### Nano und Energie: Zwei Jahrhundertthemen

Schule-Hochschule-Projekt  
Peer-Mentoring  
Prof. Dr. Andreas Komatz  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Didaktik der Chemie

### Nano und Energie

Welche Beziehung zum Exzellenzcluster ?



19.06.2016

EAMEL

2

### Nano und Energie



**Klassische Materialien:**  
Metalle, Nichtmetalle (Glas, Keramik), Kunststoffe  
Herstellung: Chemie  
Eigenschaften: Physik, Werkstoffkunde  
Verarbeitung: Ingenieurwissenschaften

Mittelalter bis heute

19.06.2016

EAMEL

3

### Nano und Energie



**Advanced Materials:**  
Halbleiter, Verbundwerkstoffe

**Engineering:**  
Beeinflussung der Eigenschaften im Inneren und an der Oberfläche  
Arbeitsmethoden: Nanotechnologie

19.06.2016

EAMEL

4

### Nano und Energie



**Advanced Materials:**  
Einziges Exzellenzcluster in Deutschland  
Mittelschnelleiter Studiengang mit exzellenten Berufsperspektiven  
>> 100.000 Arbeitsplätze hängen an neuen Materialien

19.06.2016

EAMEL

5

### Nanotechnologie

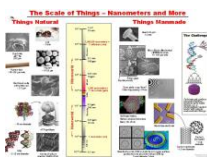
- Was ist Nanotechnologie ? griech. **nanos** (nanos) = Zwerg
- 1 nm = 10<sup>-9</sup>m oder 1 Millionstel Millimeter
- Definition für Nanotechnologie: 1 bis 100 nm
- Forschung und Technologie im Bereich von einzelnen Atomen bis zu Clustern

19.06.2016

EAMEL

6

### Nanotechnologie



19.06.2016

EAMEL

7

### Nanotechnologie

- Wissenschaftlicher Durchbruch:  
G. Binnig und H. Rohrer: Rastertunnelmikroskopie (1981)  
(IBM Rueschlikon) Rasterkraftfeldmikroskopie (1986)  
Nobelpreis 1986 zusammen mit E. Ruska (Berlin) – Erfinder des Transmissionselektronenmikroskops (1932)  
Alle Methoden äußerst wichtig für die Nanotechnologie

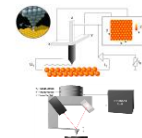
19.06.2016

EAMEL

8

### Nanotechnologie

- Wissenschaftlicher Durchbruch:  
STM (Rastertunnelmikroskopie):



19.06.2016

EAMEL

9

Nanochemie uralt

- Uralt
- Einfach
- Top-aktuell



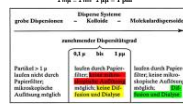
19.06.2016

EMIL.Lab

10

Nanochemie - uralt

Das Ostwald Schema für Kolloide:



19.06.2016

EMIL.Lab

11

Nanochemie - uralt



19.06.2016

EMIL.Lab

12

Nanochemie - uralt

1. Ein kleiner, aber wichtiger Teil der Nanotechnik ist die Nanomedizin. Sie beschäftigt sich mit der Entwicklung von Nanopartikeln für diagnostische und therapeutische Zwecke. Diese Partikel können in den Körper injiziert werden und können dort gezielt auf Krankheitserreger oder Tumorzellen abzielen. Ein weiterer Bereich der Nanomedizin ist die Entwicklung von Nanosensoren, die in der Lage sind, Krankheiten frühzeitig zu erkennen.



19.06.2016

EMIL.Lab

13

Nanochemie - uralt

- Mie-Streuung



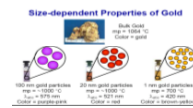
19.06.2016

EMIL.Lab

14

Nanochemie - top aktuell

- Mie-Streuung
- Partikelmessung: Rückstreuung mit Laser



19.06.2016

EMIL.Lab

15

Nanochemie - einfach

Reaktionstypen:

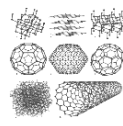
- Säure-Base-Reaktionen →  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , Ferrofluid
- Redox-Reaktionen →  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{S}$  usw.
- Komplex-Reaktionen → Berliner-Blau

19.06.2016

EMIL.Lab

16

Nanochemie - top-aktuell



**Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nanotubes, CNT)**  
Graphen

Größe Bedeutung bei der Entwicklung der Nanotechnologie

Außerordentliche Eigenschaften:

- 6 mal leichter als Stahl
- 100 mal reißfester als Stahl

Perspektiven:

- Verbundwerkstoffe
- Katalysatoren

Quelle: Wikipedia

19.06.2016

EMIL.Lab

17

Nanochemie - top-aktuell

Chemische Nanotechnologie:

- Sol-Gel-Verfahren
- Beschichtung von Oberflächen
- Chemische Modifizierung

Physikalische Funktionalisierung:  
Superhydrophob, Superhydrophil  
Oxophilie  
Lichtstreuung  
Atrinfektion usw.



19.06.2016

EMIL.Lab

18


**Nanochemie - top-aktuell**

**Chemische Nanotechnologie:**

**Sol-Gel-Verfahren**

Beschichtung von Oberflächen


Motto:  
God made the bull, surfaces were invented by the devil.  
Wolfgang Pauli (Nobelpreis Physik 1945)



19.06.2016 EAGL/ab 19

**Nanochemie - top-aktuell**


**Sol-Gel-Verfahren: Tauchbeschichtung**



19.06.2016 EAGL/ab 20

**Nanochemie - top-aktuell**

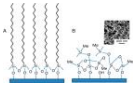
**Sol-Gel-Verfahren:**

$$\text{Si(OR)}_4 \xrightarrow{\text{H}^+} \text{SiO}_2 \cdot \text{Knetzueil} \rightarrow \begin{matrix} \text{OH} \\ | \\ \text{Si} \\ | \\ \text{OH} \end{matrix}$$


19.06.2016 EAGL/ab 21

**Nanochemie - top-aktuell**

Silan als reaktiver Partner für Hydroxyl-Gruppen



19.06.2016 EAGL/ab 22

**Nanochemie - top-aktuell**

Silan als reaktiver Partner für Hydroxyl-Gruppen



19.06.2016 EAGL/ab 23

**Nanochemie - top-aktuell**

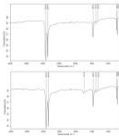
Umfunkeonalisierung von Kunststoffoberflächen



19.06.2016 EAGL/ab 24

**Nanochemie - top-aktuell**

Umfunkeonalisierung von Kunststoffoberflächen



19.06.2016 EAGL/ab 25

**Nano meets Consumers**

- Bekleidung
- Lederpflege
- Lackversiegelung
- Glasversiegelung
- Keramikversiegelung
- Metallversiegelung
- Kosmetik
- Sport



19.06.2016 EAGL/ab 26

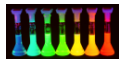
**Nano meets Consumers**



19.06.2016 EAGL/ab 27

**Nano meets Consumers**

Quantum Dots als Biomarker und Nanokristalle für Bildschirme



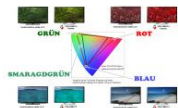
- Forschungsbedarf: Herstellung aus ungiftigen Stoffen  
Limitierte Rohstoffe (Seltene Erden)

19.06.2016 EMBL.de 28

**Nano meets Consumers**

Quantum Dots als Nanokristalle für Bildschirme

Rasante Entwicklung: 2013 Fernseher mit Quantum Dots



19.06.2016 EMBL.de 29

**Nano meets Consumers**

Kosmetische Anwendungen

- Sonnenschutz  
ZnO, TiO<sub>2</sub> schon immer nanoskaliert
- Nanokristalline Pflegecremes
- Nanoskalierte Liposomen
- Mikroemulsionen  
Neue Duo-Generation bei BEERSOORF  
Höherer Anteil pflegender Öle



19.06.2016 EMBL.de 30

**Nano meets Consumers**

Kolloidales Silber

Weitere Anwendungen:

- Kühlschränke
- Waschmaschinen
- Lebensmittelverpackungen
- Medizinische Schläuche
- Medizinische Pflaster
- Schuhspray

19.06.2016 EMBL.de 31

**Nano meets Consumers**



19.06.2016 EMBL.de 32

**Nano meets Consumers**

Kolloidales Silber

Anwendungen in der Medizin:

- Medizinische Schläuche
- Kunststoffimplantate
- Schutz gegen bakterielle Infektionen

Methode: Einbettung von Silber-Nanopartikeln  
Freisetzung von Silber-Ionen

Voraussetzung: Feuchtigkeit  
(Luft)sauerstoff

19.06.2016 EMBL.de 33

**Nano meets Consumers**

Kolloidales Silber

Projekt: Einbettung von Silber-Nanopartikeln in Polyester

Diol



Disäuredichlorid



Polyester



19.06.2016 EMBL.de 34

**Nano meets Consumers**

Kolloidales Silber

Projekt: Einbettung von Silber-Nanopartikeln in Polyester



19.06.2016 EMBL.de 35

**Risiken der Nanotechnologie**

Keine Technologie ohne Risiko ...

**Gefährliches Bad-Spray: Schon 70 Verletzte**

Nano-Trennungsgelbent hat sich 13 Monate vor Veröffentlichung des Artikels in der Zeitschrift 'Science' ...

PENNY-Spray enthält keine Nanosilber

Vermutlich Probleme mit Treibmittel

Meinung Prof. Dr. Harald F. Krug

Leiter NanoCare

EMPA, St. Gallen

Risiko: (weiß)

Chance: (blau)

19.06.2016 EMBL.de 36

### Risiken der Nanotechnologie

- Grundätzliche Risiken:
- Nanoteilchen
- sind zellgängig
  - können die Blut-Hirn-Schranke durchschreiten
- Abhilfe:
- Einbindung in Matrices (NMA-Technologie)

19.06.2016 C:\MSB\16 37

### Risiken der Nanotechnologie

Erkenntnisstand 2015: Nanoteilchen im Consumer-Bereich sind sicher

Mechanismen-Hinjury pathways

19.06.2016 C:\MSB\16 38

### Energie – die Herausforderung

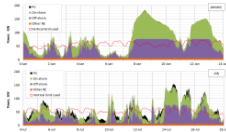
#### Ziel der Energiewende:

Bis zum Jahr 2050 soll die Energiewende in Deutschland vollbracht sein. Dann werden 80 Prozent der Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen gespeist. Heute sind es ca. 25 Prozent.

19.06.2016 C:\MSB\16 39

### Energie – die Herausforderung

#### Größte Herausforderung: Speichern und abrufen



19.06.2016 C:\MSB\16 40

### Energie – die Herausforderung

#### Der mögliche Ausweg:



19.06.2016 C:\MSB\16 41

### Energie – die Herausforderung

#### Der mögliche Ausweg:

- Wind zu Wasserstoff
  - Speicherung von Wasserstoff
  - Zuzüchtung von Wasserstoff zum Erdgasnetz
- Wasserstoff und CO<sub>2</sub> zu Methan
  - Katalytisches Verfahren aus dem 1930er Jahren (Paul Sabatier):  
 $4 H_2(g) + CO_2(g) \rightarrow CH_4(g) + 2 H_2O(g)$

19.06.2016 C:\MSB\16 42

### Energie – die Herausforderung

ENGINEERING OF ADVANCED MATERIALS

- Speicherung von Wasserstoff
  - Chemische Speicherung durch Hydrierung

19.06.2016 C:\MSB\16 43

### Energie – die Herausforderung

ENGINEERING OF ADVANCED MATERIALS

- Speicherung von Wasserstoff
  - Materialforschung: Katalysatoren
  - Mechanismen ähnlich wie bei Ammoniak-Synthese

19.06.2016 C:\MSB\16 44

### Energie – die Herausforderung

ENGINEERING OF ADVANCED MATERIALS

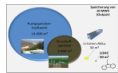
- Speicherung von Wasserstoff
  - Speicherdichte enorm

19.06.2016 C:\MSB\16 45

Energie – die Herausforderung



- **Speicherung von Wasserstoff**
  - Beispiel: Tanklager Ingolstadt 1,8 Mio m<sup>3</sup>
  - entspricht 18 Mio MWh = 18.000 GWh: 225 h Spitzenlast von 80 GW

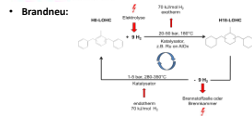


19.06.2016

EMM-EM

46

Energie – die Herausforderung



19.06.2016

EMM-EM

47

Energie – die Herausforderung



- **Speicherung mithilfe von Lithium-Ionen-Akkus**
  - Feldversuch im Saarland



19.06.2016

EMM-EM

48

Die Laborexperimente

- **Nano:** 15 Stationen mit schnellen Experimenten
- **Energie:** Untersuchungen zum Lithium-Ionen-Akku  
Wind-zu-Wasserstoff

19.06.2016

EMM-EM

49

Die Laborexperimente

Und nun geht's ins Labor ...



19.06.2016

EMM-EM

50



## Anhang II



## Dieses Buch gehört:

.....



### SICHERHEITSHINWEISE

Für alle eingesetzten Substanzen sind die Gefahrenhinweise angegeben. Lesen Sie bitte die Hinweise vor Beginn des Experiments. Den Lehrerinnen und Lehrern liegen hierzu die schriftlichen Unterlagen vor. Chemikalien sollen mit keiner Stelle des Körpers in Kontakt kommen, insbesondere nicht mit dem Mund und den Augen. Deshalb werden beim Experimentieren Kittel, Schutzbrille und ggfs. Handschuhe getragen. Lange Haare müssen zusammengebunden werden. Die Anweisungen in den Experimentier-vorschriften und der Betreuer müssen beachtet werden. Alle Substanzen müssen hinterher ordnungs-gemäß entsorgt werden.

### HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Buch beschriebenen Experimente wurden mit großer Sorgfalt erstellt. Sie können jedoch auch bei ordnungsgemäßer Durchführung und Handhabung mit Gefahren verbunden sein. Die Universität übernimmt keine Haftung für Schäden, die bei der Durchführung der hier vorgeschlagenen Experimente entstehen.

### HINWEISE ZUR GENEHMIGUNG DES NACHDRUCKS

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Für nicht-kommerzielle schulische Zwecke ist das Kopieren, der Nachdruck oder die sonstige Vervielfältigung erlaubt und erwünscht. Für alle anderen Nutzungsarten bedarf es einer schriftlichen Genehmigung der Universität.

Hinweis § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Genehmigung einge-scannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Für alle anderen Zwecke, insbesondere kommerzielle nicht-schulische Zwecke, ist das Kopieren, der Nachdruck oder die sonstige Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit schrift-licher Genehmigung der Universität erlaubt.

# Willkommen im Schülerlabor der Didaktik der Chemie



## Liebe Schülerinnen und Schüler,

das Lehrgebiet Didaktik der Chemie betreibt bereits seit acht Jahren das Nürnberg-Erlanger-Schüler- und Schülerinnen-Labor (NESSI-Lab) mit dem Schwerpunkt Grundschulen und Mittelstufe. In Kooperation mit dem EAM wird das Labor nunmehr mit dem EAM Schülerlabor Chemie auf die Gymnasiale Oberstufe ausgeweitet.

Der Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials (EAM) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) befasst sich als deutschlandweit einziger materialwissenschaftlicher interdisziplinärer Forschungsverbund mit der Entwicklung zukunftsweisender Materialien – dies entlang der Prozesskette – vom Molekül bis zum Material.

Ziel des EAM Schülerlabors Chemie ist die Heranführung von Gymnasiasten an Wissenschaft und Forschung in diesem Bereich. Die Experimente sollen einen Einblick in Grundlagen und Anwendungen der Nanotechnologie sowie die Energiewende bieten. An der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg bestehen hervorragende Studiengänge im Bereich der Material- und Nanowissenschaften. Für junge Menschen bedeuten diese Studiengänge beste Berufsaussichten.

Die Energiewende wird die größte Herausforderung für Ihre Generation. Sie bringt einen großen Bedarf an Ausbildung und Forschung mit sich. Auch hier ist die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg bestens aufgestellt. Der Energie Campus Nürnberg wird ausgebaut und ein Helmholtz-Institut für Erneuerbare Energien befindet sich im Aufbau. Damit wird der Standort Erlangen-Nürnberg zum Zentrum der Forschung rund um die Energiewende.

## Neugierig geworden?

Wir melden uns rechtzeitig vorm Abitur für ein Schnupperstudium wieder.

## Viel Spaß beim Experimentieren!

Prof. Dr. Andreas Kometz    Peter Heinzerling

## EAM Schülerlabor Chemie Schule-Hochschule-Projekt

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Didaktik der Chemie

Prof. Dr. Andreas Kometz  
Peter Heinzerling

Regensburger Straße 160  
90478 Nürnberg  
[www.chemiedidaktik.fau.de](http://www.chemiedidaktik.fau.de)



**NESSI-Lab-**  
Nürnberg-Erlanger-  
Schüler- und  
Schülerinnen-Labor  
[www.nessi-lab.de](http://www.nessi-lab.de)





## Liebe Schülerinnen und Schüler,

Ihr seid unsere Zukunft! Auf euch kommt es an! Ihr seid die Wissenschaftler und Entwickler von morgen. Deshalb ist es für uns eine wichtige Aufgabe, euch für die Welt der Wissenschaft und Forschung zu begeistern. Das EAM Schülerlabor Chemie bringt unsere aktuelle Forschung zu euch. Hier könnt ihr selbst ausprobieren und begreifen und damit besser verstehen, wie die Welt der Materialien funktioniert und wie man neue Materialien herstellt.

Viel Spaß beim Experimentieren wünscht euch

## Wolfgang Peukert

Koordinator des Exzellenzclusters  
Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrertechnik  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

## Neue Hochleistungsmaterialien braucht man, damit

- Handys oder Computer schneller werden
- Elektronikbauteile kleiner und leistungsfähiger werden
- Solarzellen flexibel sind und billiger hergestellt werden können
- Autos leichter werden
- Regenerative Energie effizient gespeichert werden kann

Nanoebene Bausteine

Mesoebene Strukturen

Makroebene Bauteile



## Nanotechnologie ist wie spielen mit Lego

Je kleiner ein Teilchen ist, desto größer wird seine Oberfläche im Verhältnis zu seiner Größe. Dies beeinflusst seine Eigenschaften, z.B. elektrische Leitfähigkeit, magnetisches Verhalten, Schmelz- und Siedepunkt, Zähigkeit, Bruchfestigkeit oder Farbe. Die EAM Forscher bauen wie beim Legospiele aus Molekülen und kleinsten Partikeln Strukturen Stück für Stück bis zum Bauteil zusammen und können so ganz neue Materialeigenschaften erzeugen.

## Was ist der Exzellenzcluster EAM ?

Der EAM ist ein Forschungsverbund an der Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), in dem mehr als 200 Wissenschaftler aus neun verschiedenen Disziplinen (Angewandte Mathematik, Chemie- und Biogenieurwesen, Chemie, Informatik, Elektrotechnik, Materialwissenschaft, Maschinenbau, Physik und Medizin) von der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung bis zur ingenieurwissenschaftlichen Umsetzung eng zusammenarbeiten. Ihr gemeinsames Ziel ist es, moderne Hochleistungsmaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften zu entwickeln.

# INHALT

## NANO

N 1	Einstiegsexperimente zur Nanotechnologie	4
N 2	Ruß-Nanopartikel mit besonderen Eigenschaften	6
N 3	Ferrofluid als Beispiel für eine Säure-Base-Reaktion	8
N 4	Kupfer-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion	12
N 5	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Elektrolyse	14
N 6a	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion	16
N 6b	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowellen-Variante)	18
N 7	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Borhydrid-Ionen	20
N 8	Biozider Werkstoff: Eingebettete Silber-Nanopartikel in Polyester	22
N 9a	Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion	24
N 9b	Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowellen-Variante)	26
N 10	Gold-Nanopartikel: Synthese mit Antioxidanzien	28
N 11	Gold-Nanopartikel: Reduktion mit CO	30
N 12	Beschichtung von Oberflächen nach dem Sol-Gel-Verfahren	32
N 13	Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel	34

## ENERGIE

E 14	Lithium-Ionen-Akku mit zwei Graphitminen (Dual-Carbon-Cell)	36
E 15	Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolien (Dual-Carbon-Cell)	40
E 16	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit dem Hofmann-Apparat	44
E 17	Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor als Generator	46
E 18	Wind-zu-Wasserstoff: Horizontaler Windrotor als Generator	48
E 19	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit Windenergie	50
E 20	Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC)	52

# N1 Nano

## Einstiegsexperimente zur Nanotechnologie



### Geräte:

- 4 Bechergläser 1000 ml
- Fanta® Orange
- China-Tusche
- Laser-Pointer
- Schutzbrille

### Chemikalien:

- Salzsäure konzentriert
- Ammoniak-Lösung konzentriert
- Destilliertes Wasser

### Durchführung:

Nanopartikel können in wässriger Suspension durch einen gebündelten Lichtstrahl sichtbar gemacht werden. Dieser Effekt wurde von Faraday bei Nebeltröpfchen entdeckt und später von Tyndall näher untersucht.

Als Lichtquelle ist ein Laserpointer sehr gut geeignet. Hier gelten besondere

**Sicherheitsvorschrift:** Der Lichtstrahl darf niemals auf das Auge gerichtet werden, da seine Energie die Netzhaut verletzen kann.

Nanoskalige Teilchen befinden sich als  **$\beta$ -Carotin** in etlichen gelben Erfrischungsgetränken. Mit dem Laserpointer kann man sie im Getränk sichtbar machen.

**China-Tusche** bzw. indische Tinte – erhältlich beim Künstlerbedarf – ist ein Beispiel für nanoskalige Kohlenstoffteilchen, die durch Zerreiben von Zeichenkohle hergestellt werden. Fachleute würden dieses Verfahren unter top-down (von groß nach klein) einordnen.

1 Tropfen China-Tusche in 500 ml dest. Wasser verteilt ergibt mit dem Laserpointer einen sehr schönen Faraday-Tyndall-Effekt, der auch nach mehrfacher Verdünnung nicht verschwindet.



### Abbildung:

### Beobachtung:

**Fanta® Orange:**

Durchsichtigkeit:

Faraday-Tyndall-Effekt:

**China-Tusche:**

Verdünnungsreihe:	Faraday-Tyndall-Effekt:
1	
2	
3	

**Reaktion zwischen HCl(g) und NH<sub>3</sub>(g):**  
Reaktionsgleichung:

### Erläuterung:

### Entsorgung:

Die verdünnte Chinatusche kann im Abfluss entsorgt werden.





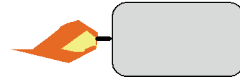
### Geräte:

- Glasscheibe
- Kerze
- Einmalpipette mit Wasser
- Laborboy
- Digitalmikroskop mit Stativ
- Notebook
- Wärmeschrank
- Isolierhandschuhe

### Chemikalien:

- Spülmittel
- Dest. Wasser

### Versuchsaufbau:

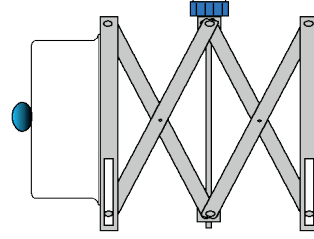


### Durchführung:

Die Kristallisierschale wird mithilfe einer Kerzenflamme gleichmäßig auf der Unterseite von außen geschwärzt und für 10 Minuten in einen vorgeheizten Trockenschrank (150°C) gelegt.

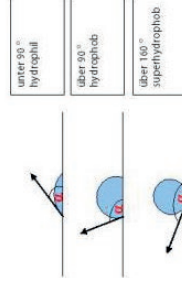
Auf der geschwärzten Glasoberfläche wird ein Wassertropfen platziert.  
Durch Hin- und Herschwenken wird der Wassertropfen bewegt.

Die Kristallisierschale wird waagrecht auf den Laborboy gelegt und der Wassertropfen mit dem Digitalmikroskop im Webcam-Modus erfasst. Auf dem Bildschirm des Notebooks kann mithilfe des Programms ImageJ der Grenzwinkel der Benetzung dargestellt werden.



### Beobachtung:

Skizziere den Wassertropfen auf der Rußoberfläche und schätze den Kontaktwinkel ab.



### Erläutere die Begriffe Hydrophobie und Superhydrophobie:

**Hydrophobie:**

**Superhydrophobie:**

Bei welcher Materialeigenschaft könnte die Superhydrophobie eine Rolle spielen?

### Erläuterung:

Wie müsste die Rußoberfläche strukturiert sein?

Ist Dir aus der Natur ein solcher Effekt bekannt?

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Glasoberflächen mit Spülmittel abgewaschen und getrocknet.

# N3 Nano

## Ferrofluid als Beispiel für eine Säure-Base-Reaktion



### Geräte:

- Ferrofluidic<sup>®</sup> Adventure Science Kit
- Kompass
- 2 Einmalspritzen 5 ml
- 1 Einmalspritze 20 ml
- 1 Erlenmeyerkolben 250 ml
- Magnetrührer mit Rührfisch
- Neodymmagnet
- Einmalhandschuhe

### Chemikalien:

- Eisen(II)-chlorid-Lösung:  
c = 2 mol/l in 2 mol/l HCl
- Eisen(III)-chlorid-Lösung:  
c = 1 mol/l in 2 mol/l HCl
- Ammoniaklösung:  
c = 0,7 mol/l
- Magnetit-Suspension (Ferrofluid)
- Magnetit-Erz

### Durchführung:

**Achtung:** Eisen(III)-chlorid-Lösung ist ätzend. Bei Berührung Hände gut abspülen. Beim Experimentieren Handschuhe tragen.

2 ml salzsaure Eisen(II)-chlorid- und 1 ml salzsaure Eisen(III)-chlorid-Lösung werden im Erlenmeyerkolben vermischt.

Zu der Lösung lässt man langsam im Abzug 50 ml Ammoniak-Lösung tropfen und rührt dabei um. Die fertige Dispersion wird als Ferrofluid bezeichnet. Es handelt sich jedoch nicht um Eisen, sondern um ein Eisen(II,III)-hydroxid. Dieses kommt als entsprechendes Oxid im Mineral Magnetit vor und ist dort magnetisch.

**Nach Beendigung der Reaktion prüft man die Suspension mithilfe einer Kompassnadel auf Magnetismus. Sodann prüft man die Suspension mithilfe eines Haftmagneten aus dem Kit.**

**Zum Vergleich wird Magnetit-Erz mit dem Kompass überprüft.**

**Alternative:** Es wird auf die Synthese von Ferrofluid verzichtet.

### Beobachtung:

Ist die Dispersion magnetisch?

Wie reagiert Dispersion auf den Haftmagneten?

### Entsorgung:

Die Dispersion wird im Abfallbehälter gesammelt.





# N3 Nano

## Ferrofluid als Beispiel für eine Säure-Base-Reaktion



### Erläuterung:

Reaktion von  $\text{FeCl}_2$  mit Ammoniak (Ionengleichung):

Reaktion von  $\text{FeCl}_3$  mit Ammoniak (Ionengleichung):

Gesamtgleichung:

Notizen:

Worin besteht der wesentliche Unterschied zwischen dem Magnetit und den selber hergestellten Eisen-hydroxiden?

# Kupfer-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion

**N4**  
Nano



## Geräte:

- Schnappdeckelglas 40 ml
- Deckel
- 2 Laborlöffel
- Glasstab
- Spritzflasche mit Wasser
- Laserpointer grün

## Chemikalien:

- $\text{CuSO}_4$  (s)
- Ascorbinsäure (s)
- pH-Papier

## Versuchsaufbau:



## Durchführung:

In das Schnappdeckelglas werden je 1 cm hoch  $\text{CuSO}_4$  (s) und Ascorbinsäure (s) gefüllt und die Feststoffe mit Wasser überschichtet. Das mit einem Deckel verschlossene Schnappdeckelglas wird kräftig geschüttelt und hingestellt.  
Mit dem Glasstab wird eine Probe entnommen und der pH-Wert überprüft.

Nach 5 Minuten wird die Lösung mit einem grünen Laserpointer durchstrahlt. Am Ende des Praktikums wird die Lösung erneut geprüft und das Schnappdeckelglas genau beobachtet.

## Beobachtung:

Notiere die Farbveränderungen:

Welcher pH-Wert befindet sich in der Dispersion?

Was sieht man beim Durchleuchten mit dem Laserpointer?

## Erläuterung:

Die blauen  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen werden in zwei Schritten zum Cu-Metall reduziert. Erläutere diesen Vorgang anhand der Redoxpotenziale.

Halbreaktion	Redoxpotenzial in V
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+(\text{aq})$ grün	0,17
$\text{Cu}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{aq})$	0,52

Das Redoxpotenzial von Ascorbinsäure in vom pH-Wert abhängig:  
Niedrigeres Redoxpotenzial = Reduktionsmittel

pH-Wert	Redoxpotenzial in V
3,3	0,200
4,0	0,166
5,0	0,127
7,0	0,060

## Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Schwermetalle entsorgt.



### Geräte:

- Rollrandglas mit PE-Deckel
- Feinsilberdraht ( $d = 1 \text{ mm}$ )
- 3 Blockbatterien 9 V
- 2 Batterieclips
- Spritzflasche
- Laserpointer

### Durchführung:

In den PE-Deckel des Rollrandglases werden zwei Löcher gestochen. Durch die Löcher wird ca. 5 cm langer Feinsilberdraht gesteckt. Das Rollrandglas wird mit dest. Wasser befüllt und mit dem präparierten PE-Deckel verschlossen.

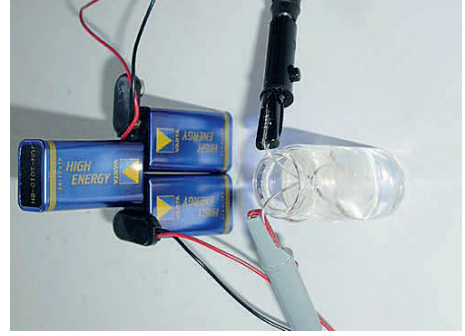
### Chemikalien:

- Dest. Wasser

Die drei Blockbatterien werden hintereinander gesteckt. Auf die freien Pole kommen die Batterieclips, deren freies Kabel abgeschnitten wird. Die unisolierten Enden der Kabel werden für ca. 2 Minuten an die beiden Feinsilberdrähte gehalten.

Der Lichtstrahl des Laserpointers wird durch das Rollrandglas geschickt.

### Versuchsaufbau:



### Beobachtung:

Was passiert nach Anschluss der Batteriekabel?

Was sieht man beim Durchstrahlen mit dem Laserpointer?

### Erläuterung:

Begründe Deine Beobachtung:

Formuliere die chemischen Vorgänge an den Silberdrähten:

Pluspol:

Minuspol:

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Silberabfälle entsorgt.

# N6a Nano

## Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion



### Geräte:

- Becherglas 25 ml
- Magnetheizrührer
- Rührfisch
- 2 PP-Einmalpipetten
- Einmalspritze 20 ml
- Mikrospatel
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer

### Chemikalien:

- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-3} \text{ mol/l}$
- Trinatriumcitrat-Lösung  $w = 1\%$
- Trinatriumcitrat

### Durchführung:

Natriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab.

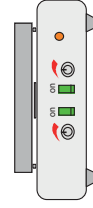
15 ml Silbernitrat-Lösung werden auf dem Magnetheizrührer zum Sieden erhitzt. Zur Lösung wird Trinatriumcitrat-Lösung langsam zugegibt bis zur beginnenden Färbung. Die Lösung wird vom Magnetheizrührer genommen.

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### Variante:

Zur siedenden Silbernitrat-Lösung wird mit einem Halbmikrospatel ein Körnchen Trinatriumcitrat gegeben.

### Versuchsaufbau:



Geräte

Test auf Nanopartikel mit dem Laserpointer

### Beobachtung:

Verfärbung:

Gasentwicklung:

Verlauf des Laserstrahls:

### Erläuterung:

Woher rührt die Verfärbung?

Citrate zersetzen sich bei Redox-Reaktionen.

Woher rührt die Gasentwicklung?

Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Silberabfälle entsorgt.

# N6b Nano

## Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowelle-Variante)



### Geräte:

- Erlenmeyerkolben (V = 250 ml)
- Becher (V = 50 ml)
- Mikrowellengerät SIEMENS
- Einmalspritze 50 ml
- Halbmikrospatel
- Lederhandschuh
- Laserpointer rot

### Chemikalien:

- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-3} \text{ mol/l}$
- Trinitriumcitrat-Dihydrat

### Durchführung:

Natriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab.

Der Erlenmeyerkolben wird mit 30 ml Silbernitrat-Lösung befüllt.

Zu der Lösung wird mithilfe des Halbmikrospatels eine Spatelspitze Trinitriumcitrat-Dihydrat gegeben.

Die Leistung des Mikrowellengeräts wird auf 360 W eingestellt und der Erlenmeyerkolben im Gerät platziert.

Die Betriebsdauer wird zunächst auf 2 min eingestellt und das Ergebnis beobachtet.

Sollte die Färbung noch nicht intensiv sein wird 1 min nachgeheizt.

Der heiße Erlenmeyerkolben kann mit dem Lederhandschuh angefasst werden.

Mit dem roten Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### Versuchsaufbau:



Erlenmeyer-Kolben:

Links: Kolloidales Silber

Rechts: Kolloidales Gold

### Beobachtung:

**Verfärbung:**

**Gasentwicklung:**

**Verlauf des Laserstrahls:**

### Erläuterung:

**Woher rührt die Verfärbung?**

**Citrate zersetzen sich bei Redox-Reaktionen.**

**Woher rührt die Gasentwicklung?**

**Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:**

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Silberabfälle entsorgt.

# N7 Nano

## Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion mit Borhydrid-Ionen



### Geräte:

- Becherglas (V = 400 ml)
- Becherglas (V = 50 ml)
- Kristallisierschale
- PP-Einmalpipette
- Einmalspritze 20 ml
- Magnetrührer mit Rührfisch
- Laserpointer

### Chemikalien:

- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-3}$  mol/l
- $\text{NaBH}_4$ - oder  $\text{KBH}_4$ -Lösung  $c = 2 \cdot 10^{-3}$  mol/l
- Eiswasser

### Durchführung:

Die Silbernitrat-Lösung wird durch Verdünnung von  $c = 0,1$  mol/l hergestellt (zwei Mal hintereinander im Verhältnis 1:9 mit dest. Wasser verdünnen).

Herstellung der von  $\text{NaBH}_4$  ( $c = 0,002$  mol/L entspricht 2 mmol/l):

$$M(\text{NaBH}_4) = 37,83 \text{ g/mol}$$

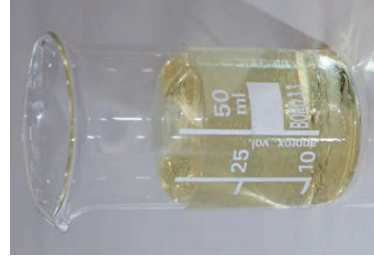
189,2 mg  $\text{NaBH}_4$  (5 mmol) werden in 250 ml dest. Wasser gelöst. Das entspricht einer Konzentration von  $c = 4\text{-}5$  mmol/l = 20 mmol/l. Die Lösung muss im Verhältnis 1:9 verdünnt werden.

Vorschrift für 30 mL: 3 ml  $\text{NaBH}_4$  ( $c = 20$  mmol/l) + 27 ml  $\text{H}_2\text{O}$ .

30 mL  $\text{NaBH}_4$  ( $c = 0,002$  mol/L) auf Eis kühlen, dazu tropfenweise 10 mL  $\text{AgNO}_3$  ( $c = 0,001$  mol/L) geben. Während des Zutropfens gut rühren.

Die Kontrolle auf Nanopartikel erfolgt mithilfe des Laserpointers.

### Abbildung:



### Beobachtung:

### Erläuterung:

Woher rührt die Verfärbung der Lösung?

Erläutere den Verlauf des Laserstrahls:

Borhydrid-Ionen sind in wässriger Lösung instabil. Dabei spalten sie ein Gas ab. Um welches Gas könnte es sich handeln?

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Silberabfälle entsorgt.

# N8 Nano

## Biozider Werkstoff: Eingebettete Silber-Nanopartikel in Polyester



### Geräte:

- Schnappdeckelglas 40 ml
- Reagenzglashalter
- Ultraschallbad
- Magnetheizrührer
- 3 PP-Einmalpipetten
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer blau

### Chemikalien:

- Sebacinsäuredichlorid (Sebacylchlorid, Octandisäuredichlorid)
- Polyethylenglykol (PEG) 200
- Molekularsieb 0,3 nm
- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-2}$  mol/l

### Durchführung:

Das PEG 200 ist mit einem Molekularsieb versetzt worden und dadurch wasserfrei. Mit einer PP-Einmalpipette wird 1 ml Sebacinsäuredichlorid in das Schnappdeckelglas gefüllt. Dazu kommt mit einer PP-Einmalpipette 2 ml PEG 200. Das Gemisch wird umgerührt und auf der Heizplatte 10 Min bei 120°C erhitzt. Danach wird es mit dem Reagenzglashalter für 10 Min in das Ultraschallbad bei 25°C gestellt. Es wird auf HCl-Geruch durch Zufächeln getestet und ggfs. länger behandelt. Zu dem Gemisch werden mit einer PP-Einmalpipette 2 Tropfen Silbernitrat-Lösung gegeben und umgerührt. Danach wird das Schnappdeckelglas auf eine 320 °C heiße Platte des Magnetheizrührers gestellt und eine Verfärbung abgewartet. Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### Versuchsaufbau:



Test auf Silber-Nanopartikel mit dem Laserpointer

### Beobachtung:

Nach dem Mischen von PEG 200 mit dem Sebacinsäuredichlorid wird das Gemisch leicht warm und zäh. Es spaltet sich HCl ab. Im Ultraschallbad reagiert das Sebacinsäuredichlorid mit dem PEG 200 vollständig zum Polyester.

Auf der heißen Platte des Magnetheizrührers reduziert das überschüssige PEG 200 die Silber-Ionen zu gelblich gefärbten Silber-Nanopartikeln. Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt die Nanopartikel nachweisen.

### Erläuterung:

#### Bildung des Polyesters:

#### Woher rührt die Verfärbung?

#### Warum reduziert das PEG 200 die Silber-Ionen?

#### Begründe Deine Beobachtung zum Laserstrahl:

### Entsorgung:

Nach Beendigung des Experiments wird das Schnappdeckelglas im Behälter für Schwermetalle entsorgt.



# N9a Nano

## Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion



### Geräte:

- Becherglas 25 ml
- Magnetheizrührer
- 2 PP-Einmalpipetten
- Einmalspritze 20 ml
- Mikrospatel
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer

### Chemikalien:

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung ( $\text{HAuCl}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ ) ( $w = 1\%$ )
- Trinatriumcitratlösung  $w = 1\%$
- Ascorbinsäure

### Durchführung:

Natriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab.

In 10 ml dest. Wasser wird 0,1 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung gespült und die Lösung auf dem Magnetheizrührer zum Sieden erhitzt. Es wird Trinatriumcitrat-Lösung langsam bis zur Rotfärbung zuge tropft.

Die Lösung wird vom Magnetheizrührer genommen.

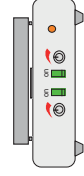
Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### Variante:

Zur siedenden Tetrachlorogoldchlorid-Lösung wird ein Kömchen Trinatriumcitrat gegeben.

Als Reduktionsmittel eignet sich auch festes Vitamin C (Ascorbinsäure).

### Versuchsaufbau:



Gold-Nanopartikel

### Beobachtung:

#### Verfärbung:

#### Lichtstrahl des Laserpointers:

#### Gasentwicklung:

### Erläuterung:

#### Woher rührt die Verfärbung?

#### Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:

#### Woher rührt die Gasentwicklung ?

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.



# N9b Nano

## Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowelle-Variante)



### Geräte:

- Erlenmeyerkolben (V = 250 ml)
- Becher (V = 50 ml)
- Mikrowellengerät
- Einmalspritze 50 ml
- Insulinspritze
- PP-Einmalpipette
- Spritzflasche mit dest. Wasser
- Lederhandschuh
- Laserpointer rot

### Chemikalien:

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung (w = 1%)
- Trinitriumcitrat-Lösung (w = 1%)
- Dest. Wasser

### Durchführung:

Trinitriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab.

Der Erlenmeyerkolben wird mit 30 ml dest. Wasser befüllt und mithilfe der Insulinspritze 0,3 ml der Tetrachlorogoldsäure-Lösung zugemischt.

Zu der Lösung werden mithilfe der PP-Einmalpipette 1,5 ml Trinitriumcitrat-Lösung gegeben.

Die Leistung des Mikrowellengeräts wird auf 360 W eingestellt und der Erlenmeyerkolben im Gerät platziert.

Die Betriebsdauer wird zunächst auf 2 min eingestellt und das Ergebnis beobachtet. Sollte die Färbung noch nicht intensiv sein wird 1 min nachgeheizt.

Der heiße Erlenmeyerkolben kann mit dem Lederhandschuh angefasst werden.

Mit dem roten Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### Beobachtung:

**Verfärbung:**

**Gasentwicklung:**

**Verlauf des Laserstrahls:**

### Erläuterung:

**Verfärbung:**

**Während des Erhitzens in dem Mikrowellengerät:**

**Verlauf des Laserstrahls:**

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.

### Versuchsaufbau:





### Geräte:

- 2 Bechergläser 25 ml
- Becherglas 250 ml
- Erlenmeyerkolben 250 ml
- Trichter
- Filterpapier
- Einmalspritze 20 ml
- Insulinspritze
- Spatel
- Laserpointer

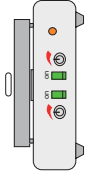
### Chemikalien:

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung ( $w = 1\%$ )
- Gerbsäure
- Grüner Tee im Beutel
- Trockener Rotwein
- Dest. Wasser

### Versuchsaufbau:



Geräte



### Durchführung:

In die Bechergläser kommen je 10 ml dest. Wasser und 0,1 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung werden hineingespült.

#### Rotwein-Variante:

Die Tetrachlorogoldsäure-Lösung wird auf dem Magnetheizrührer zum Sieden erhitzt. Der trockene Rotwein wird bis zur Färbung der Lösungen langsam zugeetropt.

Eine Blindprobe mit einem Körnchen Gerbsäure wird parallel dazu durchgeführt.

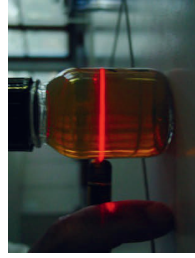
#### Tee-Variante:

Ein Beutel Grüner Tee wird für 5 Min in 100 ml dest. Wasser gelegt und in den Erlenmeyerkolben filtriert. Von diesem Extrakt werden 5 ml entnommen und in das kleine Becherglas gegeben.

Zum Tee-Extrakt wird tropfenweise 1 ml der Tetrachlorogoldsäure-Lösung gegeben.

#### Weitere Variante:

Vom Tee-Extrakt wird ein Tropfen in 10 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung gegeben.



Test auf Nanopartikel mit dem Laserpointer

### Beobachtung:

Verfärbung:

Verlauf des Laserstrahls:

### Erläuterung:

Woher rührt die Verfärbung?

Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.



### Geräte:

- Becherglas 25 ml
- Mikrobrenner Propan
- Spatel
- Insulinspritze
- Laserpointer

### Durchführung:

Das Becherglas wird fast randvoll mit dest. Wasser gefüllt und 0,1 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung hineingespült.

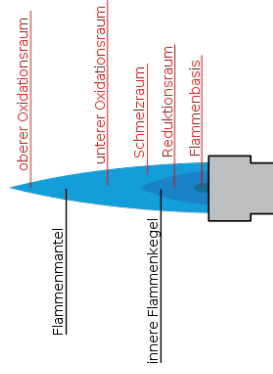
Halte den Propangasbrenner im Winkel von 45° mit dem reduzierenden Teil der Flamme in die Tetrachlorogoldsäure-Lösung bis die Färbung beginnt.

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung (w = 1%)

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

Lichtstrahl des Laserpointers:

### Versuchsaufbau:



Flammenbasis: Propan

Reduktionsraum: CO



### Beobachtung:

Verfärbung:

### Erläuterung:

Woher rührt die Verfärbung?

Begründe die Beobachtung zum Laserstrahl:

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche werden die Suspensionen im Behälter für Goldabfälle entsorgt.



### Geräte:

- PP-Becherglas 50 ml
- Objektträger
- Grillmotor für Dip-Coating
- Küchenkrepp
- Schutzhandschuhe

### Chemikalien:

- Tetraethylorthosilikat (TEOS)
- 2-Propanol
- HNO<sub>3</sub> (c = 3 mol/l)
- Nichtionisches Tensid (Somat<sup>®</sup>)

### Durchführung:

Es wird eine Lösung hergestellt aus:

- 30 Vol% Silicium-Alkoholate (z.B. Tetraethylorthosilikat TEOS)
- 65 Vol% Alkohol (Ethanol oder 2-Propanol)
- 5 Vol% verd. Säure (HNO<sub>3</sub> c= 3 mol/l)
- 10 Tropfen Tensid-Lösung (nichtionisch)

Die Lösung wird in ein PP-Becherglas gegeben. An der Achse des Dip-In-Geräts (Grillmotor) wird mithilfe eines Clips ein sauberer Objektträger befestigt.

Der Objektträger wird gleichmäßig in die Beschichtungslösung eingetaucht und wieder herausgezogen. Die Kanten des Objektträgers werden mit Küchenkrepp getrocknet und der beschichtete Objektträger an der Luft geschwenkt, bis der Alkohol verdunstet ist.

### Versuchsaufbau:

Low-Cost Dip-In-Coater:

Grillmotor

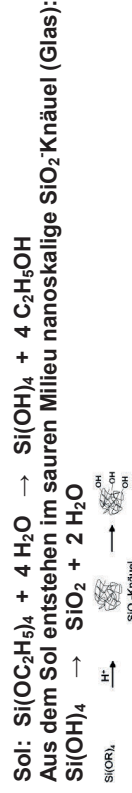


### Information:

Wenn kleinste Teilchen in einem Lösungsmittel schweben spricht man von einem Sol. Aggregieren die Teilchen unter Einschluss des Lösungsmittels zu einem festen Zustand so spricht man von einem Gel.

In der chemischen Nanotechnologie spricht man vom Sol-Gel-Verfahren, wenn mithilfe eines Sols eine Oberfläche beschichtet wird. Mit dem Verdunsten des Lösungsmittels entsteht dann auf der Oberfläche ein Gel.

Das Sol-Gel-Verfahren ist das bedeutendste Verfahren der chemischen Nanotechnologie. Das Tetraethylorthosilikat (TEOS) polykondensiert unter dem Einfluss von Säure zu einer Glasschicht:



### Beobachtung:

Halte das Glas gegen das Licht.

Was könnt Ihr auf der beschichteten Oberfläche beobachten?

### Erläuterung:

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche können die beschichteten Objektträger mitgenommen werden.



### Geräte:

- Zentrifugenrohr PP (V = 50 ml)
- Objektträger
- Tesafilm
- PP-Einmalpipette
- Schutzhandschuhe
- Insulinspritze
- Laborboy
- Notebook und Digitalmikroskop

### Chemikalien:

- Trichlormethylsilan
- Dest. Wasser

### Durchführung:

Der Objektträger muss Maschinen gereinigt sein. Der obere Rand wird mit Tesafilm beklebt. Das Experiment muss unterm Abzug durchgeführt werden. In das Zentrifugenrohr wird ein Tropfen des chlorierten Silans gegeben und der Objektträger hineingestellt. Das Zentrifugenrohr wird verschlossen. Nach 20 – 30 Minuten wird der Objektträger entnommen und der Tesafilmstreifen entfernt. Mithilfe der Insulinspritze wird ein kleiner Wassertropfen aufgebracht. Der Objektträger ist nunmehr auf der benetzten Reaktionsfläche hydrophob, auf der unbehandelten bleibt er superhydrophil. Das Tesafilm wird abgezogen und der Objektträger geneigt.

Der Benetzungswinkel kann mit dem Digitalmikroskop betrachtet und der Software ImageJ bestimmt werden.

### Versuchsaufbau:

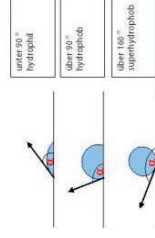


### Beobachtung:

Skizziere die Form des Wassertropfens:

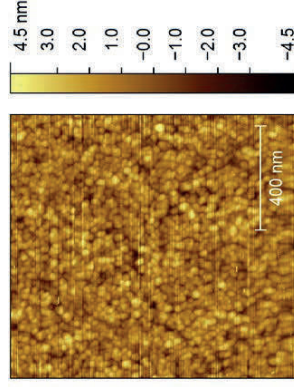
Schätze den Benetzungswinkel ab:

### Erläuterung:

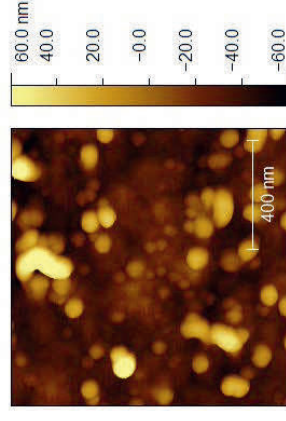


Ordne die Eigenschaft der funktionalisierten Glasoberfläche zu:

Die Abbildungen zeigen AFM-Aufnahmen vor und nach der Behandlung der Glasoberfläche mit Trichlormethylsilan:



Vor der Behandlung



Nach der Behandlung

Worin könnte die Ursache für die Funktionalisierung liegen?

### Entsorgung:

Nach Beendigung der Versuche können die beschichteten Objektträger mitgenommen werden.

## Lithium-Ionen-Akku mit zwei Graphitminen (Dual-Carbon-Cell)



### Geräte:

- Kunststoffgefäß (fic<sup>®</sup>-Behälter): 8 cm x 4,5 cm x 2 cm mit Bodenplatte
- Lüsterklemmen (passend für Graphitminen d = 3,15 mm)
- 2 Digitalmultimeter
- Schraubendreher (Phasenprüfer)
- Blockbatterie 4,5 V oder Trafo
- Schnellverbindungs-Mini-Krokodilklemmen
- Messleitungen 4 mm
- LED 5 mm ( $U_F = 3,2$  V,  $I_F = 20$  mA)
- Summer
- Elektromotor RF 300 (Solarmotor,  $U = 0,4 - 5,9$  V,  $I_{min} = 25$  mA) mit Luftschraube
- Magnetrührer
- 2 Graphitminen Faber-Castell<sup>®</sup>
- Härtegrad 6B (d = 3,15 mm, l = 13 cm)

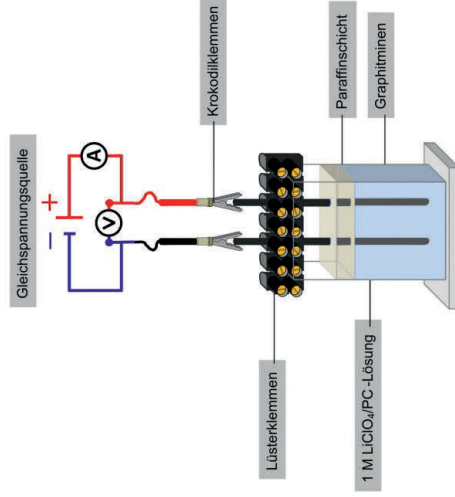
### Chemikalien:

- Elektrolytlösung A: Lithiumperchlorat in Propylencarbonat (c = 1 mol/L entspricht 10,6 g LiClO<sub>4</sub> in 100 ml)
- Elektrolytlösung B: Lithiumperchlorat in Dimethylcarbonat (c = 1 mol/L entspricht 10,6 g LiClO<sub>4</sub> in 100 ml)

Arbeitsvorschrift: Salz in Lösungsmittel 20 Minuten bis zur vollständigen Lösung rühren

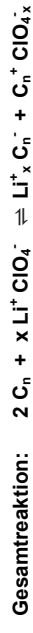
- Paraffin flüssig

### Versuchsaufbau:



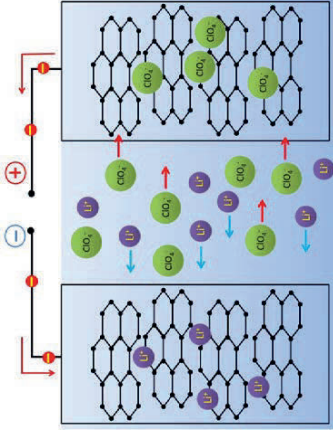
### Information:

Der Lithium-Ionen-Akku unterscheidet sich grundlegend von üblichen Akkus. An den Polen werden zwischen den Graphitschichten Li<sup>+</sup>-Ionen eingelagert (intercaliert):

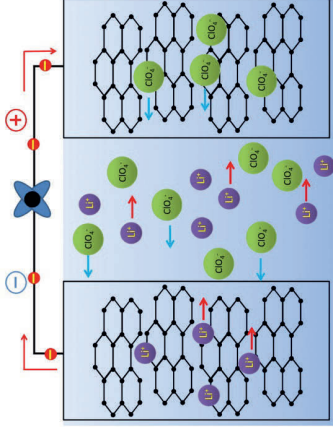


Die Redoxreaktion spielt sich an den Graphitelektroden ab.

### Ladevorgang:



### Entladevorgang:





# E14

## Energie

### Lithium-Ionen-Akku mit zwei Graphitminen (Dual-Carbon-Cell)



#### Durchführung :

**Variante 1:**  
40 ml der Elektrolytlösung A werden in das Kunststoffgefäß gefüllt und mit einer ca. 1 cm hohen Paraffinschicht bedeckt (Feuchtigkeitssperre). Der Versuch wird wie in der Abbildung dargestellt aufgebaut:

Die Graphitminen tauchen ca. 3,5 cm tief in den Elektrolyten ein und werden als +Pol bzw. - Pol geschaltet. Nun wird der Akkumulator ca. 6 Minuten mit der Blockbatterie aufgeladen. Die anschließende Entladung kann über die LED, den Summer oder den Elektromotor erfolgen.

**Variante 2:**  
40 ml eines Gemisches aus der Elektrolytlösung A (25 ml) und der Elektrolytlösung B (35 ml) werden in das Kunststoffgefäß gefüllt und mit einer ca. 1 cm hohen Paraffinschicht bedeckt (Feuchtigkeitssperre). Der Versuch wird wie ansonsten genauso wie Variante 1 aufgebaut und der Akkumulator für 6 Min mit der Blockbatterie aufgeladen.

#### Beobachtung:

**Verlauf der Spannung:**

**Entladungsdauer:**

**Graphitminen:**

**Erläuterung:**

**Ursache der Spannung:**

**Notizen:**

**Entsorgung:**

Die Akkus werden vollständig entladen.  
Die Graphitminen werden nach Gebrauch ca. einen Tag in ein Becherglas mit Wasser gestellt und dann im Papierkorb entsorgt.  
Die Elektrolyt-Lösungen können so lange verwendet werden, wie es gute Resultate gibt. Das verunreinigte Wasser sowie die Elektrolyt-Lösungen werden im Abfallbehälter für organische halogenhaltige Abfälle entsorgt.

## Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolien (Dual-Carbon-Cell)



### Geräte:

- Kunststoffgefäß (fic<sup>®</sup>-Behälter): 8 cm x 4,5 cm x 2 cm mit Bodenplatte
- 2 Digitalmultimeter
- Blockbatterie 4,5 V oder Trafo
- Schnellverbindungs-Mini-Krokodilklemmen
- Messleitungen 4 mm
- LED 5 mm ( $U_F = 3,2 \text{ V}$ ,  $I_F = 20 \text{ mA}$ )
- Summer
- Elektromotor RF 300 (Solarmotor,  $U = 0,4 - 5,9 \text{ V}$ ,  $I_{\text{min}} = 25 \text{ mA}$ ) mit Luftschraube
- Graphitfolien Keratherm<sup>®</sup>, 4 cm x 9 cm
- Filterpapier
- Schere

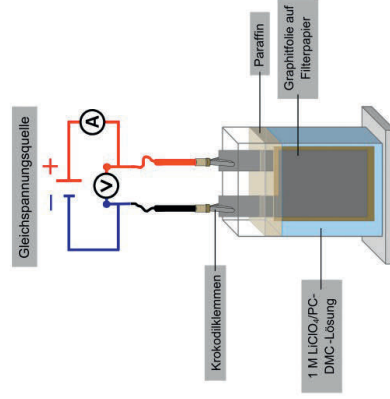
### Chemikalien:

- Elektrolytlösung A: Lithiumperchlorat in Propylencarbonat ( $c = 1 \text{ mol/L}$  entspricht 10,6 g  $\text{LiClO}_4$  in 100 ml)
- Elektrolytlösung B: Lithiumperchlorat in Dimethylcarbonat ( $c = 1 \text{ mol/L}$  entspricht 10,6 g  $\text{LiClO}_4$  in 100 ml)

Arbeitsvorschrift: Salz in Lösungsmittel 20 Minuten bis zur vollständigen Lösung rühren

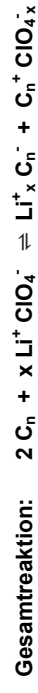
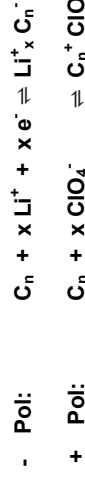
- Gemisch aus 25 ml Lösung A und 35 ml Lösung B
- Paraffin flüssig

### Versuchsaufbau:



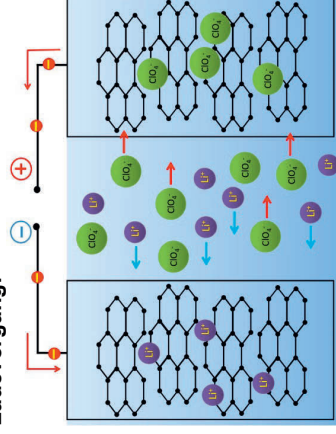
### Information :

Der Lithium-Ionen-Akku unterscheidet sich grundlegend von üblichen Akkus. An den Polen werden zwischen den Graphitschichten  $\text{Li}^+$ -Ionen eingelagert (intercaliert):

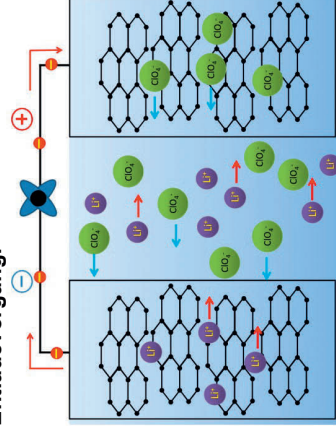


Die Redoxreaktion spielt sich an den Graphitelektroden ab.

### Ladevorgang:



### Entladevorgang:

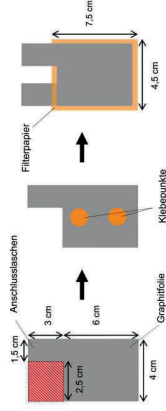






### Durchführung :

Herstellung der Elektroden aus Graphitfolien:



Das Kunststoffgefäß wird so mit Elektrolytlösung befüllt, dass das Filterpapier gut durchtränkt ist und dann mit einer ca. 1 cm hohen Paraffinschicht bedeckt (Feuchtigkeitssperre).

Die Zelle wird ca. 6 Min mit der Blockbatterie mit einer Spannung von 4,5 V aufgeladen. Danach wird sie an den Elektromotor angeschlossen.

### Erläuterung:

Ursache der Spannung:

### Notizen:

### Beobachtung:

Verlauf der Spannung:

Entladungsdauer:

Graphitfolien:

### Entsorgung:

Die Akkus werden vollständig entladen.  
Die Graphitfolien werden nach Gebrauch ca. einen Tag in ein Becherglas mit Wasser gestellt und dann im Papierkorb entsorgt.  
Die Elektrolyt-Lösungen können so lange verwendet werden, wie es gute Resultate gibt. Das verunreinigte Wasser sowie die Elektrolyt-Lösungen werden im Abfallbehälter für organische halogenhaltige Abfälle entsorgt.

# E16

Energie

## Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit dem Hofmann-Apparat



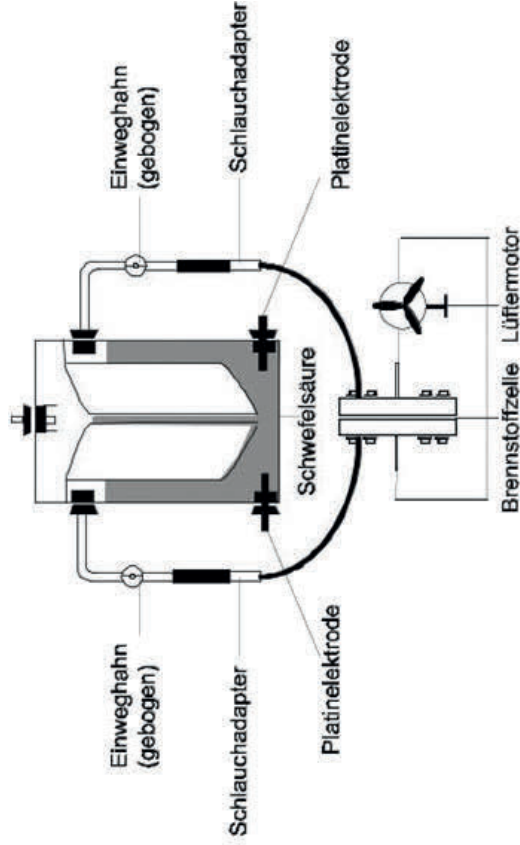
### Geräte:

- Küvettenexperiment Hofmann-Wasserelektrolyse
- Trichter
- 2 Reagenzgläser
- Schaschlikstab
- Feuerzeug
- Brennstoffzelle
- Lüftermotor

### Chemikalien:

Schwefelsäure  $w = 10\%$

### Versuchsaufbau:



### Durchführung:

Die Hofmann-Küvette wird mithilfe des Trichters bis unterhalb der gebogenen Hähne mit Schwefelsäure befüllt. Der Hahn am Minuspol wird nach oben gebogen, der am Pluspol nach unten.

Die Gleichspannungsquelle wird mit 5 V angeschlossen und die Elektrolyse abgebrochen, wenn die Kammer am Minus-Pol zu 2/3 gefüllt ist.

Über die gebogenen Hähne wird mit kleinen Reagenzgläsern das Gas entnommen.

Zum Nachweis von Wasserstoff wird das Reagenzglas mit dem Daumen verschlossen und vor die Flamme des Feuerzeugs gehalten und das Reagenzglas geöffnet.

Zum Nachweis von Sauerstoff wird der Schaschlikstab zum Glimmen gebracht und in das Reagenzglas mit Sauerstoff eingeführt.

Bei Bedarf wird die Elektrolyse kurz fortgesetzt und danach auch der Sauerstoffnach unten gebogen. Nun werden Wasserstoff und Sauerstoff über die Schlauchadapter an die Brennstoffzelle angeschlossen. Die Brennstoffzelle ist mit einem Lüftermotor verbunden.

**Achtung: Auf den richtigen Anschluss der Brennstoffzelle achten.**

**Eine falsche Beschickung zerstört die Brennstoffzelle.**

### Beobachtung:

Gasentwicklung:

Nachweise:

### Erläuterung:

Entstehung von Wasserstoff (Reaktionsgleichung):

Entstehung von Sauerstoff (Reaktionsgleichung):

### Entsorgung:

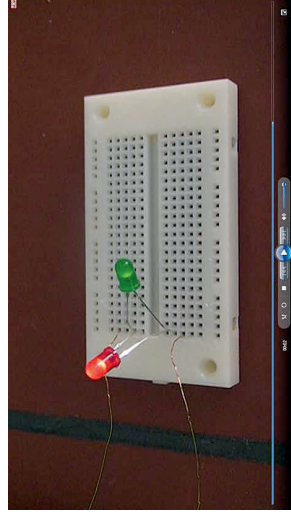
Nach Beendigung der Versuche wird die verdünnte Schwefelsäure im Ausguss entsorgt.

## Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor als Generator

### Geräte:

- Savonius-Rotor
- Handfön
- Schaltung mit bipolaren LEDs
- Gleichrichterschaltung nach Graetz mit Glättung
- Camcorder

### Versuchsaufbau:



**Bipolar geschaltete LEDs  
(Momentaufnahme)**

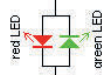


**Savonius-Rotor mit geglätteter  
Graetz-Schaltung**

### Durchführung:

Der Savonius-Rotor wird mit dem Handfön angetrieben. Unter der unteren Scheibe sind vier Magnete angeklebt, auf der Bodenplatte vier miteinander verbundene Spulen. Am Anfang und am Ende der Spulen befindet sich ein offener Draht, der mit den Schaltungen verbunden wird.

Die flackernden LEDs sind entgegengesetzt parallel geschaltet und können mithilfe der Zeitlupe des Camcorders sichtbar gemacht werden.

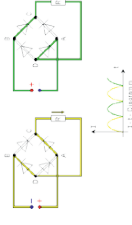


Die Gleichspannung der Graetz-Schaltung regt einen Summer an.

### Information:

Mithilfe des Savonius-Rotors wird die Erzeugung von Wechselspannung bei der Windenergie gezeigt.

Durch Wechselwirkung von Spule und Magnetfeld – elektromagnetische Induktion – entsteht wegen der kreisförmigen Bewegung zunächst eine Wechselspannung. Für die Speicherung der elektrischen Energie durch Elektrolyse von Wasser wird eine Gleichspannung benötigt. Dies geschieht mithilfe der Graetz-Schaltung:



Die parallel geschalteten Kondensatoren glätten die pulsierende Wechselspannung. Der Summer kann nur mit Gleichspannung betrieben werden.

### Beobachtung:

Leuchten der LEDs:

Wirkung der Graetz-Schaltung:

### Erläuterung:

### Entsorgung:

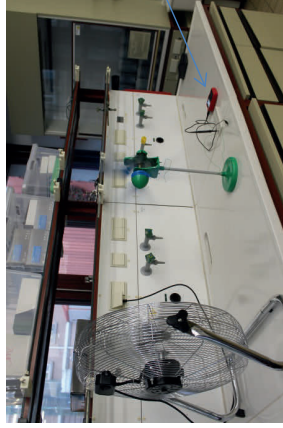
Bei dem Experiment fallen keine Abfälle an.

## Wind-zu-Wasserstoff: Horizontaler Windrotor als Generator

### Geräte:

- Horizontaler Windrotor
- Bodenlüfter 130 W
- Hand-Oszilloskop
- Steckbrett
- Acrylplatte mit Kompassnadeln
- 4 Magnete auf Polycarbonatscheibe

### Versuchsaufbau:



Windrotor mit Bodenlüfter und Handoszilloskop



Aufnahme des Spannungsverlaufs mit dem Oszilloskop

### Durchführung:

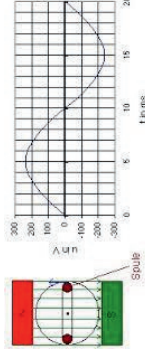
Der Windrotor wird mit dem Bodenlüfter angetrieben. Unter der Scheibe sind vier Magnete angeklebt, auf der senkrechten Platte vier miteinander verbundene Spulen. Am Anfang und am Ende der Spulen befindet sich je ein offener Draht. Beide werden mit dem Handoszilloskop verbunden werden.

Auf die Scheibe mit vier aufgeklebten Magneten wird die Acrylplatte mit den Kompassnadeln gelegt.

### Information:

Mithilfe des Windrotors wird die Erzeugung von Wechselspannung bei der Windenergie gezeigt.

Durch Wechselwirkung von Spule und Magnetfeld – elektromagnetische Induktion – entsteht wegen der kreisförmigen Bewegung der Magnete eine Wechselspannung:



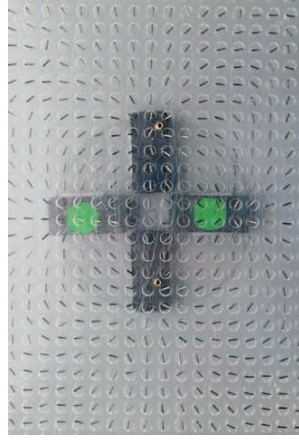
Der sinusförmige Verlauf setzt ein homogenes Magnetfeld voraus.

### Beobachtung:

Verlauf der Spannung:  
Skizze mit Erläuterung

### Erläuterung:

Magnetfeld:



### Entsorgung:

Bei dem Experiment fallen keine Abfälle an.

# E19

## Energie

### Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit Windenergie

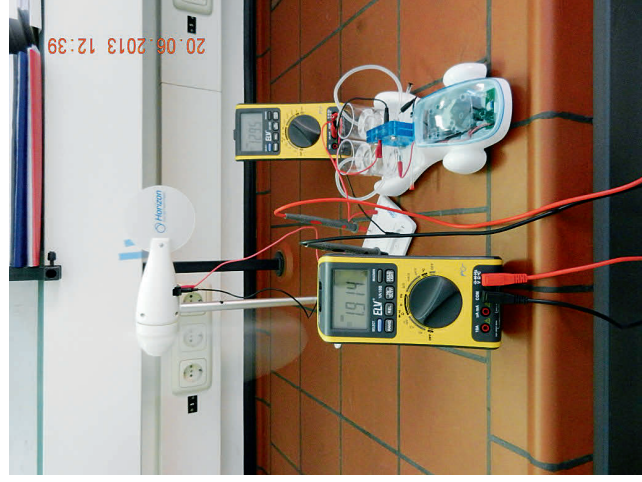
#### Geräte:

- Erneuerbare Energien Set: Windrad
- Bodenlüfter
- Reversible PEM-Brennstoffzelle
- Brennstoffzellenfahrzeug Hydrocar
- Einmalspritze
- 2 Digitalmultimeter

#### Chemikalien:

- Dest. Wasser

#### Versuchsaufbau:



#### Durchführung:

Zum abgebildeten Versuchsaufbau gehört als Windquelle ein leistungsstarker Bodenlüfter.

Auf dem Hydrocar ist eine reversible PEM-Brennstoffzelle montiert.

Im Gehäuse des Windgenerators befindet sich bereits eine Gleichrichterschaltung. Nach dem Einschalten des Bodenlüfters beginnt die Wasserelektrolyse und die entstehenden Gase werden in Gasometern auf dem Hydrocar gesammelt. Der Schalter am Hydrocar steht auf ‚off‘.

Das Experiment benötigt einige Zeit, um genügend Wasserstoff und Sauerstoff zu erzeugen. Wenn sich in den Behältern genügend Gase angesammelt haben, werden die Kabel vom Windgenerator abgezogen und die Verbindung zum Elektromotor des Hydrocar hergestellt. Nach Umlegen des Schalters auf ‚on‘ bekommt der Motor über die Brennstoffzelle elektrische Energie.

Während der Gasproduktion können die Grundlagen-Experimente mit dem Savonius-Rotor, dem horizontalen Windrotor und der Hofmann-Elektrolyse durchgeführt werden.

#### Beobachtung:

$$I_{\text{exp}} = \quad \text{mA}$$

Schätze die Zeit für die Produktion von 22 ml Wasserstoff ab.

#### Erläuterung:

Avogadro-Hypothese: 1 mol Gas entspricht 22.400 ml

Faraday-Konstante: 96.500 As/mol = 96.500 mAs/mmol

#### Entsorgung:

Bei dem Experiment fallen keine Abfälle an.



## Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC)



### Geräte:

- 3 Med. Spritzen 60 ml mit 3-Wegehahn
- Reaktionsrohr
- Silikonschlauch
- MBM-Stativsystem
- Heißluftpistole mit Breitschwanzaufsatz
- Einmalspritze 1 ml
- Kanüle 60 mm
- Wasserbad
- Digitalmultimeter mit Thermofühler
- Brennstoffzelle mit Propellermotor

### Chemikalien:

- H18-LOHC (H18-Dibenzyltoluol)
- Pt-C-Katalysator geträgert
- Eisenwolle
- Wasserstoff in Druckdose
- Siliconöl (Gleitmittel für Spritzen)

### Versuchsaufbau:



### Durchführung:

Das H18-LOHC steht im 80°C warmen Wasserbad.

Das vorbereite Reaktionsrohr mit geträgertem Katalysator und Eisenwolle wird von einer Seite mittig mithilfe der Einmalspritze mit Kanüle mit 0,1 ml H18-LOHC befüllt und die Anlage zusammengebaut.

Die Anlage wird über die 3-Wegehähne mit Wasserstoff gespült.

Die Heißluftpistole wird auf 380°C eingestellt und unter der Mitte des Reaktionsrohrs platziert. Die Temperatur wird mit dem Digitalmultimeter kontrolliert und auf ca. 320°C an der Oberfläche des Reaktionsrohrs einreguliert.

Nach dem Starten der Gasentwicklung werden die mit Siliconöl präparierten Spritzen vorsichtig hin und her bewegt.

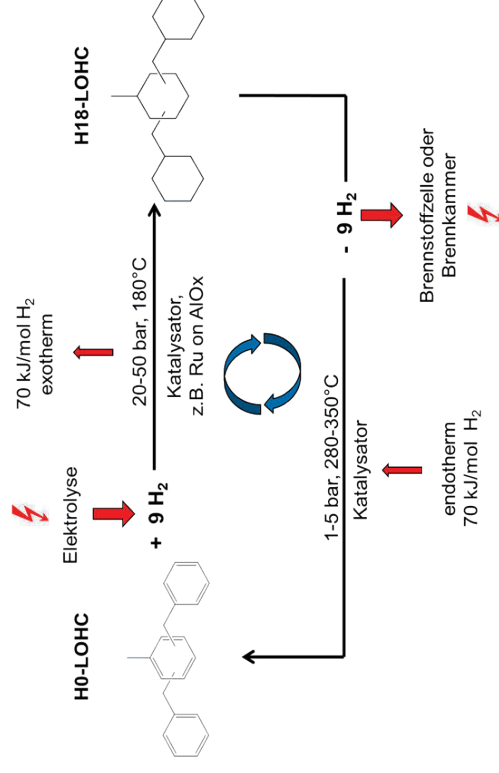
Die Reaktion wird nach 15 Minuten abgebrochen und das Gas aus einer Spritze über passende Schläuche in die Brennstoffzelle gedrückt.

### Information:

Erneuerbare Energien liefern häufig hohe Überschüsse zu verbrauchsaamen Zeiten und Defizite entstehen umgekehrt.

Daher ist das zentrale Problem der Energiewende, geeignete Technologien zum Speichern und Abrufen zu finden. Physikalische Speicher wie Pumpspeicherkraftwerke sind in ihrer Kapazität stark begrenzt und könnten bei einem Blackout nur 20 Minuten Spitzenlast liefern. Bei chemischen Speichern bieten sich Batterien an, deren Kapazitäten sich jedoch nur sehr kostspielig auf erforderliche Größenordnungen erweitern lassen.

Ein interessanter Pfad ist die Umwandlung von überschüssiger Energie in Wasserstoff durch Elektrolyse (Power-to-Gas). Das in Erlangen verfolgte Konzept der chemischen Speicherung von Wasserstoff in organischen Verbindungen (Liquid Organic Hydrogen Carrier) liefert Flüssigkeiten mit Diesel ähnlicher Konsistenz und kann die vorhandene Infrastruktur (Pipelines, Tanker, Tankstellen) nutzen. Aromatische Verbindungen werden hydriert und beim Abrufen des Wasserstoffs durch Dehydrierung wieder zurück gewonnen:





### Beobachtung:

Nach kurzer Zeit:

Nach ca. 15 Minuten:

Eigenschaften des Gases:

In den Spritzen:

Notizen:

### Erläuterung:

Was bewirkt das Erhitzen des Reaktionsrohrs?

Wie kann das entstandene Gas nachgewiesen werden?



Wie erklärt sich das große Gasvolumen im Verhältnis zu 0,1 ml eingesetzter Flüssigkeit?

Warum entstehen in den Spritzen feinste Nebeltröpfchen?

### Entsorgung:

Bei dem Experiment fallen keine Abfälle an.





# EAM Schülerlabor Chemie Schule-Hochschule-Projekt

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Didaktik der Chemie

Prof. Dr. Andreas Kometz  
Peter Heinzerling

Regensburger Straße 160  
90478 Nürnberg

[www.chemiedidaktik.fau.de](http://www.chemiedidaktik.fau.de)



**NESSI-Lab-**  
Nürnberg-Erlanger-  
Schüler-und  
Schülerinnen-Labor  
[www.nessi-lab.de](http://www.nessi-lab.de)





## Anhang III





# NANO+ ENERGIE

ZWEI JAHRHUNDERT-THEMEN

Schule-Hochschule-Projekt

Didaktik der Chemie

LEHRER-MANUAL



ENGINEERING  
OF ADVANCED  
MATERIALS

## Vorwort

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

hiermit legen wir Ihnen eine Handreichung für Chemielehrerinnen und Chemielehrer zur optimalen Vor- und Nachbereitung des Besuches im EAM Schülerlabor Chemie vor.

In dieser Handreichung sind die Arbeitsbögen für die Schülerinnen und Schüler bereits mit den erwarteten Antworten ausgefüllt. Zusätzlich gibt es wissenschaftliche Hintergrund-Informationen zu den Experimenten. Es sind auch einzelne Experimente aufgeführt, die sich im Laufe der mehrjährigen Erprobung nicht als optimal erwiesen haben.

**Für Sie ganz wichtig:** Es gibt zu jedem Experiment Gefährdungsbeurteilungen nach den Erfordernissen von RISU 2015. Wir können Ihnen versichern, dass diese nach umfangreichen Recherchen angefertigt worden sind. Da in der Nanochemie mit äußerst geringen Konzentrationen gearbeitet wird, relativieren sich manche GHS-Symbole. In den einschlägigen Datenbanken sind Grenzwerte angegeben, auf die wir streng geachtet haben. Dennoch können wir keine Gewähr bei Änderungen der Vorschriften übernehmen.

Wir wünschen Ihnen einen erfolgreichen Besuch mit Ihrem Kurs und hoffen auf Interesse an den vorgestellten Studiengängen.

Nürnberg, im Frühjahr 2016

Prof. Dr. Andreas Kometz  
Peter Heinzerling

# Der Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials (EAM)



## Liebe Schülerinnen und Schüler,

Ihr seid unsere Zukunft! Auf euch kommt es an! Ihr seid die Wissenschaftler und Entwickler von morgen. Deshalb ist es für uns eine wichtige Aufgabe, euch für die Welt der Wissenschaft und Forschung zu begeistern. Das EAM Schülerlabor Chemie bringt unsere aktuelle Forschung zu euch. Hier könnt ihr selbst ausprobieren und begreifen und damit besser verstehen, wie die Welt der Materialien funktioniert und wie man neue Materialien herstellt.

Viel Spaß beim Experimentieren wünscht euch

## Wolfgang Peukert

Koordinator des Exzellenzclusters  
Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



## Neue Hochleistungsmaterialien braucht man, damit

- Handys oder Computer schneller werden
- Elektronikbauteile kleiner und leistungsfähiger werden
- Solarzellen flexibel sind und billiger hergestellt werden können
- Autos leichter werden
- Regenerative Energie effizient gespeichert werden kann

Nanoebene  
Bausteine

Mesoebene  
Strukturen

Makroebene  
Bauteile



## Nanotechnologie ist wie spielen mit Lego

Je kleiner ein Teilchen ist, desto größer wird seine Oberfläche im Verhältnis zu seiner Größe. Dies beeinflusst seine Eigenschaften, z. B. elektrische Leitfähigkeit, magnetisches Verhalten, Schmelz- und Siedepunkt, Zähigkeit, Bruchfestigkeit oder Farbe. Die EAM Forscher bauen wie beim Legospielen aus Molekülen und kleinsten Partikeln Strukturen Stück für Stück bis zum Bauteil zusammen und können so ganz neue Materialeigenschaften erzeugen.

## Was ist der Exzellenzcluster EAM ?

Der EAM ist ein Forschungsverbund an der Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), in dem mehr als 200 Wissenschaftler aus neun verschiedenen Disziplinen (Angewandte Mathematik, Chemie- und Biingenieurwesen, Chemie, Informatik, Elektrotechnik, Materialwissenschaft, Maschinenbau, Physik und Medizin) von der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung bis zur ingenieurwissenschaftlichen Umsetzung eng zusammenarbeiten. Ihr gemeinsames Ziel ist es, moderne Hochleistungsmaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften zu entwickeln.

[www.eam.fau.de/schülerlabor-chemie](http://www.eam.fau.de/schülerlabor-chemie)

# Willkommen im Schülerlabor der Didaktik der Chemie

## Liebe Schülerinnen und Schüler,

das Lehrgebiet Didaktik der Chemie betreibt bereits seit acht Jahren das Nürnberg-Erlanger-Schüler- und Schülerinnen-Labor (NESSI-Lab) mit dem Schwerpunkt Grundschulen und Mittelstufe. In Kooperation mit dem EAM wird das Labor nunmehr mit dem EAM Schülerlabor Chemie auf die Gymnasiale Oberstufe ausgeweitet.

Der Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials (EAM) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) befasst sich als deutschlandweit einziger materialwissenschaftlicher interdisziplinärer Forschungsverbund mit der Entwicklung zukunftsweisender Materialien – dies entlang der Prozesskette – vom Molekül bis zum Material.

Ziel des EAM Schülerlabors Chemie ist die Heranführung von Gymnasiasten an Wissenschaft und Forschung in diesem Bereich. Die Experimente sollen einen Einblick in Grundlagen und Anwendungen der Nanotechnologie sowie die Energiewendige bieten. An der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg bestehen hervorragende Studiengänge im Bereich der Material- und Nanowissenschaften. Für junge Menschen bedeuten diese Studiengänge beste Berufsaussichten.

Die Energiewende wird die größte Herausforderung für Ihre Generation. Sie bringt einen großen Bedarf an Ausbildung und Forschung mit sich. Auch hier ist die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg bestens aufgestellt. Der Energie Campus Nürnberg wird ausgebaut und ein Helmholtz-Institut für Erneuerbare Energien befindet sich im Aufbau. Damit wird der Standort Erlangen-Nürnberg zum Zentrum der Forschung rund um die Energiewende.

## Neugierig geworden?

Wir melden uns rechtzeitig vorm Abitur für ein Schnupperstudium wieder.

## Viel Spaß beim Experimentieren!

Prof. Dr. Andreas Kometz · Peter Heinzlerling



## Thema Nano

<b>N 1</b>	Einstiegsexperimente zur Nanotechnologie .....	<b>6</b>
<b>N 2</b>	Ruß-Nanopartikel mit besonderen Eigenschaften .....	<b>10</b>
<b>N 3</b>	Ferrofluid als Beispiel für eine Säure-Base-Reaktion .....	<b>14</b>
<b>N 4</b>	Kupfer-Nanopartikel: Synthese durch Redoxreaktion .....	<b>20</b>
<b>N 5</b>	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Elektrolyse .....	<b>28</b>
<b>N 6a</b>	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion .....	<b>32</b>
<b>N 6b</b>	Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowelle) .....	<b>38</b>
<b>N 7</b>	Silber-Nanopartikel: Synthese mit Borhydrid-Ionen .....	<b>40</b>
<b>N 8a</b>	Biozider Werkstoff: Einbettung von Silber-Nanopartikeln in Polyester .....	<b>46</b>
<b>N 8b</b>	Biozider Werkstoff: Einbettung von Silber-Nanopartikeln in Polyester .....	<b>54</b>
<b>N 9a</b>	Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion .....	<b>62</b>
<b>N 9b</b>	Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowelle) .....	<b>68</b>
<b>N 10</b>	Gold-Nanopartikel: Synthese mit Antioxidanzien .....	<b>70</b>
<b>N 11</b>	Gold-Nanopartikel: Synthese durch Reduktion mit CO .....	<b>78</b>
<b>N 12a</b>	Beschichtung von Oberflächen mit dem Sol-Gel-Verfahren .....	<b>84</b>
<b>N 12b</b>	Berliner Blau: Vom Sol zum Gel .....	<b>90</b>
<b>N 13</b>	Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel .....	<b>94</b>

## Thema Energie

<b>E 14</b>	Lithium-Ionen-Akku mit zwei Graphitminen (Dual-Carbon-Cell) .....	<b>104</b>
<b>E 15</b>	Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolien (Dual-Carbon-Cell) .....	<b>108</b>
<b>E 16</b>	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit Hofmann-Apparat .....	<b>116</b>
<b>E 17</b>	Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor als Generator .....	<b>120</b>
<b>E 18</b>	Wind-zu-Wasserstoff: Horizontaler Windrotor als Generator .....	<b>124</b>
<b>E 19</b>	Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse .....	<b>126</b>
<b>E 20</b>	Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC) ...	<b>138</b>

### SICHERHEITSHINWEISE

Für alle eingesetzten Substanzen sind die Gefahrenhinweise angegeben. Lesen Sie bitte die Hinweise vor Beginn des Experiments. Den Lehrerinnen und Lehrern liegen hierzu die schriftlichen Unterlagen vor. Chemikalien sollen mit keiner Stelle des Körpers in Kontakt kommen, insbesondere nicht mit dem Mund und den Augen. Deshalb werden beim Experimentieren Kittel, Schutzbrille und ggfs. Handschuhe getragen. Lange Haare müssen zusammengebunden werden. Die Anweisungen in den Experimentiervorschriften und der Betreuer müssen beachtet werden. Alle Substanzen müssen hinterher ordnungsgemäß entsorgt werden.

### HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Buch beschriebenen Experimente wurden mit großer Sorgfalt erstellt. Sie können jedoch auch bei ordnungsgemäßer Durchführung und Handhabung mit Gefahren verbunden sein.

Die Universität übernimmt keine Haftung für Schäden, die bei der Durchführung der hier vorgeschlagenen Experimente entstehen.

### HINWEISE ZUR GENEHMIGUNG DES NACHDRUCKS

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Für nicht-kommerzielle schulische Zwecke ist das Kopieren, der Nachdruck oder die sonstige Vervielfältigung erlaubt und erwünscht. Für alle anderen Nutzungsarten bedarf es einer schriftlichen Genehmigung der Universität.

**Hinweis § 52 a UrhG:** Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Genehmigung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Für alle anderen Zwecke, insbesondere kommerzielle nicht-schulische Zwecke, ist das Kopieren, der Nachdruck oder die sonstige Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung der Universität erlaubt.



# Einstiegsexperimente zur Nanotechnologie

## N1 Nano



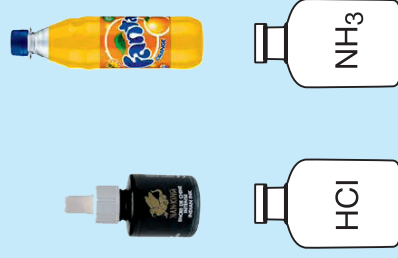
### GERÄTE

- 4 Bechergläser ( $V = 1000 \text{ ml}$ )
- Fanta® Orange
- China-Tusche
- Laser-Pointer
- Schutzbrille

### CHEMIKALIEN

- Salzsäure konz.
- Ammoniaklösung konz.
- Dest. Wasser

### ABBILDUNG



### BEOBACHTUNG

#### Fanta® Orange:

Durchsichtigkeit:  
Faraday-Tyndall-Effekt:

#### China-Tusche:

Verdünnungsreihe:	Durchsichtigkeit	Faraday-Tyndall-Effekt:
1		
2		
3		

#### Reaktion zwischen $\text{HCl(g)}$ und $\text{NH}_3(\text{g})$ : Reaktionsgleichung:

Die Dispersionen der China-Tusche und Fanta-Orange erscheinen durchsichtig.  
Bei allen drei Experimenten wird der Laserstrahl an den Nanopartikeln gestreut.

### DURCHFÜHRUNG

Nanopartikel können in wässriger Suspension durch einen gebündelten Lichtstrahl sichtbar gemacht werden. Dieser Effekt wurde von Faraday bei Nebeltropfen entdeckt und später von Tyndall näher untersucht. Er wird Faraday-Tyndall-Effekt genannt. Als Lichtquelle ist ein Laserpointer sehr gut geeignet. Hier gelten besondere Sicherheitsvorschriften: Der Lichtstrahl darf niemals auf das Auge gerichtet werden, da seine Energie die Netzhaut verletzen kann.

Nanoskalige Teilchen befinden sich als  **$\beta$ -Carotin** in etlichen gelben Erfrischungsgetränken. Die Fetttropfen sind so klein, dass die Emulsion durchsichtig erscheint. Mit dem Laserpointer kann man sie im Getränk sichtbar machen.

**China-Tusche** bzw. Indische Tinte – erhältlich beim Künstlerbedarf – ist ein Beispiel für nanoskalige Kohlenstoffteilchen, die durch Zerreiben von Zeichenkohle hergestellt werden. Fachleute würden dieses Verfahren unter top-down (von groß nach klein) einordnen. 1 Tropfen China-Tusche in 500 ml dest. Wasser verteilt ergibt mit dem Laserpointer einen sehr schönen Faraday-Tyndall-Effekt, der auch nach mehrfacher Verdünnung nicht verschwindet.

Beim kurzzeitigen Öffnen der Salzsäure- und Ammoniakflasche (Abzug !) können die beiden Gase miteinander reagieren.

### ERLÄUTERUNG

Die Nanopartikel sind so klein, dass sie vom menschlichen Auge nicht aufgelöst werden können. Daher erscheinen die Dispersionen durchsichtig.

Um die Erklärung für den Faraday-Tyndall-Effekt zu finden, muss man sich das Auftreten des Lichtstrahls auf die Nanopartikel vorstellen.

#### Der Laserstrahl trifft auf:

1. die Kohlenstoffpartikel der China-Tusche
2. die Fetttropfen des  $\beta$ -Carotin
3. die Ammoniumchlorid (Salmiak)-Teilchen der Reaktion zwischen Salzsäure und Ammoniak

Dadurch wird der Laserstrahl gestreut.



Nach Beendigung der Versuche kann China-Tusche im Ausguss entfernt werden.



# Einstiegsexperimente zur Nanotechnologie

**N1**  
Nano



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19 240 · Telefax: 089.41 402 467

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Salzsäure konz. w = 32%	Gefahr		H290 H314 H335	P261 P280 P310 P304+P340 P305+P351 + P338 P403+P233	3 mg/m <sup>3</sup>	-
Ammoniak konz. w = 25%	Gefahr		H290 H314 H335 H400	P273 P280 P310 P303+P351+P353 P305+P351+P338	14 mg/m <sup>3</sup>	-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen	X	
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

Sonstige Gefahren:	nein
--------------------	------

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzbrille	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandenschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X	X				keine

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Salzsäure w = 32%

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.
- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
- H335 Kann die Atemwege reizen.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P261 Einatmen von Staub / Rauch / Gas / Nebel / Dampf / Aerosol vermeiden.
- P280 Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen.
- P310 Sofort Giftnormales Zentrum oder Arzt anrufen.
- P304 + P340 Bei Einatmen: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P305+P351+P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- P403+P233 Behälter dicht verschlossen an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

### Ammoniak w = 25%

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.
- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
- H335 Kann die Atemwege reizen.
- H400 Sehr giftig für Wasserorganismen.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
- P280 Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen.
- P310 Sofort Giftnormales Zentrum oder Arzt anrufen.
- P303+P351+P353 Bei Kontakt mit der Haut (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
- P305+P351+P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

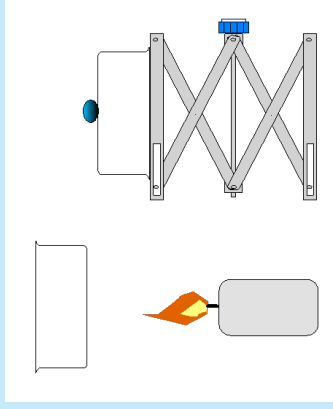
### GERÄTE

- Kristallisierschale
- Kerze
- Einmalpipette mit Wasser
- Laborboy
- Webcam mit Stativ
- Notebook
- Wärmeschrank
- Isolierhandschuhe

### CHEMIKALIEN

- Spülmittel
- Dest. Wasser

### ABBILDUNG



### DURCHFÜHRUNG

Die Kristallisierschale wird mithilfe einer Kerzenflamme gleichmäßig auf der Unterseite von außen geschwärzt und für 10 Minuten in einen vorgeheizten Trockenschrank (150°C) gelegt.

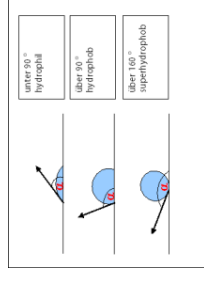
Auf der geschwärzten Glasoberfläche wird ein Wassertropfen platziert. Durch Hin- und Herschwenken wird der Wassertropfen bewegt.

Die Glasscheibe wird waagrecht auf den Laborboy gelegt und der Wassertropfen mit der Webcam. Auf dem Bildschirm des Notebooks kann der Grenzwinkel der Benetzung dargestellt werden.

Die Ermittlung des Grenz winkels der Benetzung erfolgt mithilfe des Programms Image J.

### BEOBACHTUNG

Skizziere den Wassertropfen auf der Rußoberfläche und schätze den Kontaktwinkel ab.



### ERLÄUTERUNG

Erläutere die Begriff Hydrophobie und Superhydrophobie:

**Hydrophobie:** wasserabweisend

**Superhydrophobie:** stark wasserabweisend

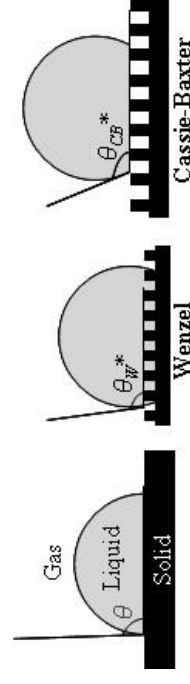
Bei welcher Materialeigenschaft könnte die Superhydrophobie eine Rolle spielen? Leicht zu reinigende Oberflächen (Easy to Clean, E2C)

Wie müste die Rußoberfläche strukturiert sein? Auf keinen Fall glatt

Ist Dir aus der Natur ein solcher Effekt bekannt? Lotuseffekt

### ANMERKUNG

Man findet bei Google den theoretischen Hintergrund (Theorien von Wenzel und Cassie-Baxter): Suchbegriff „Superhydrophobie“:



Nach Beendigung der Versuche werden die Glasoberflächen mit Spülmittel abgewaschen und getrocknet.



# Ferrofluid als Beispiel für eine Säure-Base-Reaktion

## N3 Nano



### GERÄTE

- Ferrofluidic® Adventure Science Kit
- Kompassnadel
- 2 Einmalspritzen 5 ml
- 1 Einmalspritze 10 ml
- 1 Becherglas (V = 50 ml)
- Glasrührstab

### CHEMIKALIEN

- Eisen(II)-chlorid-Lösung (c = 1 mol/l) in Salzsäure
- Eisen(III)-chlorid-Lösung (c = 1 mol/l) in Salzsäure
- Ammoniaklösung verd.
- Magnetit-Suspension (Ferrofluid)
- Magnetit-Erz

### ABBILDUNG



### DURCHFÜHRUNG

**ACHTUNG:** Eisen(III)-chlorid-Lösung ist ätzend. Bei Berührung Hände gut abspülen. Je 5 ml Eisen(II)-chlorid- und Eisen(III)-chlorid-Lösung werden im Becherglas vermischt. Zu der Lösung lässt man langsam 10 ml Ammoniaklösung tropfen und rührt dabei um. Nach Beendigung der Reaktion prüft man die Suspension mithilfe einer Kompassnadel auf Magnetismus. Sodann prüft man die Suspension mithilfe eines Haftmagneten aus dem Kit.

Das Magnetit-Erz wird ebenfalls mit der Kompassnadel auf Magnetismus getestet. Nun wird die fertige Suspension aus dem Kit mit den gleichen Methoden überprüft. Die fertige Suspension wird als Ferrofluid bezeichnet. Es handelt sich jedoch nicht um Eisen, sondern um ein Eisen(II,III)-hydroxid. Dieses kommt als entsprechendes Oxid im Mineral Magnetit vor und ist dort magnetisch.

### BEOBACHTUNG

Magnetit ist permanent magnetisch, das selber hergestellte Eisen(II,III)-hydroxid und das Ferrofluid jedoch nicht.

Unter Einfluss eines Magneten werden die beiden Stoffe magnetisch.

### ERLÄUTERUNG

Formuliere die Reaktionsgleichungen zwischen Eisen(II)- und Eisen(III)-chlorid und der Ammoniak-Lösung als Teil- und Gesamtgleichung.



Worin besteht der wesentliche Unterschied in den Eigenschaften zwischen dem Magnetit und den selber hergestellten Hydroxiden?

Das Magnetit liegt als festes Mineral vor, die Eisenhydroxide im Ferrofluid als feinst verteilte Teilchen in einer Suspension.

Erkläre die Abhängigkeit der Materialeigenschaften.

Die Materialeigenschaften hängen von der Teilchengröße ab.

### ANMERKUNGEN

Mit diesen Experimenten sollen die unterschiedlichen Eigenschaften von Materialien in Abhängigkeit von der Teilchengröße demonstriert werden.



Die Dispersion wird im Abfallbehälter gesammelt.



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19 240 · Telefax: 089.41 402 467

### EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Eisen(II)-chlorid	Gefahr		H302, H315, H318	P280 P302+P352 P305+P351+P338	-	
Eisen(III)-chlorid	Gefahr		H302, H315, H318	P280 P302+P352 P305+P351+P338	-	
Salzsäure c = 1 mol/l	Achtung		H290	P234 P290		
Ammoniak-Lösung c = 1 mol/l	Gefahr		H290, H 314, H335, H400	P273, P280 P303+P613+P333 P305+P351+P338, P310	14 mg/m <sup>3</sup>	-

### SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

### GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

**Sonstige Gefahren:**  
Alle Gefahren nur bei Synthese von Ferrofluid.  
Beide Eisensalze verursachen schwere Augenreizung.  
Im Schülerexperiment wird mit käuflichem Ferrofluid gearbeitet.

### ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzhülle	Schutzbrille	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandenschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X	X	X				keine

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

### H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

#### Eisen(II)chlorid-Lösung, Eisen(III)chlorid-Lösung und Salzsäure:

##### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.
- H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
- H315 Verursacht Hautreizungen.
- H319 Verursacht schwere Augenreizung.
- H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

##### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

##### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P234 Nur im Originalbehälter aufbewahren.
- P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
- P390 Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.
- P302 + P352 Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

##### Ammoniaklösung:

##### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
- H335 Kann die Atemwege reizen.

##### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

##### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P301 + P330 + P331 Bei Verschlucken: Mund ausspülen. Kein Erbrechen herbeiführen.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- P304 + P340 Bei Einatmen: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P309 + P311 Bei Exposition oder Unwohlsein: Giftnormales Zentrum oder Arzt anrufen.

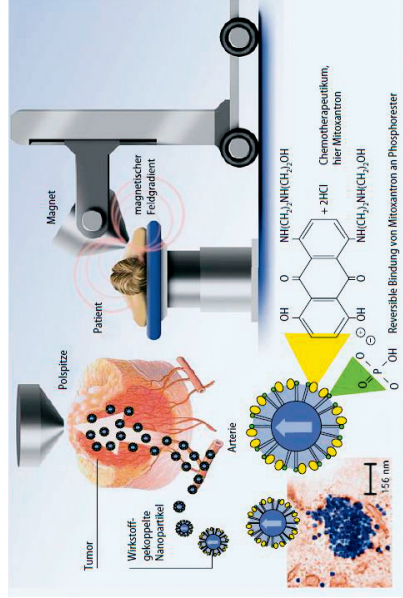


### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Ferrofluid wurde erstmals in der Raumfahrttechnik als Dichtungsmittel eingesetzt. Seine magnetischen Eigenschaften werden als Superparamagnetismus bezeichnet: Sie entstehen erst durch äußere Einwirkung eines magnetischen Feldes. Dies ist eine typische Nanoeigenschaft. Sie wird bei Hochleistungslautsprechern ausgenutzt.

Ein weiteres Feld ist die Hyperthermie: Didierte Ferrofluide werden ins Gehirn geschleust und docken dort gezielt an Krebszellen an. Diese werden unter Einwirkung eines elektrischen Wechselfeldes erhitzt und sterben dann ab: <http://www.magforce.de/en/studien/publikationen.html>

Ein anderes Konzept der Krebstherapie verfolgt Prof. Alexiou von der HNO-Klinik in Erlangen: Ferrofluid wird mit Cytostatika dotiert und mithilfe eines Elektromagneten gezielt zu den Krebszellen im Körper transportiert:



Eine ausführliche Beschreibung zur Herstellung von Ferrofluid befindet sich im Begleitmaterial zur kostenlos erhältlichen Nanobox des Fonds der Chemischen Industrie (<https://www.vci.de/fonds/press/publikationen/Seiten/NanoBox.aspx>).

US-Dollarnoten sind mit Ferrofluid bedruckt und reagieren schwach auf magnetische Felder. Dies soll Fälschungen verhindern.

## „Ein sehr großes Potenzial in der Nanomedizin“

Nobelpreisträger Professor Gerd Binnig zu Gast bei Erlanger HNO-Arzt und Wissenschaftler Christoph Alexiou

Hoher Besuch bei Christoph Alexiou, Erlanger HNO-Arzt und Wissenschaftler: Gerd Binnig besichtigte die Sektion für Experimentelle Onkologie und Nanomedizin.



ERLANGEN – Man müsse noch mehr Bewusstsein schaffen für die Nanotechnologie und die Nanomedizin, meint Gerd Binnig, Physiker und Nobelpreisträger bei seinem Besuch in Erlangen. Einen Vortrag hält Binnig an der Universität und er besichtigt an der HNO-Klinik die Sektion für Experimentelle Onkologie und Nanomedizin, die Professor Christoph Alexiou leitet.

„Ich sehe ein sehr, sehr großes Potenzial in der Nanomedizin“, sagt der Wissenschaftler, der mit der Realisierung des Raster-Tunnel-Mikroskops (dafür ist er 1986 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet worden) und des Raster-Kraft-Mikroskops ein Auslöser der Entwicklung des Forschungsgebietes der Nanowissenschaften war.

### Millionstel eines Millimeters

Auf der Basis von Binnigs Raster-Kraft-Mikroskop gelingt die Herstellung von Bildern mit enormer Auflösung, sogar bis hin zu Einzelatomen. Die an Gewebeoberflächen

ablaufenden Prozesse, die so sichtbar werden, gewinnen seitdem in der medizinischen Diagnostik mehr und mehr an Bedeutung.

Neue Möglichkeiten sind so entstanden bei der Analyse von Geweben und bei gezieltem Wirkstofftransport: Also genau in dem Feld, in dem Professor Christoph Alexiou forscht.

Der Wissenschaftler und HNO-Arzt bepackt Nanoteilchen (sie sind so klein wie der millionste Teil eines Millimeters) mit einem Medikament, spritzt diesen Mini-Cocktail in die

Binnig leitet heute seine eigene Firma, die Definiens Imaging GmbH, die durch objektbasierte Bildklassifikation versucht – Krebszellen in Gewebeprobe aufzuspüren. Zusammen mit Professor Christoph Alexiou ist er Mitglied des wissenschaftlichen Komitees der weltweit größten Tagung auf der nanomedizinischen Front (European Summit for Clinical Nanomedicine an Targeted Medicine) vorgestellt werden.

RALF H. KOHLSCHREIBER

Arterie – und zieht durch ein starkes Magnetfeld die Nanopartikel und das Heilmittel an die Stelle, an der das Medikament wirken soll: Ein Chemotherapeutikum bekämpft Krebszellen, eine entzündungshemmendes Mittel vermindert Ablagerungen an Gefäßwänden. Der Vorteil liegt an der Hand: Eine viel geringere Dosis erzielt eine viel höhere Wirkung als eine Pille, die man schlucken muss. Man müsse „Gas geben“, sagt Gerd Binnig, dann könnte man die Entwicklungen in der Nanomedizin beschleunigen. Und das heißt natürlich: Krebspatienten oder Patienten mit cardio-vaskulären Problemen effektiver zu helfen, weil Therapien zielgerichteter und individueller ausgerichtet werden können.

## Kupfer-Nanopartikel: Synthese durch Redoxreaktion



### GERÄTE

- Schnappdeckelglas 40 ml
- Deckel
- 2 Laboröffel
- Glasstab
- Spritzflasche mit Wasser
- Laserpointer grün
- Einmalhandschuhe

### CHEMIKALIEN

- $\text{CuSO}_4$  (s)
- Ascorbinsäure (s)
- pH-Papier

### ABBILDUNG



### DURCHFÜHRUNG

In das Schnappdeckelglas werden je 1 cm hoch  $\text{CuSO}_4$  (s) und Ascorbinsäure (s) gefüllt und die Feststoffe mit Wasser überschichtet.

Das mit einem Deckel verschlossene Schnappdeckelglas wird kräftig geschüttelt und hin gestellt. Mit dem Glasstab wird eine Probe entnommen und der pH-Wert überprüft.

Nach 5 Minuten wird die Lösung mit einem grünen Laserpointer durchstrahlt.

Am Ende des Praktikums wird die Suspension erneut geprüft und das Schnappdeckelglas genau beobachtet.

### BEOBACHTUNG

#### Notiere die Farbveränderungen:

Die Lösung färbt sich von blau nach grün

#### Welcher pH-Wert befindet sich in der Dispersion?

Messergebnis notieren

#### Was sieht man beim Durchstrahlen mit dem Laserpointer?

Faraday- Tyndall-Effekt

### ERLÄUTERUNG

Die  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen werden in zwei Schritten zum Cu-Metall reduziert. Erläutere diesen Vorgang anhand der Redoxpotenziale.

Halbreaktion	Redoxpotenzial in V
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+(\text{aq})$	0,17
$\text{Cu}^+(\text{aq}) + e \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{aq})$	0,52

Aufgrund des niedrigeren Redoxpotenzials entstehen zunächst  $\text{Cu}^+$ -Ionen und danach  $\text{Cu}^{2+}$ - Ionen.

Das Redoxpotenzial von Ascorbinsäure ist vom pH-Wert abhängig:

pH-Wert	Redoxpotenzial in V
3,3	0,200
4,0	0,166
5,0	0,127
7,0	0,060

Ab welchem pH-Wert wirkt die Ascorbinsäure reduzierend auf die  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen?

Ab einem pH-Wert von 4,0 verlaufen beide Reduktionen. Der große Überschuss von Ascorbinsäure sorgt für die Reduktion der  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen auch bei niedrigeren pH-Werten.

Wie kommt es zur Streuung des Lichtstrahls des Laserpointers ?

Die undurchlässigen Cu-Nanopartikel sorgen für die Streuung.



# N4 Nano

## Kupfer-Nanopartikel: Synthese durch Redoxreaktion



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

### EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Kupfer(II)-sulfat-Pentahydrat	Achtung		H302 H314 H318 H319 H410	P273 P305+P351+P338 P302+P352	-	-

### SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

### GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Sonstige Gefahren:	
	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

Kupfer(II)-sulfat-Pentahydrat verursacht schwere Augenreizung.

### ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzhilfe	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Umfangmaßnahmen	Brandenschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X					

### H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

#### Kupfer(II)sulfat-Pentahydrat

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H302** Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
- H314** Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
- H315** Verursacht Hautreizungen.
- H318** Verursacht schwere Augenschäden.
- H319** Verursacht schwere Augenreizung.
- H410** Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P273** Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
- P302 + P352** Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P305 + P351 + P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.



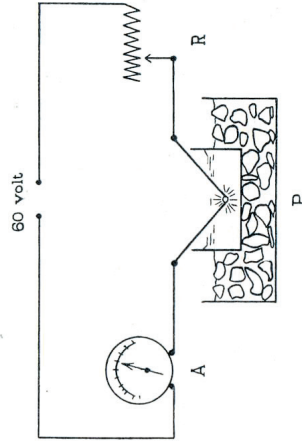
## Kupfer-Nanopartikel: Synthese durch Redoxreaktion

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Die klassische Synthese von Kupfer-Kolloiden erfolgt mit elektrischen Methoden.

Bredig hat bereits im 19. Jahrhundert eine Methode zur Darstellung von nanoskaligen Metallen entwickelt, die noch heute angewandt wird: die Lichtbogenzerstäubung.

Metallektroden werden in leitfähigem Wasser für kurze Zeit einer Hochspannungsgleichstrom-Elektrolyse (30 – 250 V) unterworfen. Es bildet sich ein Lichtbogen und die Lösung verfärbt sich leicht.



Aus: A. Lottermoser, Kurze Einführung in der Kolloidchemie unter besonderer Berücksichtigung der anorganischen Kolloide, 2. Aufl. Verlag Theodor Steinkopff Dresden und Leipzig (1948), S. 191.

Die Variante von Svedberg<sup>1</sup> ( $U \approx 230 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ) lässt sich mit einfachen schulischen Mitteln nachvollziehen – allerdings ohne Lichtbogen: isolierte Kupferleitungen von Aufputzkabeln werden ca. 1 cm breit abisoliert, ca. 2 cm auseinander gebogen und am anderen Ende mit einem Schukostecker verbunden. Die Kupferdrähte werden in ein großes Becherglas (1000 ml) mit destilliertem Wasser getaucht und mit einer gesicherten, schaltbaren Steckdosenleiste mit FID-Schutz oder – besser noch – mit einem Trenntrafo verbunden<sup>2</sup>.

Der Wechselstrom wird für ca. 10 Sekunden eingeschaltet. Es passiert so gut wie Nichts. Nun wird in das Wasser mit einem Becherglas ca. 50 g Speisesalz geschüttet und erneut der Strom eingeschaltet: Unter lautem Brummen springt eine Reaktion an, die eine gelbgrün gefärbte Lösung liefert.

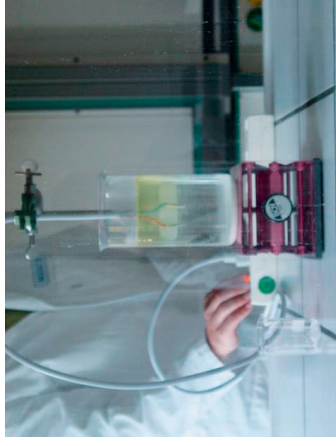
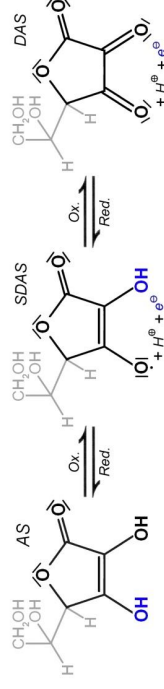


Foto:  
Peter Heinzerling  
(Aus:[3])

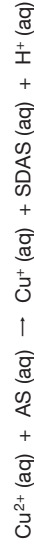
**Dieses Experiment ist ein Lehrereperiment. Das Experiment ist nicht ungefährlich und es wird heiß im Becherglas, daher unbedingt eine Schutzscheibe verwenden.**

Der Chemismus der Reaktion ist vergleichbar mit der Kupferraffination.

Die Lösung sieht zwar verfärbt aus, bleibt aber durchsichtig. In Wirklichkeit befinden sich darin dispergierte Kupfer-Nanoteilchen, die sich durch den Faraday-Tyndall-Effekt sichtbar machen lassen. Sehr gut eignet sich hierfür ein Laser-Pointer. Ascorbinsäure (AS) spaltet schrittweise zwei Elektronen ab über SDAS (Semidehyd-roascorbat) zur DAS (Dehydroascorbinsäure):



und reduziert dabei schrittweise die  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen:



In der Hitze kann sich dabei ein Kupferspiegel bilden [4].

## Kupfer-Nanopartikel: Synthese durch Redoxreaktion

### LITERATUR

[1] G. Bredig, Zeitschr. f. Elektrochem. **4**, 514 (1898), Darstellung colloidaler Metalllösungen durch elektrische Zerstäubung. Zeitschr. f. angew. Chemie **41**, 951(1898)

[2] The Svedberg, Über die elektrische Darstellung colloidaler Lösungen. Chem. Ber. **38**, 3616 (1905), Zweite Mittheilung. Chem. Ber. **39**, 1705 (1906) Beides zitiert in: R. Liesegang (Hrsg.), Kolloidchemische Technologie, 2. Aufl. Theodor Steinkopf Dresden 1932

[3] P. Heinzerling, Nanochemie in der Schule – Eine historische experimentelle Annäherung. PdN-ChiS **56**(1), 32 (2006)

[4] Chr. Ude, P. Heinzerling, Ascorbinsäure – ein chemisches Chameleon. PdN-ChiS **57**(7), 16 (2008)

<sup>1</sup> Svedberg erhielt für seine Arbeiten den Nobelpreis für Chemie 1926

<sup>2</sup> In Schulen müssen Stromkreise mit einem FI-Schalter gesichert sein. Das Experiment wurde von M. Wagner auf einer Lehrerfortbildungstagung des Lehrerfortbildungszentrums Frankfurt im Juli 2005 vorgeführt.

### Nano-Kupfer in der Praxis

Als Nanopartikel wird Kupfer vor allem als Biozid und für elektrische Anwendungen eingesetzt. In der Informations- und Kommunikationstechnologie werden vermehrt kleine, präzise Schalt- und Leiterbahnen benötigt [1]. Hierbei helfen bspw. Lösungen oder Pasten aus Kupfer-Nanopartikeln, die mittels neuartiger Druckverfahren gezielt aufgebracht werden können.

Antifouling-Beschichtungen für Schiffsrümpfe gelten ebenfalls als Anwendungsgebiet für Kupfer-Nanopartikel, jedoch kann hier derzeit kein Produkt identifiziert werden, welches die Angabe machte, derartige Partikel als Biozid zu verwenden [2].

Anders im Bereich der Biozide für die Holzimprägnierung [3,4]. Der Holzschutz wird durch den Einsatz von Kupfer-Nanopartikeln in Bioziden deutlich verbessert, die Lebensdauer von Holzkonstruktionen maßgeblich verlängert und somit die Kosten für den Endverbraucher reduziert. Wässrige Formulierungen aus Kupfer-Nano- und Mikro-Partikeln in der Größenordnung von 1 nm bis 25 µm werden seit einigen Jahren kommerziell im Holzschutz eingesetzt. Den Verbrauch von Kupfer-Nanopartikeln für diese Branche schätzen Experten auf mehrere tausend Tonnen pro Jahr. Damit besitzen derartige Holzschutzmittel das Potential, eine der größten Nano-Anwendungen in Europa für schwer tränkbare Holzarten wie Rotfichte (*Picea abies*) und Weißtanne (*Abies alba*) zu werden.

Kupfer-Nanopartikel können über nasschemische Verfahren oder mittels Flammensynthese hergestellt werden. Bei der nasschemischen Variante werden Kupfersalze, bspw. Kupfersulfat in Anwesenheit eines Stabilisator (Polymere, Aminverbindungen, etc.) zu Nanopartikeln reduziert. Dadurch enthält man kolloidale Lösungen der Nanopartikel, die direkt weiterverarbeitet werden können. Bei der Flammensynthese werden unter stark reduzierenden Bedingungen kupferhaltige Verbindungen verbrannt und so Kupfer-Nanopartikel erhalten. Hier besteht die Möglichkeit, unterschiedliche metallhaltige Verbindungen zu verbrennen, wodurch hybride Metallpartikel (Legierungen) erhalten werden können.

### LITERATUR

[1] S. Magdassi et al., Copper Nanoparticles for Printed Electronics:

Routes Towards achieving Oxidation Stability (Review). Materials **3**(9), 4626 – 4638 (2010)

[2] BT. Waterman et al., Texte Nr. 40/2010: »Einsatz von Nanomaterialien als

Alternative zu biozidhaltigen Antifouling-Anstrichen und deren Umweltauswirkungen«, Umweltbundesamt, ISSN 1862 – 4804 (2010)

[3] P. Evans et al., Large-scale application of nanotechnology for wood protection. Nat. Nanotechnol. (Communication) **3**(10), 577 (2008)

[4] Y. Lee et al., Large-scale application of nanotechnology for wood protection. Nat. Nanotechnol. Nanotechnology **19**(41), 415604 (2008)

Quelle: nanopartikel.info

# Silber-Nanopartikel: Synthese durch Elektrolyse

## N5 Nano



### GERÄTE

- Rollrandglas mit PE-Deckel
- Feinsilberdraht (d = 1 mm)
- 3 Blockbatterien 9 V
- 2 Batterieclips
- Spritzflasche
- Laserpointer

### ABBILDUNG



### CHEMIKALIEN

- Dest. Wasser

### BEOBACHTUNG

#### Was passiert nach Anschluss der Batteriekabel?

Nach Anschluss der Kabel an die Feinsilberdrähte trübt sich das Wasser nach kurzer Zeit.

#### Was sieht man beim Durchstrahlen mit dem Laserpointer?

Faraday-Tyndall-Effekt

### ERLÄUTERUNG

#### Was passiert mit dem Silber am Pluspol?

#### Was passiert am Minuspol?

Das Silbermetall geht am Pluspol als Silber-Ionen in Lösung, die am Minuspol wieder entladen werden.

#### Formuliere die chemischen Vorgänge (Teilreaktionen) an den Silberdrähten:

Pluspol:  $\text{Ag (s)} \rightarrow \text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{e}^-$

Minuspol:  $\text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag (s)}$

#### Warum wird der Laserstrahl gestreut?

Der Laserstrahl trifft aus die Silber-Nanopartikel

### ANMERKUNGEN

Die klassische Synthese von Metall-Kolloiden erfolgt mit elektrischen Methoden. Bredig hatte bereits im 19. Jahrhundert eine Methode zur Darstellung von nanoskaligen Metallen entwickelt, die noch heute angewandt wird: die Lichtbogenzerstäubung. Metallelektroden werden in leitfähigem Wasser für kurze Zeit einer Hochspannungs-Gleichstrom-Elektrolyse (30 – 250 V) unterworfen.

### DURCHFÜHRUNG

In den PE-Deckel des Rollrandglases werden zwei Löcher gestochen. Durch die Löcher werden ca. 5 cm langer Feinsilberdrähte gesteckt. Das Rollrandglas wird mit dest. Wasser befüllt und mit dem präparierten PE -Deckel verschlossen.

Die drei Blockbatterien werden hintereinander geschaltet. Auf die freien Pole kommen die Batterieclips, deren freies Kabel abgeschnitten wird. Die unisolierten Enden der Kabel werden für ca. 2 Minuten an die beiden Feinsilberdrähte gehalten.

Der Lichtstrahl des Laserpointers wird durch das Rollrandglas geschickt.

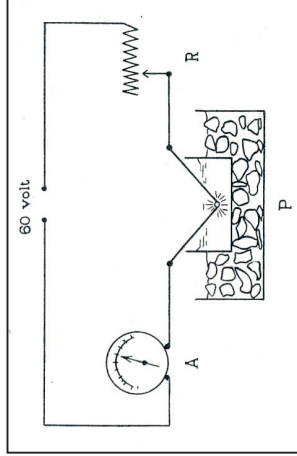


Nach Beendigung der Versuche wird die Dispersion im Behälter für Schwermetalle entsorgt.

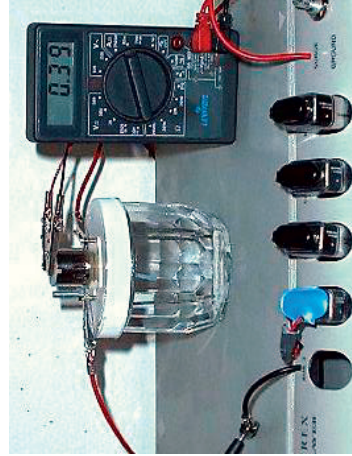
## Silber-Nanopartikel: Synthese durch Elektrolyse

### ANMERKUNGEN

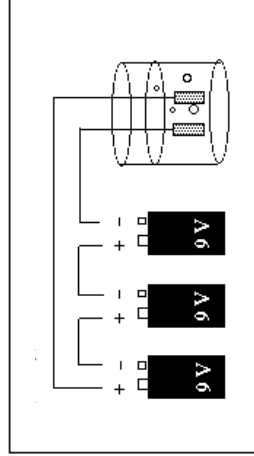
Es bildet sich ein Lichtbogen und die Lösung verfärbt sich leicht [1].



Aus: A. Lottermoser, Kurze Einführung in die Kolloidchemie unter besonderer Berücksichtigung der anorganischen Kolloide, 2. Aufl. Theodor Steinkopff Verlag Dresden und Leipzig, S. 191 (1948).



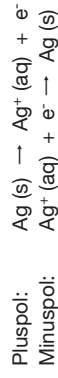
Eine Variante mit  $U = 27\text{ V}$  findet man in der Literatur [2] und bei Angeboten zu käuflichem kolloidalen Silber. Dieses wird als Fertigprodukt in Apotheken gehandelt und als Kit hochpreisig gehandelt [3].



Für weniger als 10 € lässt sich das kolloidale Silber selber herstellen: Drei Blockbatterien ( $U = 9\text{ V}$ ) werden hintereinander geschaltet und liefern somit eine Gleichspannung von  $U = 27\text{ V}$ . Diese wird an Feinsilberdrähte ( $w = 99,9\%$ ), die in dest. Wasser eintauchen, gelegt.

Nach kurzer Zeit trübt sich das Wasser und mit dem Laserpointer lassen sich mithilfe des Faraday-Tyndall-Effekts die Silber-Nanopartikel nachweisen.

Der chemische Vorgang ähnelt der Kupferraffination: Am Pluspol gehen Silber-Ionen in Lösung, am Minuspol wird es abgeschieden.



Das Silber lagert sich in der kurzen Zeit nicht am Feinsilberdrant an, sondern verteilt sich im Wasser. Bei längerer Durchführung bilden sich am Minuspol Dendrite.

### LITERATUR

- [1] G. Bredig, Zeitschr. f. Elektrochem. **4**, 514 (1898), Darstellung colloidaler Metallösungen durch elektrische Zerstäubung. Zeitschr. f. angew. Chemie **41**, 951(1898)
- [2] R. E. Liesegang, Kolloidchemie, Verlag Theodor Steinkopff Dresden und Leipzig, 4 (1926)
- [3] <http://www.kolloidales-silber.de/silver.htm>

# Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion

## N6a Nano



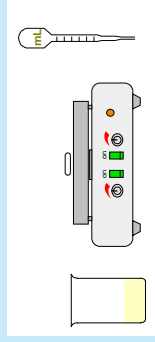
### GERÄTE

- Becherglas (V = 25 ml)
- Magnetheizrührer
- Rührfisch
- 2 PP-Einmalpipetten
- Einmalspritze 20 ml
- Mikrospatel
- Einmalhandschuhe

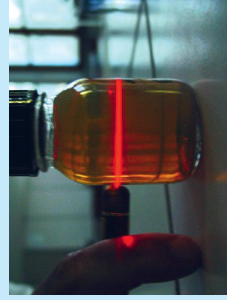
### CHEMIKALIEN

- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-3}$  mol/l
- Trinitriumcitrat-Lösung  $c = 10^{-2}$  mol/l

### ABBILDUNGEN



Versuchsaufbau



Test auf Silber-Nanopartikel  
mit dem Laserpointer

### BEOBACHTUNG

Nach einiger Zeit verfärbt sich die siedende Lösung gelblich und wird leicht trübe. In hellem Licht erscheint ein Silberspiegel.

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt Nanopartikel nachweisen.

### ERLÄUTERUNG

#### Woher rührt die Verfärbung?

Die gelbliche Färbung rührt von den Silber-Nanopartikeln her. In Reflexion erscheint der Silberspiegel.

#### Citrate zersetzen sich bei Redox-Reaktionen.

#### Woher rührt die Gasentwicklung?

Die Gasentwicklung kommt vom angespaltenen  $\text{CO}_2$  mit der höchsten Oxidationszahl beim Kohlenstoff

#### Begründen Sie Ihre Beobachtung zum Laserstrahl:

Faraday-Tyndall-Effekt wegen der gebildeten Silber-Nanopartikel

### DURCHFÜHRUNG

15 ml Silbernitrat-Lösung werden auf dem Magnetheizrührer unter kräftigem Rühren zum Sieden erhitzt. Zur Lösung wird Trinitriumcitratlösung langsam zuge tropft bis zur beginnenden Färbung.

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

Die Lösung wird vom Magnetheizrührer genommen.

**VARIANTE:** Zur siedenden Silbernitrat-Lösung wird mit einem Halbmikrospatel ein Körnchen Trinitriumcitrat gegeben.

### ANMERKUNGEN

Die Reduktion von Metall-Ionen mit heißer Natriumcitrat-Lösung ist aus der Literatur als Turkevich-Methode bekannt. Überschüssige Citrat-Ionen stabilisieren die Metall-Nanopartikel durch Bildung eines Schutzkolloids.



# Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion

# N6a Nano

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Silbernitrat	Achtung		H314 H319 H412	P280 P302+P352 P305+P351+P338 P273	-	-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

### Sonstige Gefahren:

Die Silbernitrat-Lösung liegt in so starker Verdünnung vor dass keine Gefährdung angenommen werden muss. Das Ansetzen der Lösung erfolgt durch den Lehrer. Das Tragen von Handschuhen ist wegen der Photoreduktion sinnvoll.

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzhilfe	Schutzbrille	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Liturgiemassnahmen	Brandenschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X	X					

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Silbernitrat

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H315 Verursacht Hautreizungen.
- H319 Verursacht schwere Augenreizung.
- H412 Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
- P302 + P352 Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
- P337 + P313 Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in





# Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox- Reaktion (Mikrowelle)

N6b  
Nano

Silber-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion (Mikrowelle)



## GERÄTE

- Erlenmeyerkolben (V = 250 ml)
- Becher (V = 50 ml)
- Mikrowellengerät SIEMENS
- Einmalspritze 50 ml
- Halbmikrospatel
- Lederhandschuh
- Laserpointer rot

## CHEMIKALIEN

- Silbernitrat-Lösung ( $c = 10^{-3}$  mol/l)
- Trinatriumcitrat-Dihydrat

## ABBILDUNGEN



Erlenmeyer-Kolben:

Links: Kolloidales Silber

Rechts: Kolloidales Gold

## DURCHFÜHRUNG

Trinatriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab.

Der Erlenmeyerkolben wird mit 30 ml Silbernitrat-Lösung befüllt.

Zu der Lösung wird mithilfe des Halbmikrospatels eine Spatelspitze Trinatriumcitrat-Dihydrat gegeben. Die Leistung des Mikrowellengeräts wird auf 360 W eingestellt und der Erlenmeyerkolben im Gerät platziert.

Die Betriebsdauer wird zunächst auf 2 min eingestellt und das Ergebnis beobachtet. Sollte die Färbung noch nicht intensiv sein wird 1 min nachgeheizt.

Der heiße Erlenmeyerkolben kann mit dem Lederhandschuh angefasst werden.

Mit dem roten Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

## BEOBACHTUNG

Verfärbung:

Während des Erhitzens in dem Mikrowellengerät:

Verlauf des Laserstrahls:

## ERLÄUTERUNG

**Woher rührt die Verfärbung der Lösung?**

Die gelbliche Färbung rührt von den Silber-Nanopartikeln her.

**Erläutere den Verlauf des Laserstrahls:**

Der Laserstrahl stößt auf die Silber-Nanopartikel.





## Silber-Nanopartikel: Synthese mit Borhydrid-Ionen



### GERÄTE

- Becherglas (V = 400 ml)
- Becherglas (V = 50 ml)
- Kristallisierschale
- PP-Einmalpipette
- Einmalspritze 20 ml
- Magnetrührer mit Rührfisch
- Laserpointer

### CHEMIKALIEN

- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-3}$  mol/l
- $\text{NaBH}_4$ - oder  $\text{KBH}_4$ -Lösung  $c = 2 \cdot 10^{-3}$  mol/l
- Eiswasser

### ABBILDUNGEN



Test auf Silber-Nanopartikel mit dem Laserpointer

### DURCHFÜHRUNG

Die Silbernitrat-Lösung wird durch Verdünnung von  $c = 0,1$  mol/l hergestellt (Zwei Mal hintereinander im Verhältnis 1:9 mit dest. Wasser verdünnen).

Herstellung der von  $\text{NaBH}_4$  ( $c = 0,002$  mol/L entspricht 2 mmol/l):

$M(\text{NaBH}_4) = 37,83$  g/mol

189,2 mg  $\text{NaBH}_4$  (5 mmol) werden in 250 ml dest. Wasser gelöst.

Das entspricht einer Konzentration von  $c = 4,5$  mmol/l = 20 mmol/l.

Die Lösung muss im Verhältnis 1:9 verdünnt werden.

Vorschrift für 30 mL: 3 ml  $\text{NaBH}_4$  ( $c = 20$  mmol/l) + 27 ml  $\text{H}_2\text{O}$ .

30 mL  $\text{NaBH}_4$  ( $c = 0,002$  mol/L) auf Eis kühlen, dazu tropfenweise

10 mL  $\text{AgNO}_3$  ( $c = 0,001$  mol/L) geben. Während des Zutropfens gut rühren.

Die Kontrolle auf Nanopartikel erfolgt mithilfe des Laserpointers.

### BEOBACHTUNG

Nach einiger Zeit verfärbt sich die Lösung gelblich.

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt Nanopartikel nachweisen.

Wenn die Borhydrid-Lösung warm wird, ist eine Gasentwicklung zu beobachten.

### ERLÄUTERUNG

**Woher rührt die Verfärbung der Lösung?**

Die gelbliche Färbung rührt von den Silber-Nanopartikeln her.

**Erläre den Verlauf des Laserstrahls:**

Der Laserstrahl stößt auf die Silber-Nanopartikel.

**Borhydrid-Ionen sind in wässriger Lösung instabil. Dabei spalten sie ein Gas ab. Um welches Gas könnte es sich handeln?**

Die Gasentwicklung kommt vom abgespaltenen Wasserstoff aus den Borhydrid-Ionen.

### ANMERKUNGEN

Die Reduktion von Silberionen mit Borhydrid-Ionen wird in der Literatur als einfache und schnelle Alternative zur Turkevich-Methode beschrieben. Sie wurde für die Reduktion von Silber- und Gold-Ionen erstmals von Creighton beschrieben und nach ihm benannt.

Da Borhydrid-Ionen in Lösung instabil sind und Wasserstoff abspalten, müssen ihre Lösungen gut gekühlt werden. Die eigentliche Reaktion verläuft blitzschnell und es entstehen 12 nm große Silberpartikel, die gelblich aussehen. Die Borhydrid-Ionen wirken als Schutzkolloid und die Lösung ist hinterher über Jahre stabil.

**Reaktionsgleichung:**



# Silber-Nanopartikel: Synthese mit Borhydrid-Ionen

# N7 Nano



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Silbernitrat	Achtung		H314 H319 H412	P280 P302+P352 P305+P351+P338 P273	-	
Natriumborhydrid	Gefahr		H260 H301 + H311	P280 P310 P303+P361+P353 P301+P330+P331 P305+P351+P338 P402+P404	-	

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr	X	
Explosionsgefahr		X

### Sonstige Gefahren:

Die Silbernitrat- und Natriumborhydrid-Lösungen liegen in so starker Verdünnung vor dass keine Gefährdung angenommen werden muss. Das Ansetzen der Lösungen erfolgt durch den Lehrer.  
Das Tragen von Handschuhen ist wegen der Photoreduktion sinnvoll.

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzhülle	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X						

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Silbernitrat

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H315 Verursacht Hautreizungen.
- H319 Verursacht schwere Augenreizung.
- H412 Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
- P302 + P352 Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
- P337 + P313 Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.

### Natriumborhydrid

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H260 In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können.
- H301 + H311 Giftig bei Verschlucken. Giftig bei Hautkontakt.
- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P280 Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen.
- P303 + P361 + P353 Bei Berührung mit der Haut (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen / duschen.
- P301 + P330 + P331 Bei Verschlucken: Mund ausspülen. Kein Erbrechen herbeiführen.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
- P310 Sofort Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P402 + P404: In einem geschlossenen Behälter an einem trockenen Ort aufbewahren.

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

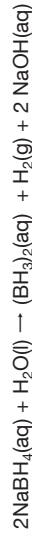
# Silber-Nanopartikel: Synthese mit Borhydrid-Ionen

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Creighton et al. publizierten die Methode bereits 1978 im Zusammenhang mit einer Untersuchungsmethode, die in der modernen Nanotechnologie von großer Bedeutung ist [1].



Bei Verwendung von sehr reinem Wasser lassen sich auch farbige Silber-Nanopartikel herstellen [3,4]. Die Natriumborhydrid-Lösung ist instabil und spaltet Wasserstoff ab. Daher sollte man bei jedem Experiment eine frische Lösung herstellen:



Borhydride sind giftig, ätzend und wegen der Wasserstoffabspaltung entflammbar. Bei den verwendeten Konzentrationen sind sie unbedenklich [5].

## LITERATUR

- [1] A. Creighton, Chr. G. Blatchford, M.G. Albrecht, Plasma Resonance Enhancement of Raman Scattering by Pyridine Adsorbed on Silver or Gold Sol Particles of Size comparable to the Excitation Wavelength, *J. Am. Chem. Soc.*, **Faraday Trans. 2**, 790 – 798 (1978)
- [2] S.D. Solomon, M. Bahadory, A.V. Jeyarajasingam, S.A. Rutkowsky, L. Mulfinger, Synthesis and Study of Silver Nanoparticle, *J. Chem. Ed.* **84**, 322–325 (2007)
- [3] A.J. Franck, N. Cathcart, K.L. Maly, V. Kitaev, Synthesis of Silver Nanoprisms with Variable Size and Investigation of Their Optical Properties: First-Year Undergraduate Experiment, *J. Chem. Ed.* **87**, 1098 – 1101 (2010)
- [4] P. Heinzerling, Farbige Silberkolloide, *CHEMKON* **19**, 33-36 (2012)
- [5] Sicherheitsdatenblatt: <http://www.carl-roth.de/jsp/de-de/sdpdf/4051.PDF>

## NOTIZEN

# N8a Nano

## Biozider Werkstoff: Einbettung von Silber- Nanopartikeln in Polyester



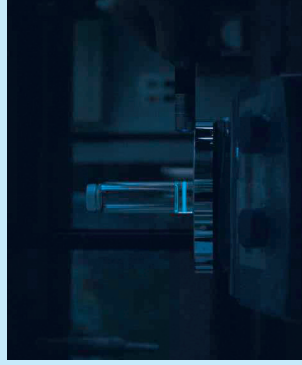
### GERÄTE

- Schnappdeckelglas 40 ml
- Reagenzglashalter
- Ultraschallbad
- Magnetheizrührer
- 3 PP-Einmalpipetten
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer

### CHEMIKALIEN

- Sebacinsäuredichlorid (Sebacylchlorid, Octandisäuredichlorid, 1,10-Decansäuredichlorid)
- Polyethylenglykol (PEG) 200
- Molekularsieb 0,3 nm
- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-2}$  mol/l

### ABBILDUNG



Test auf Silber-Nanopartikel mit dem Laserpointer

### DURCHFÜHRUNG

Das PEG 200 ist mit einem Molekularsieb versetzt worden und dadurch wasserfrei.

Mit einer PP-Einmalpipette wird 1 ml Sebacinsäuredichlorid in das Schnappdeckelglas gefüllt. Dazu kommt mit einer PP-Einmalpipette 2 ml PEG 200. Das Gemisch wird mit der PP-Pipette umgerührt und mit dem Reagenzglashalter für 10 Min in das Ultraschallbad bei 25°C gestellt.

Es wird auf HCl-Geruch durch Zurfächeln getestet und ggfs. länger behandelt.

Zu dem Gemisch werden mit einer PP-Einmalpipette 3 Tropfen Silbernitrat-Lösung gegeben und umgerührt. Danach wird das Schnappdeckelglas auf eine 320 °C heiße Platte des Magnetheizrührers gestellt und eine Verfärbung abgewartet.

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### BEOBACHTUNG

Nach dem Mischen von PEG 200 mit dem Sebacinsäuredichlorid wird das Gemisch leicht warm und zäh. Es spaltet sich HCl ab. Im Ultraschallbad reagiert das Sebacinsäuredichlorid mit dem PEG 200 vollständig zum Polyester.

Auf der heißen Platte des Magnetheizrührers reduziert das überschüssige PEG 200 die Silber-Ionen zu gelblich gefärbten Silber-Nanopartikeln.

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt die Nanopartikel nachweisen.

### ERLÄUTERUNG

**Bildung des Polyesters:**  
 $n \text{ Disäuredichlorid} + n \text{ Diol (Glykol)} \rightarrow \text{Polyester} + 2n \text{ HCl}$

**Woher rührt die Verfärbung?**

Die gelbliche Färbung rührt von den Silber-Nanopartikeln her.

**Warum reduziert das PEG 200 die Silber-Ionen?**

Die Alkohol-Gruppen des überschüssigen PEGs wirken reduzierend.

**Begründen Deine Beobachtung zum Laserstrahl:**

Faraday-Tyndall-Effekt wegen der gebildeten Silber-Nanopartikel

### ANMERKUNGEN

Silber-Ionen wirken stark biozid. Sie bilden sich aus den Silber-Nanopartikeln an der Luft.

Durch die Einbettung in den Polyester lassen sie sich mit anderen medizinischen Kunststoffen vermischen. Zudem verbessert der Polyester die Wasseraufnahme der medizinischen Kunststoffe, wodurch an der Luft langsam Silberionen freigesetzt werden.

Das ist bei medizinischen Anwendungen von Kunststoffen sehr wichtig, um bakterielle Infektionen zu vermeiden.



Nach Beendigung der Versuche wird das Material im Behälter für Schwermetalle entsorgt.



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

# Biozider Werkstoff: Einbettung von Silber- Nanopartikeln in Polyester

# N8a Nano

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Silbernitrat	Achtung		H314 H319 H412	P280 P302+P352 P305+P351+P338 P273	-	-
Sebacoylchlorid	Gefahr		H302 H310 H314	P260 P303+P361+P353 P305+P351+P338 P361 P405 P501	-	-
Chlorwasserstoff	Gefahr		H314 H331	P260 P280 P304+ P340 P303+P361+P353 P305+P351+P338 P315	-	-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen	X	
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

**Sonstige Gefahren:**  
Die Silbernitrat-Lösung und das gasförmige HCl liegen in so starker Verdünnung vor, dass keine Gefährdung angenommen werden muss. Das Ansetzen der Lösung erfolgt durch den Lehrer. Das Tragen von Handschuhen ist wegen des Sebacoylchlorids erforderlich.

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<b>Weitere Maßnahmen:</b>
X	X	X													

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Silbernitrat

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
- H319 Verursacht schwere Augenreizung.
- H412 Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

#### Sicherheitshinweise P-Sätze

- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P302+P352 Bei Berührung mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P305+P351+P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.

### Sebacoylchlorid

#### Gefahrenhinweise H-Sätze

- H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
- H310 Lebensgefahr bei Hautkontakt.
- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

#### Sicherheitshinweise P-Sätze

- P260 Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.
- P303+P361+P353 Bei Kontakt mit der Haut (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
- P305+P351+P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- P361 Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen.
- P405 Unter Verschluss aufbewahren.
- P501 Inhalt/Behälter der behördlichen Entsorgung zuführen.

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in



# N8a

Nano

## Biozider Werkstoff: Einbettung von Silber- Nanopartikeln in Polyester

### H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

#### Chlorwasserstoff

##### Gefahrenhinweise H-Sätze

**H314** Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.  
**H331** Giftig bei Einatmen.

##### Sicherheitshinweise P-Sätze

**P260** Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.  
**P280** Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.  
**P304+P340** Bei Einatmen: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.  
**P303+P361+P353** Bei Kontakt mit der Haut (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.  
**P305+P351+P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.  
**P315** Sofort ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.



**Notrufnummer:** Giftinformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Toxizität von Sebacylchlorid

Die Chemikalie wurde in 2014 hochgestuft auf giftig. Dies ist ausschließlich auf den Hautkontakt zurückzuführen. Dabei wird von einem worst-case-Szenario ausgegangen, das hier nicht vorliegt. Dennoch wird das Tragen von Einmalhandschuhen bei der Dosierung von 1 ml mit der PP-Einmalspritze vorgesehen.

Die Eingesetzte Masse von 1,12 g ist bei einer dermalen Toxizität (LD 50) von 56 mg/kg unbedenklich.

#### Toxizität von Chlorwasserstoff

Bei der Reaktion entstehen rechnerisch 4,7 mmol HCl, das sind 210 ml. Das Gasvolumen ist so gering, dass es am Arbeitsplatz nicht wahrgenommen wird.

#### Silber-Nanopartikel in der Medizin

Silber-Nanopartikel (AgNP) spielen in der Medizin inzwischen eine sehr große Rolle. So wurden schon vor langer Zeit in Erlangen an der Universitätskinderklinik medizinische Schläuche mit eingebetteten AgNP entwickelt, die inzwischen etabliert sind. Dadurch werden bakterielle Infektionen an Drainagen verhindert. In Krankenhäusern werden inzwischen Türgriffe, Lichtschalter und Steckdosen durch Beschichtung so ausgerüstet, dass eine Keimbildung verhindert wird.

Am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik wurden amphiphile Polyester mit eingebetteten AgNP im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelt. In Zusammenarbeit mit Polymerwerkstoffkudlern wurde dieses Material mit Medizin relevanten Kunststoffen wie Polyurethan(PU) und Polyethylenetherketonen (PEEK) verbunden und die Freisetzungsrate der Silber-Ionen erforscht. Die AgNP bilden an der Luft Silber-Ionen und nur die zeigen biozide Wirkung.

Ein amphiphiler Polyester enthält als Diol-Komponente Polyethylenglykol (PEG). Dieses PEG hat nach der Polykondensation mit Sebacylchlorid (vgl. Polyamid) am Anfang und Ende freie OH-Gruppen, es wird aber auch aufgebrochen und wirkt so als Reduktionsmittel.

In der Hitze reagieren die Silber-Ionen zu farbigen AgNPs.



## Biozider Werkstoff: Einbettung von Silber- Nanopartikeln in Polyester



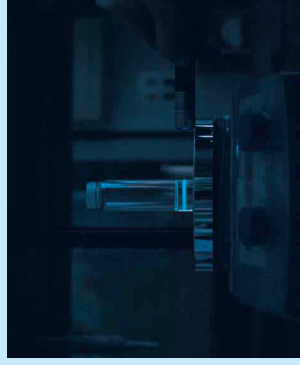
### GERÄTE

- Schnappdeckelglas 40 ml
- Reagenzglashalter
- Ultraschallbad
- Magnetheizrührer
- 3 PP-Einmalpipetten
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer

### CHEMIKALIEN

- Adipinsäuredichlorid (Adipoylchlorid, Butandisäuredichlorid, 1.6-Hexandisäuredichlorid)
- Polyethylenglykol (PEG) 200
- Molekularsieb 0,3 nm
- $\text{AgNO}_3$ -Lösung  $c = 10^{-2}$  mol/l

### ABBILDUNG



Test auf Silber-Nanopartikel mit dem Laserpointer

### DURCHFÜHRUNG

Das PEG 200 ist mit einem Molekularsieb versetzt worden und dadurch wasserfrei.

Mit einer PP-Einmalpipette wird 1 ml Adipinsäuredichlorid in das Schnappdeckelglas gefüllt. Dazu kommt mit einer PP-Einmalpipette 2 ml PEG 200. Das Gemisch wird mit der PP-Pipette umgerührt und mit dem Reagenzglashalter für 10 Min in das Ultraschallbad bei 25°C gestellt.

Es wird auf HCl-Geruch durch Zurfächeln getestet und ggfs. länger behandelt.

Zu dem Gemisch werden mit einer PP-Einmalpipette 2 Tropfen Silbernitrat-Lösung gegeben und umgerührt. Danach wird das Schnappdeckelglas auf eine 320 °C heiße Platte des Magnetheizrührers gestellt und eine Verfärbung abgewartet.

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### BEOBACHTUNG

Nach dem Mischen von PEG 200 mit dem Adipinsäuredichlorid wird das Gemisch leicht warm und zäh. Es spaltet sich HCl ab. Im Ultraschallbad reagiert das Adipinsäuredichlorid mit dem PEG 200 vollständig zum Polyester.

Auf der heißen Platte des Magnetheizrührers reduziert das überschüssige PEG 200 die Silber-Ionen zu gelblich gefärbten Silber-Nanopartikeln.

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt die Nanopartikel nachweisen.

### ERLÄUTERUNG

**Bildung des Polyesters:**  
 $n \text{ Disäuredichlorid} + n \text{ Diol (Glykol)} \rightarrow \text{Polyester} + 2n \text{ HCl}$

**Woher rührt die Verfärbung?**

Die gelbliche Färbung rührt von den Silber-Nanopartikeln her.

**Warum reduziert das PEG 200 die Silber-Ionen?**

Die Alkohol-Gruppen des überschüssigen PEGs wirken reduzierend.

**Begründen Deine Beobachtung zum Laserstrahl:**

Faraday-Tyndall-Effekt wegen der gebildeten Silber-Nanopartikel

### ANMERKUNGEN

Silber-Ionen wirken stark biozid. Sie bilden sich aus den Silber-Nanopartikeln an der Luft.

Durch die Einbettung in den Polyester lassen sie sich mit anderen medizinischen Kunststoffen vermischen. Zudem verbessert der Polyester die Wasseraufnahme der medizinischen Kunststoffe, wodurch an der Luft langsam Silberionen freigesetzt werden.

Das ist bei medizinischen Anwendungen von Kunststoffen sehr wichtig, um bakterielle Infektionen zu vermeiden.



Nach Beendigung der Versuche wird das Material im Behälter für Schwermetalle entsorgt.





## Biozider Werkstoff: Einbettung von Silber- Nanopartikeln in Polyester

### H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

#### Chlorwasserstoff

##### Gefahrenhinweise H-Sätze

**H314** Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.  
**H331** Giftig bei Einatmen.

##### Sicherheitshinweise P-Sätze

**P260** Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.  
**P280** Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.  
**P304+P340** Bei Einatmen: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.  
**P303+P361+P353** Bei Kontakt mit der Haut (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.  
**P305+P351+P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.  
**P315** Sofort ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.



**Notrufnummer:** Giftinformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Toxizität von Chlorwasserstoff

Bei der Reaktion entstehen rechnerisch 4,7 mmol HCl, das sind 210 ml. Das Gasvolumen ist so gering, dass es am Arbeitsplatz nicht wahrgenommen wird.

#### Silber-Nanopartikel in der Medizin

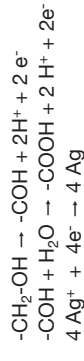
Silber-Nanopartikel (AgNP) spielen in der Medizin inzwischen eine sehr große Rolle. So wurden schon vor langer Zeit in Erlangen an der Universitätskinderklinik medizinische Schläuche mit eingebetteten AgNP entwickelt, die inzwischen etabliert sind. Dadurch werden bakterielle Infektionen an Drainagen verhindert. In Krankenhäusern werden inzwischen Turgriffe, Lichtschalter und Steckdosen durch Beschichtung so ausgerüstet, dass eine Keimbildung verhindert wird.

Am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik wurden amphiphile Polyester mit eingebetteten AgNP im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelt. In Zusammenarbeit mit Polymerwerkstoffkundern wurde dieses Material mit Medizin relevanten Kunststoffen wie Polyurethanen (PU) und Polyethylenetherketonen (PEEK) verbunden und die Freisetzungsrate der Silber-Ionen erforscht. Die AgNP bilden an der Luft Silber-Ionen und nur die zeigen biozide Wirkung.

Ein amphiphiler Polyester enthält als Diol-Komponente Polyethylenglykol (PEG). Dieses PEG hat nach der Polykondensation mit Sebycoylchlorid (vgl. Polyamid) am Anfang und Ende freie OH-Gruppen, es wird aber auch aufgebrochen und wirkt so als Reduktionsmittel.

In der Hitze reagieren die Silber-Ionen zu farbigen AgNP.

#### Vereinfachtes Reaktionsschema





# Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion

## N9a Nano



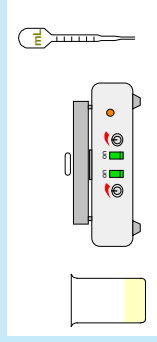
### GERÄTE

- Becherglas (V = 25 ml)
- Magnetheizrührer
- Rührfisch
- 2 PP-Einmalpipetten
- Einmalspritze 20 ml
- Insulinspritze
- Mikrospatel
- Einmalhandschuhe
- Laserpointer

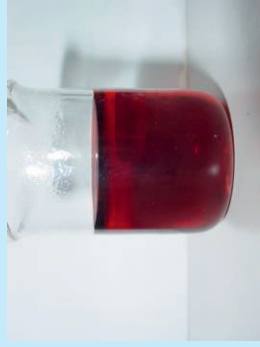
### CHEMIKALIEN

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung ( $\text{HAuCl}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ )  $c = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$
- Trinatriumcitratlösung ( $w = 1\%$ )
- Ascorbinsäure

### ABBILDUNGEN



Versuchsaufbau



Gold-Nanopartikel

### DURCHFÜHRUNG

Natriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab. In 10 ml dest. Wasser wird 0,1 ml Tetrachlorogoldsäure ( $w = 1\%$ ) mit der Insulinspritze gespült. 10 ml Tetrachlorogoldchlorid-Lösung wird auf dem Magnetheizrührer zum Sieden erhitzt. Zur Lösung wird Trinatriumcitratlösung langsam bis zur Rotfärbung zuge tropft.

Die Lösung wird vom Magnetheizrührer genommen. Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

**VARIANTE:** Zur siedenden Tetrachlorogoldchlorid-Lösung wird ein Körnchen Trinatriumcitrat gegeben. Als Reduktionsmittel eignet sich auch festes Vitamin C (Ascorbinsäure).

### BEOBACHTUNG

**Verfärbung:**  
Nach einiger Zeit verfärbt sich die siedende Lösung rötlich.

**Verlauf des Laserstrahls:**  
Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt Nanopartikel nachweisen.

**Nach längerem Stehenlassen:**  
Es ist eine Gasentwicklung zu beobachten.

### ERLÄUTERUNG

**Woher rührt die Verfärbung?**  
Die rötliche Färbung rührt von den Gold-Nanopartikeln her.

**Begründe die Beobachtung zum Verlauf des Laserstrahls:**  
Der Laserstrahl stößt auf die Gold-Nanopartikel; Faraday-Tyndall-Effekt wegen der gebildeten Gold-Nanopartikel

**Citrate zersetzen sich bei Redox-Reaktionen.**  
**Woher rührt die Gasentwicklung?**  
Die Gasentwicklung kommt vom angespaltenen  $\text{CO}_2$ .

### ANMERKUNGEN

Die Reduktion von Metall-Ionen mit heißer Natriumcitrat-Lösung ist aus der Literatur als Turkevich-Methode bekannt. Überschüssige Citrat-Ionen stabilisieren die Metall-Nanopartikel durch Bildung eines Schutzkolloids.



# Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion

# N9a Nano



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Tetrachlorogold(III)-säure	Gefahr		H314 H317	P280 P302 P352 P305 P351 P338 P310 P422	-	-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja		Nein	
Gefahren durch Einatmen			X	
Gefahren durch Hautkontakt	X			
Brandgefahr			X	
Explosionsgefahr			X	

**Sonstige Gefahren:**  
Die Tetrachlorogold(III)säure-Lösung liegt in so starker Verdünnung vor dass keine Gefährdung angenommen werden muss.  
Das Tragen von Handschuhen ist wegen der möglichen Photoreduktion sinnvoll.

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 600 (Mindeststandards)	Schutzhülle	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X					

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H314** Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
- H317** Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P280** Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P302 + P352** Bei Berührung mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P305 + P351 + P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
- P310** Sofort Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P422** Inhalte unter Inertgas aufbewahren.

Schule

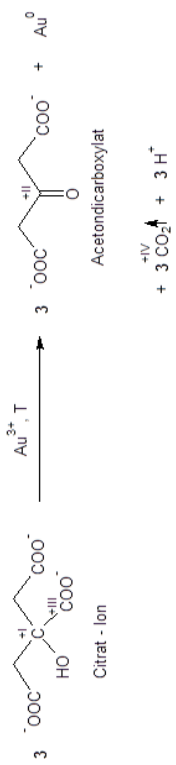
Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

# Gold-Nanopartikel: Synthese durch Redox-Reaktion

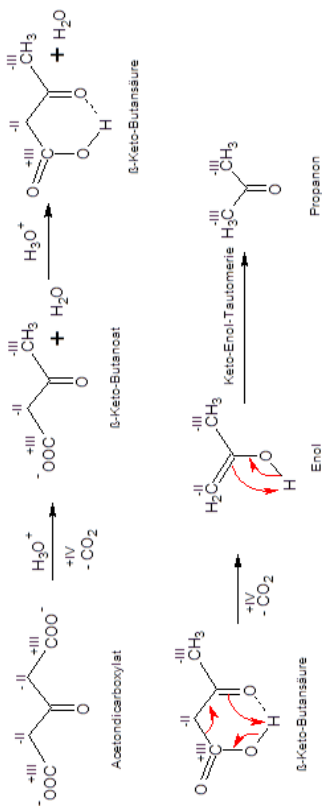
**N9a**  
Nano

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

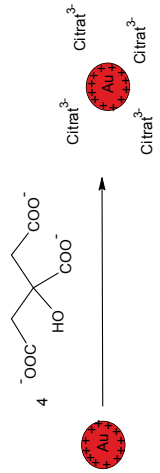
Die Reduktion von Metallionen mit Citrat-Ionen wird in der Literatur auch als Turkevich-Methode geführt. Hierbei wird eine neutrale, stark verdünnte Metall-Ionen-Lösung ( $c = 10^{-3} - 10^{-4} \text{ mol/l}$ ) mit einer Natriumcitrat-Lösung ( $c = 10^{-2} \text{ mol/l}$ ) in der Siedehitze reduziert. Dies soll am Beispiel von Gold-Ionen erläutert werden:



Nach dieser Redoxreaktion erfolgt schließlich eine Weiterreaktion unter Decarboxylierung zu Aceton:



Die entstehenden Goldpartikel sind elektrostatisch positiv aufgeladen und werden durch überschüssiges Citrat stabilisiert. Man spricht hier von einem Schutzkolloid:



Für die Farbigkeit dieser kleinsten Partikel gibt es aus Anfang des vorherigen Jahrhunderts eine klassische Erklärung des damals in Greifswald lehrenden Physikers Mie, die auf der Maxwell'schen Elektrodynamik beruht.

Metallpartikel besitzen eine Elektronengashölle und die tritt mit Licht bei sehr kleinen Teilchen – heutige Bezeichnung: Plasmonen – in Wechselwirkung. Dies wird heute auch als plasmonische Resonanz bezeichnet. Durch Absorption des Lichtes – der plasmonischen Absorption – werden Farben in Abhängigkeit von der Größe der Partikel sichtbar. Die Schärfe der Farben ist von den dielektrischen Eigenschaften des Metalls abhängig und daher bei Silber und Gold besonders gut ausgeprägt.

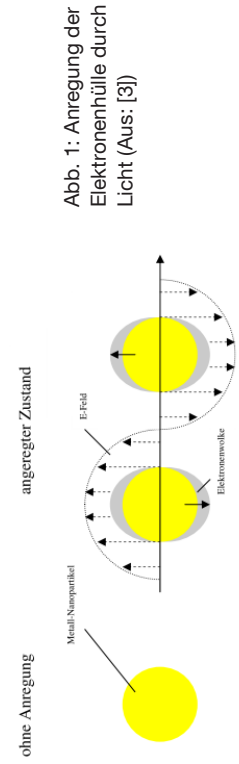


Abb. 1: Anregung der Elektronenhölle durch Licht (Aus: [3])

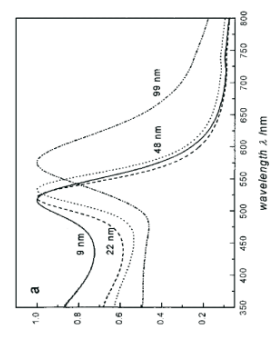


Abb. 2: Abhängigkeit der Wellenlänge von der Größe der citrat-stabilisierten Goldnanopartikel (Aus: [3])

## LITERATUR

[1] J. Turkevich, P. C. Stevenson, J. Hillier, A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold, *Discuss. Faraday. Soc.* **11**, 55 – 75 (1951)

[2] G. Mie, Beitrag zur Physik trüber Lösungen, speziell kolloidaler Metallösungen. *Annalen der Physik* **25** (4), 370 – 445 (1908)

[3] A. Schäfer, Über neue Synthesewege für ultrakleine, fluoreszente »Gold-Nanopartikel« und deren Einbau in Materialien, Diss. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (2008)





### GERÄTE

- Erlenmeyerkolben (V = 250 ml)
- Becher (V = 50 ml)
- Mikrowellengerät
- Einmalspritze 50 ml
- Insulinspritze
- PP-Einmalpipette
- Spritzflasche mit dest. Wasser
- Lederhandschuh
- Laserpointer rot

### CHEMIKALIEN

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung (w = 1%)
- Trinatriumcitrat-Lösung (w = 1%)

### ABBILDUNG



### DURCHFÜHRUNG

Trinatriumcitrat-Lösung wirkt bei Siedehitze reduzierend und spaltet dabei  $\text{CO}_2$  ab. Der Erlenmeyerkolben wird mit 30 ml dest. Wasser befüllt und mithilfe der Insulinspritze 0,3 ml der Tetrachlorogoldsäure-Lösung zugemischt. Zu der Lösung wird mithilfe der PP-Einmalpipette 1,5 ml Trinatriumcitrat-Lösung gegeben. Die Leistung des Mikrowellengeräts wird auf 360 W eingestellt und der Erlenmeyerkolben im Gerät platziert. Die Betriebsdauer wird zunächst auf 2 min eingestellt und das Ergebnis beobachtet. Sollte die Färbung noch nicht intensiv sein wird 1 min nachgeheizt. Der heiße Erlenmeyerkolben kann mit dem Lederhandschuh angefasst werden. Mit dem roten Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

### BEOBACHTUNG

**Verfärbung:**  
Die Lösung verfärbt sich rot.

**Während des Erhitzens in dem Mikrowellengerät:**  
Die Lösung beginnt zu siedeln.

**Verlauf des Laserstrahls:**  
Streuung (Farraday-Tyndall-Effekt)

### ERLÄUTERUNG

**Woher rührt die Verfärbung?**  
Die rötliche Färbung rührt von den Gold-Nanopartikeln her.

**Begründe die Beobachtung zum Verlauf des Laserstrahls:**  
Der Laserstrahl stößt auf die Gold-Nanopartikel; Faraday-Tyndall-Effekt wegen der gebildeten Gold-Nanopartikel

**Citrate zersetzen sich bei Redox-Reaktionen.**  
**Woher rührt die Gasentwicklung?**  
Die Gasentwicklung kommt vom angespaltenen  $\text{CO}_2$ .



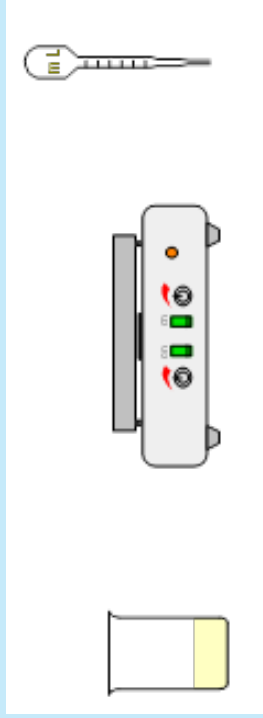
### GERÄTE

- 2 Bechergläser (V = 25 ml)
- Becherglas (V = 250 ml)
- Erlenmeyerkolben (V = 250 ml)
- Trichter
- Filterpapier
- Einmalspritze 20 ml
- Insulinspritze
- Spatel
- Laserpointer

### CHEMIKALIEN

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung  
 $c = 10^{-4}$  mol/l
- Gerbsäure
- Grüner Tee im Beutel
- Rotwein
- Dest. Wasser

### ABBILDUNG



### DURCHFÜHRUNG

In die Bechergläser kommt je 10 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung: In 10 ml dest. Wasser wird 0,1 ml Tetrachlorogoldsäure ( $w = 1\%$ ) mit der Insulinspritze gespült.

**ROTWEIN-VARIANTE:** 10 ml Tetrachlorogoldsäure-Lösung wird in das Becherglas gefüllt und auf dem Magnetheizrührer zum Sieden erhitzt. Der trockene Rotwein wird bis zur Färbung der Lösungen langsam zuge tropft.

Eine Bildprobe mit einem Körnchen Gerbsäure wird parallel dazu durchgeführt.

**TEE-VARIANTE:** Ein Beutel Grüner Tee wird für 5 Min in 100 ml dest. Wasser gelegt und in den Erlenmeyerkolben filtriert. Von diesem Extrakt werden 5 ml entnommen und in das kleine Becherglas gegeben.

Zum Teeextrakt wird tropfenweise 1 ml der Tetrachlorogoldsäure-Lösung gegeben.

### BEOBACHTUNG

**Beobachte die Entstehung der Farben bei den unterschiedlichen Antioxidanzien.**

Nach einiger Zeit verfärbt sich die siedende Lösung rötlich. Beim Tee geht es sehr schnell.

**Verlauf des Laserstrahls:**

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt Nanopartikel nachweisen.

### ERLÄUTERUNG

**Wie kommt es zur Verfärbung?**

Die rötliche Färbung rührt von den Gold-Nanopartikeln her.

**Begründe Deine Beobachtung zum Verlauf des Laserstrahls:**

Der Laserstrahl stößt auf die Gold-Nanopartikel: Faraday-Tyndall-Effekt wegen der gebildeten Gold-Nanopartikel

### ANMERKUNGEN

Tannine im Rotwein und andere Gerbstoffe im Tee wirken reduzierend. Das liegt an den phenolischen OH-Gruppen in diesen Stoffen.







# N10 Nano

## Gold-Nanopartikel: Synthese mit Antioxidanzien



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19 240 · Telefax: 089.41 402 467

### EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in Schutzstufe mg/m <sup>3</sup>
Tetrachlorogold(III)-säure	Gefahr	 	H314 H317	P280 P302 P352 P305 P351 P338 P310 P422	-

### SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN







Entfällt

### GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Sonstige Gefahren:	
	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

Die Tetrachlorogold(III)säure-Lösung liegt in so starker Verdünnung vor dass keine Gefährdung angenommen werden muss.  
Das Tragen von Handschuhen ist wegen der möglichen Photoreduktion sinnvoll.

### ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindest-standards)	 Schutzbrille	 Schutzhandschuhe	 Abzug	 geschlossenes System	 Lüftungsmaßnahmen	 Weitere Maßnahmen:
X	X	X				

### H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

**H314** Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

**H317** Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

**P280** Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen.

**P302 + P352** Bei Berührung mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.

**P305 + P351 + P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.

**P310** Sofort Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.

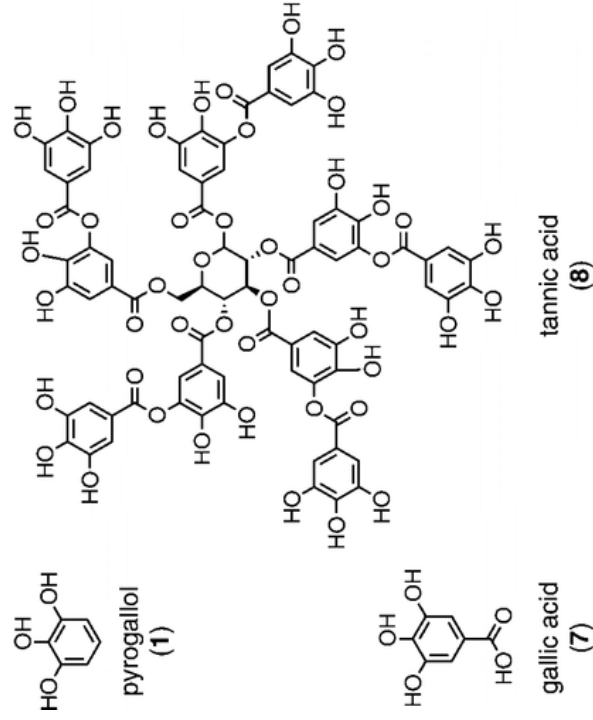
**P422** Inhalte unter Inertgas aufbewahren.

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

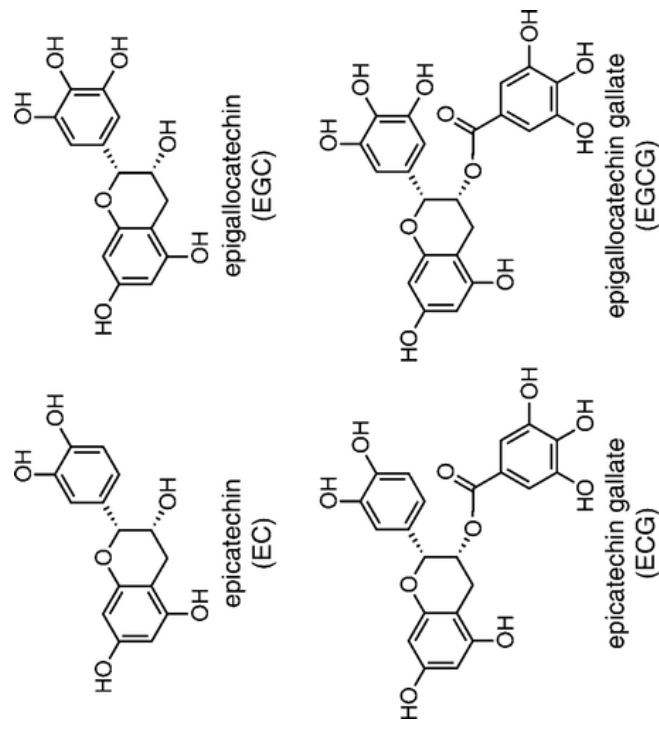
Tannine und andere Gerbstoffe wirken reduzierend. Das liegt an den vielen phenolischen OH-Gruppen in den Molekülen:



**Abb 1:** Tannine und andere Gerbstoffe (Aus: [3])  
Rotweine [1] enthalten mehr oder weniger viele Tannine.

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Ähnlich verhält es sich mit Tee: Die in ihm enthaltenen Catechine wirken ebenfalls reduzierend.



**Abb. 2:** Catechine des Tees (Aus: [3])

Im Journal of Chemical Education erschien ein Beitrag zur Darstellung von Gold-Kolloiden aus Teeextrakten [2]. Die indischen Autoren verwendeten kalt extrahierten Darjeeling-Tee. Da im grünen Tee der Anteil der Catechine noch höher ist, bietet es sich an, das Experiment damit durchzuführen.

Die Reaktionen verlaufen in der Kälte ab.

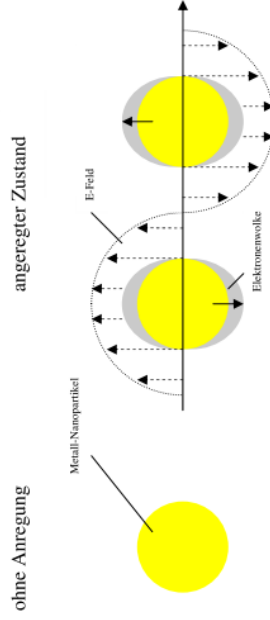
# Gold-Nanopartikel: Synthese mit Antioxidanzien

**N10**  
Nano

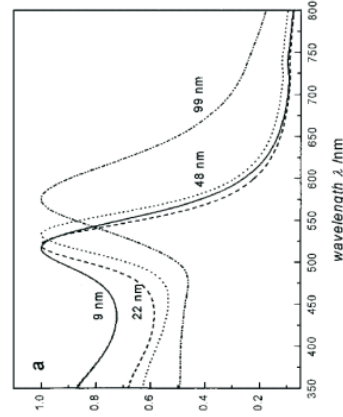
## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Für die Farbigkeit dieser kleinsten Partikel gibt es aus Anfang des vorherigen Jahrhunderts eine klassische Erklärung des damals in Greifswald lehrenden Physikers Mie, die auf der Maxwell'schen Elektrodynamik beruht [4].

Metallpartikel besitzen eine Elektronengashölle und die tritt mit Licht bei sehr kleinen Teilchen – heutige Bezeichnung: Plasmonen – in Wechselwirkung. Dies wird heute auch als plasmonische Resonanz bezeichnet. Durch Absorption des Lichtes – der plasmonischen Absorption – werden Farben in Abhängigkeit von der Größe der Partikel sichtbar. Die Schärfe der Farben ist von den dielektrischen Eigenschaften des Metalls abhängig und daher bei Silber und Gold besonders gut ausgeprägt.



**Abb. 3:** Anregung der Elektronenhölle durch Licht (Aus: [5])



**Abb. 4:** Abhängigkeit der Wellenlänge von der Größe der citrat-stabilisierten Gold-nanopartikel (Aus: [5])

## LITERATUR

[1] H.-D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle, Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 5. Aufl, Springer Berlin, 907 (2007)

[2] R.K.Sharma, S. Gulati, S. Mehta, Preparation of Gold Nanoparticles Using Tea: A Green Chemistry Experiment, J. Chem. Ed. **88**, 1316 – 1318 (2012)

[3] G. Panzarasa, K. Sparnacci, Glowing Teacup Demonstration: Trautz-Schorigin Reaction of Natural Polyphenols, J. Chem. Ed. **88**, 1297 – 1300 (2012)

[4] G. Mie, Beitrag zur Physik trüber Lösungen, speziell kolloidaler Metallösungen. Annalen der Physik **25** (4), 370 – 445 (1908)

[5] A. Schäfer, Über neue Synthesewege für ultrakleine, fluoreszente »Gold-Nanopartikel« und deren Einbau in Materialien, Diss. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (2008)

## NOTIZEN

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# Gold-Nanopartikel: Synthese durch Reduktion mit CO

N11  
Nano



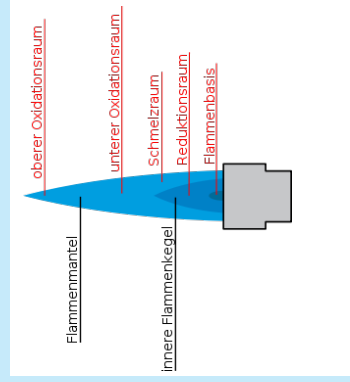
## GERÄTE

- Becherglas (V = 25 ml)
- Insulinspritze
- Mikrobrenner Propan
- Spatel
- Laserpointer

## CHEMIKALIEN

- Tetrachlorogoldsäure-Lösung  
 $c = 10^{-4} \text{ mol/l}$

## ABBILDUNG



Flammenbasis: Propan  
Reduktionsraum: CO



## DURCHFÜHRUNG

Das Becherglas wird fast randvoll mit dest. Wasser gefüllt und mit der Insulinspritze 0,1 ml Tetrachlorogoldsäure ( $w = 1\%$ ) hineingespült.

Halte den Propangasbrenner im Winkel von  $45^\circ$  mit dem reduzierenden Teil der Flamme in die Tetrachlorogoldsäure-Lösung bis die Färbung beginnt.

Mit dem Laserpointer wird auf Nanopartikel getestet.

## BEOBACHTUNG

### Beobachte die Entstehung der Farbschichten:

Nach einiger Zeit verfärbt sich die Lösung schichtweise blauviolett.

### Verlauf des Lichtstrahls des Laserpointers:

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt Nanopartikel nachweisen.

## ERLÄUTERUNG

### Wie kommt es zur Verfärbung?

Die blau-violette Färbung rührt von den Gold-Nanopartikeln her.

### Begründe Deine Beobachtung zum Verlauf des Laserstrahls:

Der Laserstrahl stößt auf die Gold-Nanopartikel: Faraday-Tyndall-Effekt wegen der gebildeten Gold-Nanopartikel

## ANMERKUNGEN

Die Reduktion von Metallionen mit einer Brennerflamme wurde bereits ab 1905 durch Donau beschrieben [1, 2]. Er benutzte reines CO, aus Oxalsäure und Schwefelsäure dargestellt. Später wurden auch Leuchtgas- und Wasserstoffflammen verwendet. Bei letzteren entstand reduzierendes Stickoxid.

[1] J. Donau, Über eine rote, mittels Kohlenoxyd erhaltene kolloidale Goldlösung, Monatshefte für Chemie **25**, 525-530 (1905)

[2] J. Donau, Kolloid-Zeitschr. **16**, 81. Über die Bildung kolloider Lösungen mittels Flammen oder elektrischer Entladungsfunken (1915)



# Gold-Nanopartikel: Synthese durch Reduktion mit CO



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

# N11 Nano

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in Schutzstufe mg/m <sup>3</sup>
Tetrachlorogold(III)-säure	Gefahr		H314 H317	P280 P302 P352 P305 P351 P338 P310 P422	-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Sonstige Gefahren:	
	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

Die Tetrachlorogold(III)säure-Lösung liegt in so starker Verdünnung vor dass keine Gefährdung angenommen werden muss.  
Das Tragen von Handschuhen ist wegen der möglichen Photoreduktion sinnvoll.

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Vorschriftenstandards)	Schutzbrille	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X					

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Gefahrenhinweise – H-Sätze

H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.  
H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

### Sicherheitshinweise – P-Sätze

P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.  
P302 + P352 Bei Berührung mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.  
P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.  
P310 Sofort Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.  
P422 Inhalte unter Inertgas aufbewahren.

# Gold-Nanopartikel: Synthese durch Reduktion mit CO

## N11 Nano

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Für die Schule bietet sich ein kleiner Propangasbrenner an, dessen Reduktionsflamme sehr gut sichtbar ist.

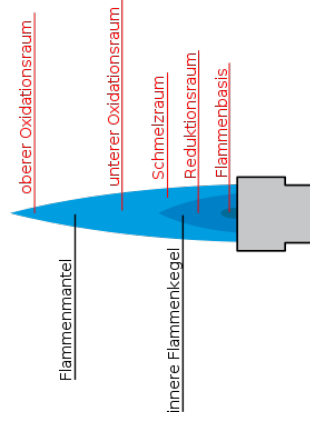
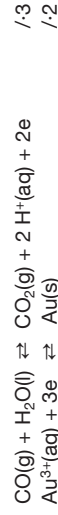


Abb. 1: Zonen der Gasflamme (Aus: Wikipedia)

Er wird einfach im Winkel von 45° in die stark verdünnte Goldchlorid-Lösung gehalten. Es entstehen relativ große Gold-Nanopartikel, die sich schichtweise bilden. Im Reduktionsraum der Flamme befindet sich CO.

Redoxreaktion:



### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Für die Farbigkeit dieser kleinsten Partikel gibt es aus Anfang des vorherigen Jahrhunderts eine klassische Erklärung des damals in Greifswald lehrenden Physikers Mie, die auf der Maxwell'schen Elektrodynamik beruht [3].

Metalpartikel besitzen eine Elektronengashölle und die tritt mit Licht bei sehr kleinen Teilchen – heutige Bezeichnung: Plasmonen – in Wechselwirkung. Dies wird heute auch als plasmonische Resonanz bezeichnet. Durch Absorption des Lichtes – der plasmonischen Absorption – werden Farben in Abhängigkeit von der Größe der Partikel sichtbar. Die Schärfe der Farben ist von den dielektrischen Eigenschaften des Metalls abhängig und daher bei Silber und Gold besonders gut ausgeprägt.

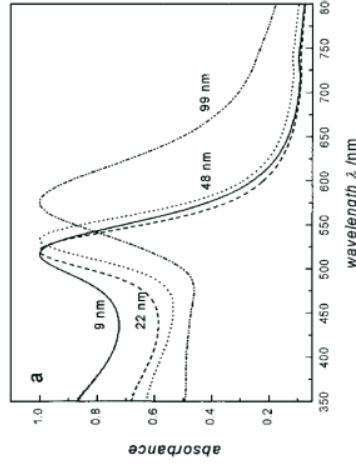


Abb. 1: Abhängigkeit der Wellenlänge von der Größe der citrat-stabilisierten Goldnanopartikel (Aus: [4])

### LITERATUR

- [3] G. Mie, Beitrag zur Physik trüber Lösungen, speziell kolloidaler Metallösungen. Annalen der Physik **25** (4), 370 – 445 (1908)
- [4] A. Schäfer, Über neue Synthesewege für ultrakleine, fluoreszente »Gold-Nanopartikel« und deren Einbau in Materialien, Diss. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (2008)



## Beschichtung von Oberflächen mit dem Sol-Gel-Verfahren



### GERÄTE

- PP-Becherglas 50 ml
- Objektträger
- Grillmotor für Dip-Coating
- Küchenkrepp
- Schutzhandschuhe

### CHEMIKALIEN

- Tetraethylorthosilikat (TEOS)
- 2-Propanol
- HNO<sub>3</sub> (c = 3 mol/l)
- Nichtionisches Tensid (Somat®)

### ABBILDUNG



Low-Cost  
Dip-In-Coater  
Grillmotor



### DURCHFÜHRUNG

Es wird eine Lösung hergestellt aus:

- 30 Vol% Silicium-Alkoholate (z.B. Tetraethylorthosilikat TEOS)
- 65 Vol% Alkohol (Ethanol oder 2-Propanol)
- 5 Vol% verd. Säure (HNO<sub>3</sub> c = 3 mol/l)
- 10 Tropfen Tensid-Lösung (nichtionisch)

Die Lösung wird in ein PP-Becherglas gegeben. An der Achse des Dip-In-Geräts (Grillmotor) wird mithilfe eines Clips ein sauberer Objektträger befestigt. Der Objektträger wird gleichmäßig in die Beschichtungslösung eingetaucht und wieder herausgezogen.

Die Kanten des Objektträgers werden mit Küchenkrepp getrocknet und der beschichtete Objektträger an der Luft geschwenkt, bis der Alkohol verdunstet ist.

### BEOBACHTUNG

#### Veränderung der Glasoberfläche:

Auf der Glasoberfläche entsteht eine hauchdünne Schicht mit Regenbogenfarben.

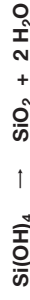
### ERLÄUTERUNG

Wenn kleinste Teilchen in einem Lösungsmittel schweben spricht man von einem **Sol**. Aggregieren die Teilchen unter Einschluss des Lösungsmittels zu einem festen Zustand so spricht man von einem **Gel**.

Das Tetraethylorthosilikat (TEOS) polykondensiert unter dem Einfluss von Säure zu einer Glasschicht:



Aus dem Sol entstehen über ein Gel im sauren Milieu nanoskallige SiO<sub>2</sub>-Knäuel (Glas):



Durch Verdunstung des Alkohols und einer chemischen Reaktion entsteht durch Polykondensation eine Glasschicht.

### ANMERKUNGEN

Die Beschichtung ergibt eine Anti-Reflex-Schicht. Will man sie besonders dünn und haftbar einstellen, so wird das Sol im Verhältnis 12:8 mit Alkohol verdünnt.

Die Oberfläche härtet bereits nach kurzer Lufttrocknung aus, kann jedoch noch im Trockenofen bei 150 – 250°C nachgehärtet werden. Danach zeigt sie kratzfesten Eigenschaften.

Funktionalisieren lässt sich die Beschichtung durch reaktive Fluor-Verbindungen aus der Zonyl®-Familie von Dupont, die mit den freien OH-Gruppen reagieren. Es entstehen dann superhydrophobe und oleophobe Oberflächen, so genannte Easy-to-Clean-Beschichtungen.



# Beschichtung von Oberflächen mit dem Sol-Gel-Verfahren

# N12a Nano



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in Schutzstufe mg/m <sup>3</sup>
Tetraethylorthosilikat (TEOS)	Achtung		H226 H319 H332 H335	P261 P305+P351+P338	170
2-Propanol	Gefahr		H225 H319 H336	P210 P280 P305+P351+P338	500
HNO <sub>3</sub> (c = 3 mol/l)	Achtung		H290 H314	P260 P280 P303+P361+P353 P305+P351+P338 P310	2,6

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFÄHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen	X	
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr	X	
Explosionsgefahr		X

Sonstige Gefahren:	
Es liegt durch Verdünnung nur eine 0,015 molare Salpetersäure vor.	

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzbrille	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X					

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Tetraethylorthosilikat:

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H226 Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
- H319 Verursacht schwere Augenreizung.
- H332 Gesundheitsschädlich bei Einatmen.
- H335 Kann die Atemwege reizen.

#### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P261 Einatmen von Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol vermeiden.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vor-handene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

### 2-Propanol:

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
- H319 Verursacht schwere Augenreizung.
- H336 Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.

#### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P210 Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.
- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vor-handene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

### Salpetersäure 3 mol/l:

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.
- H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

#### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P260 Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.
- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P303 + P361 + P353 Bei Kontakt mit der Haut (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
- P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- P310 Sofort Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen.





# Berliner Blau: Vom Sol zum Gel

## N12b Nano



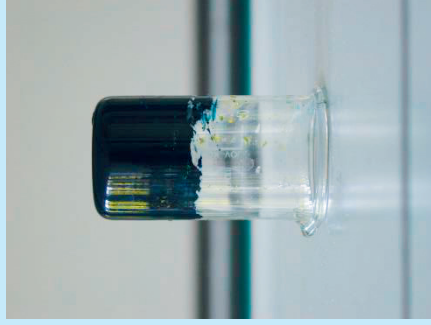
### GERÄTE

- 2 Bechergläser (V = 400 ml)
- Becherglas hohe Form (V = 25 ml)
- PP-Einmalpipette
- Glasstab
- Spritzflasche
- Laserpointer grün

### CHEMIKALIEN

- $K_4[Fe(CN)_6]$ -Lösung, gesättigt (w = 20%)
- $FeCl_3$ -Lösung, gesättigt (w = 47%)

### ABBILDUNG



### BEOBACHTUNG

**Experiment 1: Es bildet sich ein tiefblaues Gel.**

**Experiment 2: Es entsteht eine klare Lösung (Sol)**

Mit dem Laserpointer lassen sich über den Faraday-Tyndall-Effekt Nanopartikel nachweisen.

### ERLÄUTERUNG

Wenn kleinste Teilchen in einem Lösungsmittel schweben spricht man von einem **Sol**. Aggregieren die Teilchen unter Einschluss des Lösungsmittels zu einem festen Zustand so spricht man von einem **Gel**.

In der chemischen Nanotechnologie spricht man vom Sol-Gel-Verfahren, wenn mithilfe eines Sols eine Oberfläche beschichtet wird. Mit dem Verdunsten des Lösungsmittels entsteht dann auf der Oberfläche ein Gel.

Das Sol-Gel-Verfahren ist das bedeutendste Verfahren der chemischen Nanotechnologie.

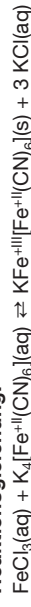
**Wovon hängt die Bildung eines Sols oder Gels ab?**

Sie hängt von der Konzentration der Edukte ab.

### ANMERKUNGEN

Die komplexe Verbindung Berliner Blau ist ein Kolloid. Wolfgang Ostwald hat die Reaktion zwischen dem gelben Blutlaugensalz und Eisen(III)chlorid bei seiner Vortragsreise durch die USA 1913/14 als Beispiel für die Bildung eines Sols und Gels vorgeführt: Zu einer gesättigten Lösung von gelbem Blutlaugensalz wird unter Rühren eine gesättigten Eisen(III)chlorid-Lösung gegeben und es entsteht ein Gel.

**Reaktionsgleichung:**



### DURCHFÜHRUNG

**Es werden zwei Experimente durchgeführt:**

1. Zu 10 ml  $K_4[Fe(CN)_6]$ -Lösung wird tropfenweise max. 2 ml  $FeCl_3$ -Lösung unter Rühren zugegeben bis ein Brei entsteht.
2. Mit dem Glasstab wird aus Versuch 1 eine Probe entnommen und in 200 ml  $H_2O$  verrührt.



# Berliner Blau: Vom Sol zum Gel

# N12b Nano



**Notrufnummer:** Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in Schutzstufe (mg/m <sup>3</sup> )
Eisen(III)chlorid	Gefahr		H302, H315, H318	P280 P302+P352 P305+P351+P338	-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr		X
Explosionsgefahr		X

<b>Sonstige Gefahren:</b>	
Gesättigte Eisen(III)chlorid-Lösung ist stark ätzend.	

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Entfällt

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzhülle	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandenschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X					

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H302** Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
- H315** Verursacht Hautreizungen.
- H318** Verursacht schwere Augenschäden.

### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P280** Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen.
- P302 + P352** Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P305 + P351 + P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Die komplexe Verbindung Berliner Blau ist ein Kolloid. Wolfgang Ostwald hat die Reaktion zwischen dem gelben Blutlaugensalz und Eisen(III)chlorid bei seiner Vortragsreise durch die USA 1913/14 als Beispiel für die Bildung eines Sols und Gels vorgeführt. Zu einer gesättigten Lösung von gelbem Blutlaugensalz wird unter Rühren eine gesättigten Eisen(III)chlorid-Lösung gegeben und es entsteht ein Gel. Er hat das im großen Maßstab in einem Glasbecher vorgeführt und diesen dann umgestülpt [1].

Detaillierte Beschreibungen des Übergangs vom Sol zum Gel befinden sich in seinem Praktikumsbuch [2].

Die intensive blaue Farbe der komplexen Verbindungen rührt von charge-transfer-Vorgängen auf der Ebene der d-Elektronen her.

### Reaktionsgleichung:



## LITERATUR

[1] W. Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen, 9./10. Aufl., Theodor Steinkopf Verlag Dresden und Leipzig, S. 25 (1927)

[2] W. Ostwald, Kleines Praktikum der Kolloidchemie, 9. Aufl., Theodor Steinkopf Verlag Dresden und Leipzig, S. 7 u. 18 (1943)

Schule ..... Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

# Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel

## N13 Nano



### GERÄTE

- Zentrifugenrohr PP (V = 50 ml)
- Objektträger
- Tesafilm
- PP-Einmalpipette
- Schutzhandschuhe
- Insulinspritze
- Laborboy
- Notebook und Webcam

### CHEMIKALIEN

- Trichlormethylsilan 2-Propanol
- 1,1,1-Trichloroctadecylsilan
- Dest. Wasser

### ABBILDUNG



### DURCHFÜHRUNG

Der Objektträger muss Maschinen gereinigt sein. Der obere Rand wird mit Tesafilm beklebt.

Das Experiment muss unterm Abzug durchgeführt werden.

In das Zentrifugenrohr wird ein Tropfen des chlorierten Silans gegeben und der Objektträger hinein gestellt.

Das Zentrifugenrohr wird verschlossen.

Nach 20 – 30 Minuten wird der Objektträger entnommen und der Tesafilmstreifen entfernt. Mithilfe der Insulinspritze wird ein kleiner Wassertropfen aufgebracht.

Der Objektträger ist nunmehr auf der benetzten Reaktionsfläche hydrophob, auf der unbehandelten bleibt er superhydrophil.

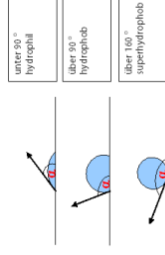
### BEOBACHTUNG

Skizziere die Form des Wassertropfens:

Schätze den Benetzungswinkel ab:

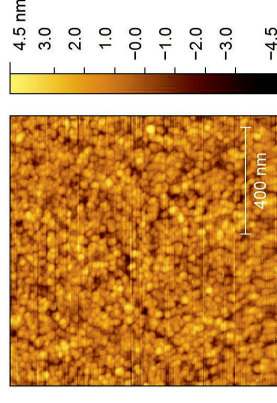
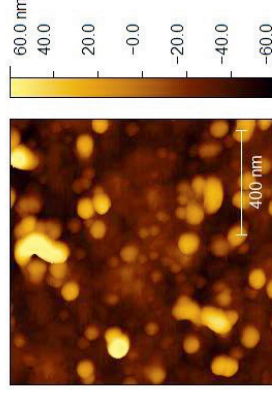
### ERLÄUTERUNG

Ordne die Eigenschaft der funktionalisierten Glasoberfläche zu:



- Die beschichtete Oberfläche ist hydrophob.

Die Abbildungen zeigen AFM-Aufnahmen vor und nach der Behandlung der Glasoberfläche mit Trichlormethylsilan:



**Vor der Behandlung**

**Nach der Behandlung**

Worin könnte die Ursache für die Funktionalisierung liegen? Das unpolare Silanmolekül.

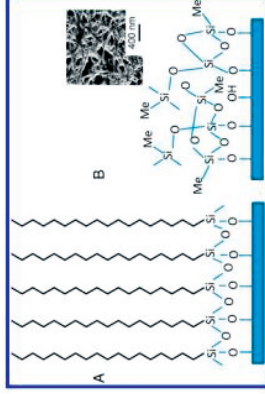
### ANMERKUNGEN

An der Oberfläche von Glas befinden sich OH-Gruppen, die mit chlorierten Silanen reagieren können:



Bei langkettigen Alkylresten richten sich diese linear aus und sorgen für Hydrophobie. Mit Wasserspuren bilden sich Silanole, die untereinander kondensieren (Abb., Teil A).

Im Falle von Trichlormethylsilan reagieren alle Chlorsubstituenten und es kommt im Beisein von Wasserspuren zu räumlichen Vernetzungen (Abb., Teil B). Das Ergebnis ist eine Superhydrophobie:



Aus: J.X.H. Wong und H.-Z. Yu, Preparation of Transparent Superhydrophobic Glass Slides: Demonstration of Surface Chemistry Characteristics. J. Chem. Educ. 90, 1203-1206 (2013)

**A:** Reaktion mit Trichloroctadecylsilan

**B:** Reaktion mit Trichlormethylsilan

Das eingebettete Bild zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der beschichteten Glasoberfläche



Nach Beendigung der Versuche können die beschichteten Objektträger mitgenommen werden.

### EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Trichlormethylsilan	Gefahr		H225 H315 H319 H335	P302+P352 P304+P340 P305+P351+P338 P403+P235		-
1,1-Dichloroctadecylsilan	Gefahr		H314	P280 P301+P310+P331 P305+P351+P338 P309+P310		-

### SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

### GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Sonstige Gefahren:	
	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen	X	
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr	X	
Explosionsgefahr		X

Beide Stoffe reagieren mit feuchter Luft unter Abspaltung von HCl.

### ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandard)	Schutzhülle	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brenndeschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X	X				

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

# Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel

# N13 Nano

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Trichlormethylsilan

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

**H225** Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.

**H315** Verursacht Hautreizungen.

**H319** Verursacht schwere Augenreizung.

**H335** Kann die Atemwege reizen.

Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

**P302 + P352** Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.

**P304 + P340** Bei Einatmen: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.

**P305 + P351 + P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

**P403 + P235** Kühl an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

### Trichloroctadecylsilan

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

**H314** Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

**P280** Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.

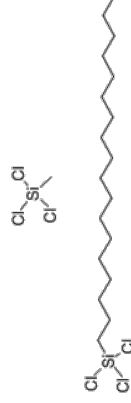
**P301 + P310 + P331** Bei Verschlucken Mund ausspülen. Kein Erbrechen herbeiführen.

**P305 + P351 + P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

**P309 + P310** Bei Exposition oder Unwohlsein: Giftnormales Zentrum oder Arzt anrufen.

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Glasoberflächen können durch Beschichtung funktionalisiert werden. Eine typische Funktion ist die Hydrophobie. Dafür werden für die Beschichtung Substanzen benötigt, die mit dem Glas reagieren und gleichzeitig hydrophobe Eigenschaften besitzen. Bewährt haben sich Trichlormethylsilan und Octadecyltrichlorsilan:



Die reinen Substanzen reagieren bereits heftig mit der Luftfeuchtigkeit unter Abspaltung von HCl. Daher müssen alle Experimente unterm Abzug durchgeführt werden. Zur Anschauung werden Maschinen gereinigte Objektträger verwendet. Sie zeigen superhydrophile Eigenschaften, die nicht beständig sind.

### Die Funktionalisierung kann in zwei Variationen durchgeführt werden:

#### 1. Mit reinem Chlorsilan [1]:

1 Tropfen des Chlorsilans wird in ein Zentrifugenrohr aus PP überführt und der Objektträger hinein gestellt. Das Rohr wird verschlossen und der Objektträger nach dem Experiment entnommen;

#### 2. Mit einer 1%igen toluolischen Lösung [2,3]:

In die Lösung wird der Objektträger getaucht und nach wenigen Minuten wieder heraus gezogen. Nach dem Abdampfen des Toluols ist der Objektträger beschichtet. Die Reaktion kann mit 0,5% rauch. HCl beschleunigt werden.

Die zweite Variante ist sehr schnell, jedoch wegen des Lösungsmittels problematisch. Mit einem Tropfen Wasser wird die Funktionalisierung überprüft.



# Hydrophobierung einer Glasoberfläche ohne Lösungsmittel

**N13**  
Nano

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

### Bezugsquellen:

Zentrifugenrohr 50 ml mit Stehrand: ROTH XH99.2 netto 68,25 €/300 St.  
Trichlormethylsilan und Octadecyltrichlorosilan: MERCK

## LITERATUR

[1] F. Deyhimi und J.A.Coles, Rapid Silylation of a Glass Surface: Choice of Reagent and Effect of Experimental Parameters on Hydrophobicity, *Helv. Chim. Acta* 65, 1752–1759 (1982)

[2] J.X.H. Wong, H. Asanuma und H.-Z. Yu, Simple and reproducible method of preparing transparent superhydrophobic glass. *Thin Solid Films* 522, 159–163 (2012)

[3] J.X.H. Wong und H.-Z. Yu, Preparation of Transparent Superhydrophobic Glass Slides: Demonstration of Surface Chemistry Characteristics. *J. Chem. Educ.* 90, 1203–1206 (2013)

In der Literatur wird auch die klassische Methode zur Reinigung der Glasoberfläche angegeben.

### ACHTUNG:

- **Diese Reinigung der Objektträger darf nur durch die Lehrkraft erfolgen.**
- **Die Reinigung und Beschichtung erfolgen unter dem Abzug.**
- **Beim Experimentieren werden Schutzhandschuhe getragen.**

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

### Herstellung einer superhydrophilen Glasoberfläche

#### Pirana-Säure (Carosche Säure):

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> konz. und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% werden sehr vorsichtig im Verhältnis 3 : 1 gemischt. In die Pirana-Säure wird für 1 Stunde ein Objektträger gestellt.

#### Pirana-Base:

Ammoniak-Lösung konz. und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% werden sehr vorsichtig im Verhältnis 1 : 1 gemischt. Der Objektträger wird der Pirana-Säure entnommen und in der Pirana-Base und 1 Stunde stehen gelassen. Danach wird der Objektträger mit Wasser abgespült. Er ist jetzt superhydrophil.

**Diese Funktionalisierung entspricht den Angaben in der Literatur. Die ist für die Schule ungeeignet. Es hat sich heraus gestellt, dass in der Spülmaschine gereinigte Objektträger ebenfalls superhydrophobe Eigenschaften aufweisen.**

## LITERATUR

[1] G. A. Ozin, André C. Arsenault und L. Cademartiri, *Nanochemistry – a chemical approach to nanomaterials*, 2nd Ed., Royal Society of Chemistry, Cambridge (GB) 2009

[2] L. Cademartiri und G. A. Ozin, *Concepts of Nanochemistry*, Wiley-VCH, Weinheim 2009

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Bestimmung des Grenzwinkels der Benetzung mit ImageJ:

Das Programm öffnet sich mit einer Toolbar. Über der Toolbar steht eine Kommandozeile. Mit File → Open wird die Bilddatei geöffnet:



Das Bild wurde mit der Webcam aufgenommen und mit Gimp2 horizontal ausgerichtet.

Auf der **Toolbar** befindet sich ein **Winkelsymbol**:



Dieses Symbol wird mit Doppelklick angesteuert:

Es öffnet sich ein Fenster: **Angle Tool**

Der Reiter **Measure Reflex Angle** darf nicht gesetzt werden.

Nun wird auf dem Bild mit der Maus ein schwarzes Kreuz bewegt.

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Ziel: Eine Waagerechte zeichnen

Mit dem ersten Klick wird der Ausgangspunkt festgelegt, dann wird eine Waagerechte von links zur rechten Ecke gezogen.

Dabei wird unterhalb der Toolbar der Winkel angezeigt. Der **Winkel 0** wird dann an der **Grenzfläche mit einem Mausclick fixiert**: Es erscheint eine gelbe Linie.

Nun wird diese Linie an der Grenzfläche wie eine Tangente entlang geführt und mit einem Mausclick fixiert. Es erscheint eine weitere gelbe Linie.

Unterhalb der Toolbar erscheint der Grenzwinkel, er verschwindet jedoch wieder.



Durch Drücken der **Taste M** wird der Wert erfasst (Alternative: Analyze → Measure) **Window → Show All** lässt eine **Tabelle mit dem Messwert erscheinen (Results)**

	Area	Mean	Min	Max	Angle
1	0	0	0	0	97.919
2	0	0	0	0	98.017
3	0	0	0	0	98.017

Mit einem rechten Mausclick lässt sich das Fenster speichern.



# Lithium-Ionen-Akku mit zwei Graphitminen (Dual-Carbon-Cell)

E14  
Energie

Lithium-Ionen-Akku mit zwei Graphitminen (Dual-Carbon-Cell)



## GERÄTE

- Kunststoffgefäß (tic-tac®-Behälter): 8 cm x 4,5 cm x 2 cm mit Bodenplatte
- Lüsterklemmen (passend für Graphitminen d = 3,15 mm)
- 2 Digitalmultimeter
- Schraubendreher (Phasenprüfer)
- Blockbatterie 4,5 V oder Trafo
- Schnellverbindungs-Mini-Krokodilklemmen
- Messleitungen 4 mm
- LED 5 mm ( $U_F = 3,2 \text{ V}$ ,  $I_F = 20 \text{ mA}$ )
- Summer
- Elektromotor RF 300 (Solarmotor,  $U = 0,4 - 5,9 \text{ V}$ ,  $I_{\text{min}} = 25 \text{ mA}$ ) mit Luftschraube
- Magnetrührer
- 2 Graphitminen Faber-Castell®, Härtegrad 6B (d = 3,15 mm, l = 13 cm)

## CHEMIKALIEN

- **Elektrolytlösung A:**  
Lithiumperchlorat in Propylencarbonat (c = 1 mol/L entspricht 10,6 g  $\text{LiClO}_4$  in 100 ml)
- **Elektrolytlösung B:**  
Lithiumperchlorat in Dimethylcarbonat (c = 1 mol/L entspricht 10,6 g  $\text{LiClO}_4$  in 100 ml)
- **Arbeitsvorschrift:** Salz in Lösungsmittel 20 Minuten bis zu vollständigen Lösung rühren
- Paraffin flüssig

## DURCHFÜHRUNG

**VARIANTE 1:** 40 ml der Elektrolytlösung A werden in das Kunststoffgefäß gefüllt und mit einer ca. 1 cm hohen Paraffinschicht bedeckt (Feuchtigkeitssperre). Der Versuch wird wie in der Abbildung dargestellt aufgebaut:

Die Graphitminen tauchen ca. 3,5 cm tief in den Elektrolyten ein und werden als +Pol bzw. -Pol geschaltet. Nun wird der Akkumulatort ca. 6 Minuten mit der Blockbatterie aufgeladen. Die anschließende Entladung kann über die LED, den Summer oder den Elektromotor erfolgen.

**Variante 2:** 40 ml eines Gemisches aus der Elektrolytlösung A (25 ml) und der Elektrolytlösung B (35 ml) werden in das Kunststoffgefäß gefüllt und mit einer ca. 1 cm hohen Paraffinschicht bedeckt (Feuchtigkeitssperre). Der Versuch wird wie ansonsten genauso wie Variante 1 aufgebaut und der Akkumulatort für 6 Min mit der Blockbatterie aufgeladen.

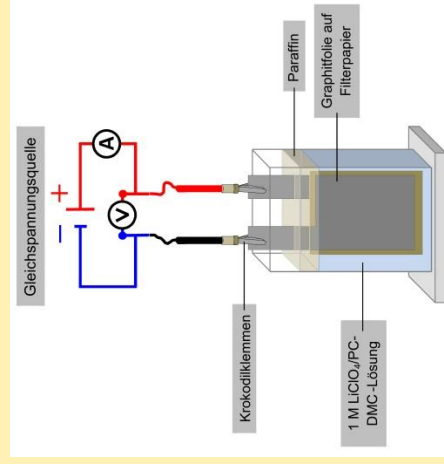
## BEOBACHTUNG

**Verlauf der Spannung:** Anfangsspannung ca. 4 V, danach Abfall auf ca. 2,5 Volt

**Entladungsdauer:** LED 5 Min, Summer 1,5 Min, Elektromotor 25 s

**Graphitminen:** Werden aufgeweitet, besonders am Minus-Pol (Li-Intercalation)  
Graphitmaterial löst sich ab (Exfoliation)

## ABBILDUNG



Die Akkus werden vollständig entladen. Die Graphitminen werden nach Gebrauch ca. einen Tag im Becherglas in Wasser gestellt und dann im Papierkorb entsorgt.

Die Elektrolyt-Lösungen können so lange verwendet werden, wie es gute Resultate gibt.

Das verunreinigte Wasser sowie die Elektrolyt-Lösungen werden im Abfallbehälter für organisch halogenhaltige Abfälle entsorgt.



# Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolien (Dual-Carbon-Cell)

**E15**  
Energie



## GERÄTE

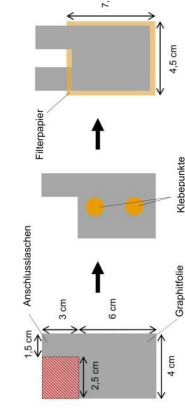
- Kunststoffgefäß (tic-tac®-Behälter): 8 cm x 4,5 cm x 2 cm mit Bodenplatte
- 2 Digitalmultimeter
- Blockbatterie 4,5 V oder Trafo
- Schnellverbindungs-Mini-Krokodilklemmen
- Messleitungen 4 mm
- Elektromotor RF 300 (Solarmotor, U = 0,4 – 5,9 V, I<sub>min</sub> = 25 mA) mit Luftschraube
- Magnetrührer
- Graphitfolien Keratherm®, 4 cm x 9 cm
- Filterpapier
- Schere

## CHEMIKALIEN

- **Elektrolytlösung A:**  
Lithiumperchlorat in Propylencarbonat (c = 1 mol/L entspricht 10,6 g LiClO<sub>4</sub> in 100 ml)
- **Elektrolytlösung B:**  
Lithiumperchlorat in Dimethylcarbonat (c = 1 mol/L entspricht 10,6 g LiClO<sub>4</sub> in 100 ml)
- **Arbeitsvorschrift:** Salz in Lösungsmittel 20 Minuten bis zu vollständigen Lösung rühren
- Gemisch aus 25 ml Lösung A und 35 ml Lösung B
- Paraffin flüssig

## DURCHFÜHRUNG

### Herstellung der Elektroden aus Graphitfolien:



Das Kunststoffgefäß wird so mit Elektrolytlösung befüllt, dass das Filterpapier gut durchtränkt ist und dann mit einer ca. 1 cm hohen Paraffinschicht bedeckt (Feuchtigkeitsperre).

Die Zelle wird ca. 6 Min mit der Blockbatterie mit einer Spannung von 4,5 V aufgeladen.

Danach wird sie an den Elektromotor angeschlossen.

## BEOBACHTUNG

**Verlauf der Spannung:** Die Spannung bleibt mehr als 3 Min konstant bei ca. 3,5 V  
**Entladungsdauer:** ca. 4 Minuten

## ERLÄUTERUNG

Beim Lithium-Ionen-Akku liegt das Lithium in Ionenform vor und es finden z.B. beim Li-LiMnO<sub>2</sub>-Typ folgende Reaktionen statt:



Ursache der Spannung bei Batterien sind immer Redox-Reaktionen.

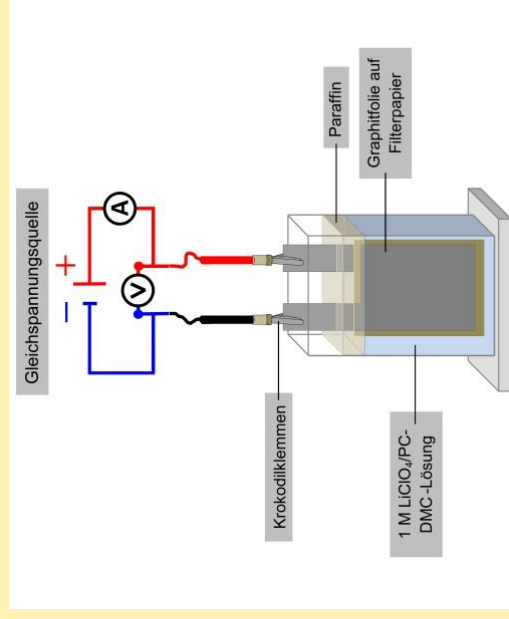
**Ursache der Spannung:** Redoxreaktion der Graphitminen und der Mangan-Ionen

**Entladungsdauer:** Hängt von der Oberfläche der Elektroden ab



Die Akkus werden vollständig entladen. Die Graphitminen werden nach Gebrauch ca. einen Tag im Becherglas in Wasser gestellt und dann im Papierkorb entsorgt. Die Elektrolyt-Lösungen können so lange verwendet werden, wie es gute Resultate gibt. Das verunreinigte Wasser sowie die Elektrolyt-Lösungen werden im Abfallbehälter für organisch halogenhaltige Abfälle entsorgt.

## ABBILDUNG



# Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolien (Dual-Carbon-Cell)

# E15

Energie



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19 240 · Telefax: 089.41 402 467

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in Schutzstufe mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Dimethylcarbonat	Gefahr		H225	P210 P280 P403+P235	1,1	-
Propylencarbonat	Achtung		H319	P280 P264 P305+P351+P338 P337+P313		-
Lithiumperchlorat	Gefahr		H272 H315 H319 H335	P220 P261 P305+P351+P338		-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Sonstige Gefahren:	
	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen		X
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr	X	
Explosionsgefahr		X

Die Lösung liegt feuchtigkeitsgeschützt unter flüssigem Paraffin vor.  
Die meisten Gefahren gehen vom reinen Lithiumperchlorat aus.

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindest- standards)	Schutzzone Schutz- handschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungs- maßnahmen	Brandschutz- maßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X					

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Dimethylcarbonat

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.

#### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

P210 Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.  
P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.  
P403 + P235 Kühl an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

### Propylencarbonat

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

H319 Verursacht schwere Augenreizung.

#### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.  
P264 Nach Gebrauch ... gründlich waschen.  
P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.  
P337 + P313 Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.

### Lithiumperchlorat

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

H272 Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel.

H315 Verursacht Hautreizungen.

H319 Verursacht schwere Augenreizung.

H335 Kann die Atemwege reizen.

#### Ergänzende Gefahren Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

P220 Von Kleidung/.../brennbaren Materialien fernhalten/entfernt aufbewahren.  
P261 Einatmen von Staub / Rauch / Gas / Nebel / Dampf / Aerosol vermeiden.  
P305 + P351 + P338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser

# Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolien (Dual-Carbon-Cell)

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

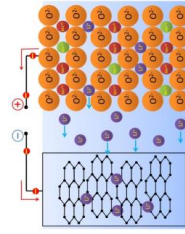
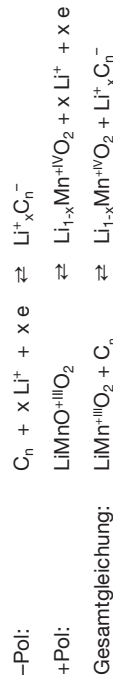
Lithium-Ionen-Akkumulatoren gelten derzeit als leistungsfähigste elektrochemische Energieträger. Die Forschung wird mit enormen Mitteln vorangetrieben, da Europa gegenüber Japan, Korea und China ins Hintertreffen geraten ist.

Schulexperimente dazu waren bis vor kurzem faktisch nicht möglich. Erst die Arbeiten von Oetken und Hasselmann seit 2011 haben dieses Thema für Schulen zugänglich gemacht.

Das Prinzip der Lithium-Ionen-Batterie unterscheidet sich fundamental von dem der Lithium-Batterien: Das Lithium-Metall kommt in der Reaktionsgleichung nicht vor. Die beteiligten Lithium-Ionen werden in das Elektrodenmaterial reversibel eingelagert (intercaliert). Sie wandern beim Lade-Entlade-Vorgang, es entsteht ein so genannter Schaukeleffekt.

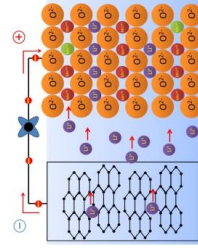
Als Elektrodenmaterial wird Graphit und einen Lithium-Spinell-Verbindung (z.B.  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{LiCoO}_2$ ) eingesetzt, als Elektrolyten kommen nichtwässrige, polare, aprotische Lösungsmittel (Propylencarbonat, Dimethylcarbonat) infrage, die mit einem Lithiumsalz (u.a.  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiPF}_6$ ) versetzt werden.

Der bekannteste Batterietyp arbeitet mit  $\text{LiMnO}_2$ :



**Abb. 1:** Ladevorgang eines  $\text{LiMnO}_2$ -Akkus  
**Links:** Graphitanode, in die Lithium-Ionen intercaliert werden  
**Rechts:**  $\text{LiMnO}_2$ -Kathode, aus der Lithium-Ionen deintercaliert werden

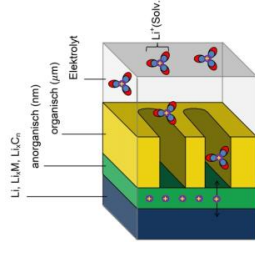
Der Entladevorgang verläuft genau entgegengesetzt:



**Abb. 2:** Ladevorgang eines  $\text{LiMnO}_2$ -Akkus  
**Links:** Graphitanode, aus der die Lithium-Ionen deintercaliert werden  
**Rechts:**  $\text{LiMnO}_2$ -Kathode, in die Lithium-Ionen intercaliert werden

## ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

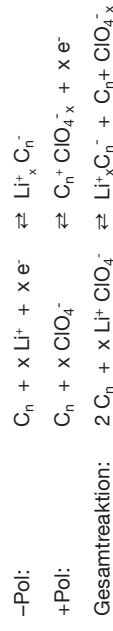
Beim ersten Ladevorgang bildet sich aus organischen bzw. anorganischen Zersetzungsprodukten eine teils nanoskalige für Lithium-Ionen permeable Schutzschicht (Solid Electrolyte Interface – SEI) aus, die eine weitere Zersetzung der Elektroden verhindert.



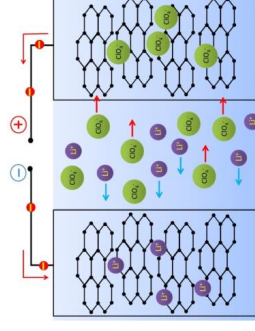
**Abb. 3:** Für Lithium-Ionen permeable Schutzschicht (SEI)

Diese Schutzschicht verhindert auch eine Zersetzung des Lösungsmittels.

Der Lithium-Ionen-Akku kann durch die Verwendung von Graphit als Elektrodenmaterial erheblich vereinfacht werden. Die Vorgänge wurden bereits 1999 von Alliata et al. [2] und 2001 von Schnyder et al. [3] mithilfe von Kraftfeldmikroskopie (Atomic Force Microscopy – AFM) untersucht.



Die Graphit-Elektroden verhalten sich demnach redoxamphoter.



**Abb. 4:** Lithium-Ionen-Akku auf der Basis von redoxamphoteren Graphitelektroden  
Ladevorgang durch Intercalation von  $\text{Li}^+$ - und  $\text{ClO}_4^-$ -Ionen

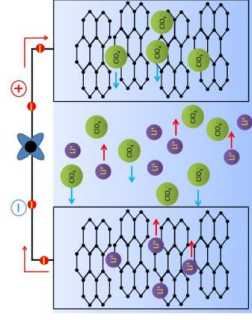
# E15

Energie

## Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolien (Dual-Carbon-Cell)

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Der Entladevorgang verläuft entgegengesetzt:



**Abb. 5:** Lithium-Ionen-Akku auf der Basis von redoxamphoteren Graphitelektroden  
Entladevorgang durch Deintercalation von  $\text{Li}^+$ - und  $\text{ClO}_4^-$ -Ionen

Nach diesen Literaturangaben müsste ein Lithium-Ionen-Akku aus einfach zugänglichen Materialien möglich sein. Aus der Vielzahl möglicher Experimente werden zwei durchgeführt werden:

- Lithium-Ionen-Akku mit Graphitminen
- Lithium-Ionen-Akku mit Graphitfolie

Alle Abbildungen wurden aus [1] übernommen.

### LITERATUR

- [1] M. Oetken, M. Hasselmann, Lithium-Ionen-Akkumulator auf Basis redoxamphoterer Graphitintercalationselektrode, Handreichung zum Experimentalkollegium Lithium+, Hedinger Stuttgart 2012, dort weitere Literaturhinweise  
M. Oetken, M. Hasselmann, Elektrische Energie aus dem Kohlenstoffsandwich. Lithium-Ionen-Akkumulatoren auf Basis redoxamphoterer Graphitintercalations-Elektroden, CHEMKON **18**(4), S. 160 – 172 (2011)
- [2] D. Allia, P. Häring, O. Haas, R. Kötz und H. Siegenthaler, Anionic intercalation into highly oriented pyrolytic graphite studied by electrochemical atomic force microscopy, Electrochemistry Communications **1**(1), S. 5 – 9 (1999)
- [3] B. Schnyder, D. Allia, R. Kötz und H. Siegenthaler, Electrochemical intercalation of perchlorate ions in HOPG: an SFM/LFM and XPS study. Applied Surface Science **173**, S. 221 – 232 (2001)

### NOTIZEN



# Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit Hofmann-Apparat

E16  
Energie



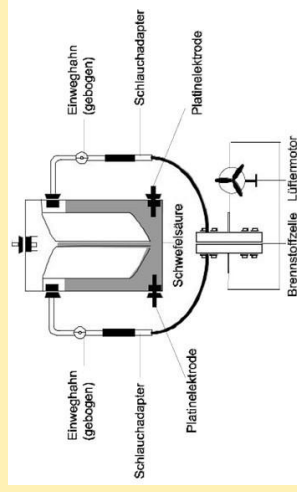
## GERÄTE

- Küvettenexperiment
- Hofmann-Wasserelektrolyse
- Trichter
- 2 Reagenzgläser
- Schaschlikstab
- Feuerzeug
- Brennstoffzelle
- Lüftermotor

## CHEMIKALIEN

- Schwefelsäure  $w = 10\%$

## ABBILDUNG



## DURCHFÜHRUNG

Die Hofmann-Küvette wird mithilfe des Trichters bis unterhalb der gebogenen Hähne mit Schwefelsäure befüllt. Die Gleichspannungsquelle wird mit 5 V an die Platin-Elektroden angeschlossen und die Elektrolyse abgebrochen, wenn die Kammer am Minus-Pol zu 2/3 gefüllt ist. Die Gase können nach Entnahme im Reagenzglas durch die Knallgasprobe (Wasserstoff, Minuspol) und durch die Glühspanprobe (Sauerstoff, Pluspol) nachgewiesen werden.

Nun werden Wasserstoff und Sauerstoff über die Schlauchadapter an die Brennstoffzelle angeschlossen. Die Brennstoffzelle ist mit einem Lüftermotor verbunden.

**Achtung: Auf den richtigen Anschluss der Brennstoffzelle achten. Eine falsche Beschickung zerstört die Brennstoffzelle.**

**Alternative: Die Schläuche werden sofort mit der Brennstoffzelle verbunden.**

## BEOBACHTUNG

**Gasentwicklung:** Am Minus-Pol entsteht doppelt so viel Gas wie am Plus-Pol

**Nachweise:**

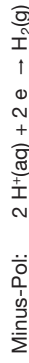
**Wasserstoff:** Wasserstoff durch Knallgasprobe  $2 \text{ H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}(\text{g})$

**Sauerstoff:** Sauerstoff durch Glühspanprobe

## ERLÄUTERUNG

Die Entstehung der Gase beruht auf einer Redox-Reaktion (Elektronenaustausch-Reaktion).

**Formuliere die Entstehung von Wasserstoff als Reaktionsgleichung:**



**Formuliere die Entstehung von Sauerstoff als Reaktionsgleichung:**



## ANMERKUNGEN



# Wind-zu-Wasserstoff: Wasserelektrolyse mit Hofmann-Apparat

**E16**  
Energie



Notrufnummer: Giftnformation München  
Telefon: 089.19.240 · Telefax: 089.41.402.467

## EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Schwefelsäure 5% ≤ w < 15%	Gefahr		H290 H315 H319	P302+P352 P305+P351+P338	-	-
Sauerstoff	Gefahr		H270	P220	-	-
Wasserstoff	Achtung		H220	-	-	-

## SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

## GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen	X	
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr	X	
Explosionsgefahr		X

### Sonstige Gefahren:

Das bei der Elektrolyse in geringen Mengen anfallende Ozon nicht einatmen.  
Die Schwefelsäure (w = 10%) verursacht schwere Augenreizung.  
Beim Auslassen der Gase aus dem Hofmann'schen Zersetzungsgesetzungsapparat werden auch feine Schwefelsäure-Tröpfchen mitgerissen, deshalb feuchtes Handtuchpapier über die Halbhne halten.

## H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

### Schwefelsäure

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

**H290** Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.  
**H315** Verursacht Hautreizungen.  
**H319** Verursacht schwere Augenreizung.

#### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

**P302 + P352** Bei Kontakt mit der Haut: Mit viel Wasser und Seife waschen.  
**P305 + P351 + P338** Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

### Sauerstoff

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

**H270** Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel.

#### Sicherheitshinweise – P-Sätze

**P220** Von Kleidung/.../brennbaren Materialien fernhalten/entfernt aufbewahren.

### Wasserstoff

#### Gefahrenhinweise – H-Sätze

**H220** Extrem entzündbares Gas.

## ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)						<b>Weitere Maßnahmen:</b>
X	X		geschlossenes System	Abzug	Brandschutzmaßnahmen	
		Schutzhandschuhe			Lüftungsmaßnahmen	

Schule

Datum, Unterschrift Fachlehrer/in



## Wind-zu-Wasserstoff: Savonius-Rotor als Generator

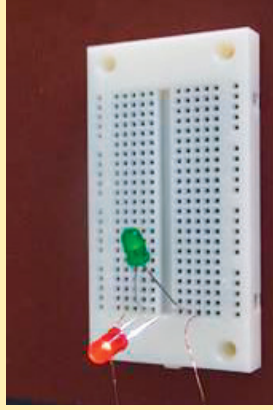
### GERÄTE

- Savonius-Rotor
- Handfön
- Schaltung mit bipolaren LEDs
- Gleichrichterschaltung nach Graetz mit Glättung
- Camcorder

### CHEMIKALIEN

- Es werden keine Chemikalien benötigt

### ABBILDUNG



Bipolar geschaltete LEDs (Momentaufnahme)

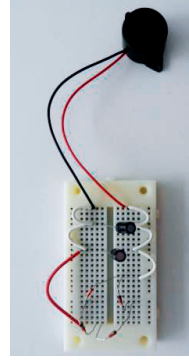
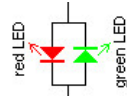


Savonius-Rotor mit geglätteter Graetz-Schaltung

### DURCHFÜHRUNG

Der Savonius-Rotor wird mit dem Handfön angetrieben. Unter der unteren Scheibe sind vier Magnete angeklebt, auf der Bodenplatte vier miteinander verbundene Spulen. Am Anfang und am Ende der Spulen befindet sich ein offener Draht, der mit den Schaltungen verbunden wird.

1. Schaltung mit LEDs:
2. Graetz-Schaltung mit Glättung und Summer:
3. Geglättete Gleichrichterschaltung nach Graetz mit Summer:



### BEOBACHTUNG

**Schaltung mit LEDs:** Die flackernden LEDs sind entgegengesetzt parallel geschaltet und können mithilfe der Zeitlupe des Camcorders sichtbar gemacht werden. Man erkennt das Flackern auch mit bloßen Augen.

**Geglättete Gleichrichterschaltung nach Graetz:**

Die Gleichspannung der Graetz-Schaltung regt einen Summer an.

### ERLÄUTERUNG

**Wie kommt es zum Flackern der LEDs?**

Eine LED lässt eine Gleichspannung nur in einer Richtung durch. Die entgegengesetzt geschalteten LEDs zeigen, dass der Generator im Savonius-Rotor eine Wechselspannung erzeugt.

**Graetz-Schaltung mit Glättung und Summer:**

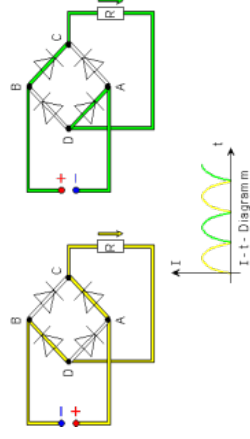
Dioden liefern eine pulsierende Gleichspannung. Der Summer lässt sich nur mit geglätteter Gleichspannung betreiben.

**Was bewirken die Kondensatoren?**

Die Kondensatoren glätten die pulsierende Gleichspannung.

### ANMERKUNGEN

Mithilfe des Savonius-Rotors wird die Erzeugung von Wechselspannung bei der Windenergie gezeigt. Durch Wechselwirkung von Spule und Magnetfeld – elektromagnetische Induktion – entsteht wegen der kreisförmigen Bewegung zunächst eine Wechselspannung. Für die Speicherung der elektrischen Energie durch Elektrolyse von Wasser wird eine Gleichspannung benötigt. Dies geschieht mithilfe der Graetz-Schaltung:





# Wind-zu-Wasserstoff: Horizontaler Windrotor als Generator

**E18**  
Energie

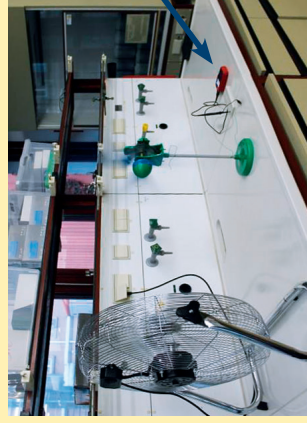
## GERÄTE

- Horizontaler Windrotor
- Bodenlüfter 130 W
- Hand-Oszilloskop
- Steckbrett
- Acrylplatte mit Kompassnadeln
- 4 Magnete auf Polycarbonatscheibe

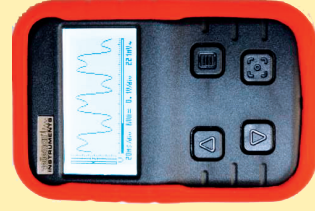
## CHEMIKALIEN

- Es werden keine Chemikalien benötigt

## ABBILDUNG



Windrotor mit Bodenlüfter und Handoszilloskop



Aufnahme des Spannungsverlaufs mit dem Oszilloskop

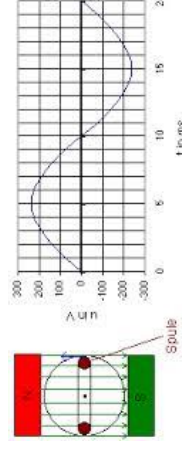
## DURCHFÜHRUNG

Der Windrotor wird mit dem Bodenlüfter angetrieben. Unter der Scheibe sind vier Magnete angeklebt, auf der senkrechten Platte vier miteinander verbundene Spulen. Am Anfang und am Ende der Spulen befindet sich je ein offener Draht, die mit dem Handoszilloskop verbunden werden.

Auf die Scheibe mit vier aufgeklebten Magneten wird die Glasplatte gelegt. Die Glasplatte wird im Bereich der Magnete mit Eisenfeilspänen bestreut.

## INFORMATION

Mithilfe des Windrotors wird die Erzeugung von Wechselspannung bei der Windenergie gezeigt. Durch Wechselwirkung von Spule und Magnetfeld – elektromagnetische Induktion – entsteht wegen der kreisförmigen Bewegung der Magnete eine Wechselspannung:



Der sinusförmige Verlauf setzt ein homogenes Magnetfeld voraus.

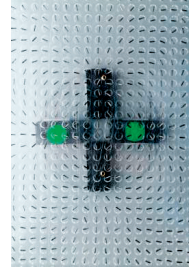
## BEOBACHTUNG

Verlauf der Spannung: Kein exakt sinusförmiger Verlauf



## ERLÄUTERUNG

Magnetfeld: Das Magnetfeld ist nicht homogen



### GERÄTE

- Erneuerbare Energien Set:
- Windrad
- Steckbrett
- Bodenlüfter
- Reversible PEM-Brennstoffzelle
- Brennstoffzellenfahrzeug Hydrocar
- Einmalspritze
- 2 Digitalmultimeter

### CHEMIKALIEN

- Dest. Wasser

### DURCHFÜHRUNG

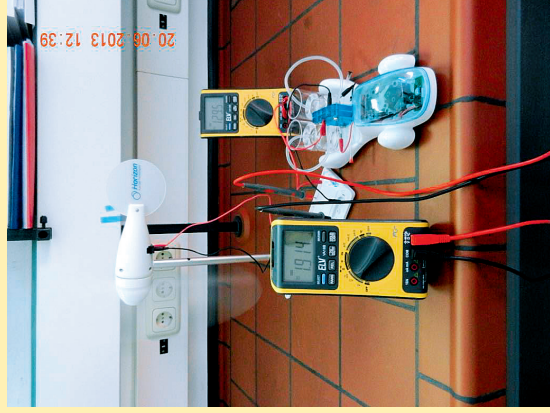
Zum abgebildeten Versuchsaufbau gehört als Windquelle ein leistungstarker Bodenlüfter. Auf dem Hydrocar ist eine reversible PEM-Brennstoffzelle montiert. Die PEM-Brennstoffzelle wird mithilfe der Einmalspritze auf der Sauerstoffseite von unten mit dest. Wasser befüllt. **Anschließend werden die unteren Öffnungen verschlossen.** Die Schläuche für Wasserstoff und Sauerstoff werden oben angeschlossen.

Im Gehäuse des Windgenerators befindet sich bereits eine Gleichrichterschaltung. Nach dem Einschalten des Bodenlüfters beginnt die Wasserelektrolyse und die entstehenden Gase werden in Gas-sometern auf dem Hydrocar gesammelt. Der Schalter am Hydrocar steht auf „off“. Die Spannung wird mit dem Digitalmultimeter parallel abgegriffen. Für die Messung der Stromstärke wird das andere Digitalmultimeter zwischen Steckbrett und der reversiblen PEM-Brennstoffzelle geschaltet.

Das Experiment benötigt einige Zeit, um genügend Wasserstoff und Sauerstoff zu erzeugen. Wenn sich in den Behältern genügend Gase angesammelt haben, werden die Kabel vom Windgenerator abgezogen und die Verbindung zum Elektromotor des Hydrocar hergestellt. Nach Umlegen des Schalters auf „on“ bekommt der Motor über die Brennstoffzelle elektrische Energie.

Während der Gasproduktion können die Grundlagen-Experimente mit dem Savonius-Rotor, dem horizontalen Windgenerator und der Hofmann-Elektrolyse durchgeführt werden.

### ABBILDUNG



Versuchsaufbau

### BEOBACHTUNG

$$U_{\text{exp}} = 1,9 \text{ V} \quad I_{\text{exp}} = 129,5 \text{ mA}$$

### ERLÄUTERUNG

**Für die Elektrolyse gilt:**

- 1 mmol Elektronen benötigt 96.500 mAs an Ladung (Faraday)
- Für die Entladung von 1 mmol Wasserstoff werden 2 mmol Elektronen benötigt
- 1 mmol Wasserstoff entspricht 22,4 ml Gas (Avogadro)

**Schätze die Zeit für die Produktion von 22 ml Wasserstoff ab.**

1 mmol Gas entspricht 22,4 ml  
Dafür werden 2 mmol Elektronen benötigt  
Nach Faraday gilt: 96.500 mAs/mmol

Für 1 mmol H<sub>2</sub> werden 2 mmol e benötigt, somit 2 · 96.500 mAs  
Bei I = 129,5 mA wären das t = 2 · 96.500 mAs / 129,5 mA = 1.490 s ≈ 25 min



Bei dem Experiment fallen keine Abfälle an.

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Die nachhaltige Nutzung erneuerbarer Energien steht und fällt mit der Verfügbarkeit. In der Praxis bedeutet dies: Es muss eine Lösung zur kurzfristigen und effizienten Speicherung und zum problemlosen Wiederabruf gefunden werden.

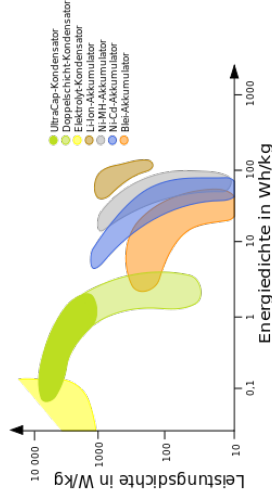
Dafür bieten sich grundsätzlich zwei Lösungsansätze an:

#### 1. Physikalische Speicherung

##### 1.1 Superkondensatoren

Bei dieser Form der Energiespeicherung kommt es zu keiner chemischen Umwandlung. Im Forschungsstadium befinden sich Hochleistungskondensatoren. Diese können schlussendlich nur begrenzte Leistungsmengen sehr schnell aufnehmen und wieder abgeben. Für die Leistungsfähigkeit spielt das Design, die Oberflächenmaterialien und der Elektrolyt eine Rolle. Bei den leistungsfähigsten Hochleistungskondensatoren bilden sich elektrochemische Doppelschichten aus. Hier liegen Ähnlichkeiten zu Batterien vor.

Neue Materialien spielen eine immer größere Rolle beim Elektrodenmaterial und den Elektrolyten. So wurden bereits Superkondensatoren aus Carbon Nanotubes (CNTs) und Graphen entwickelt. Weiterhin verwendet man Hybridmaterialien aus leitfähigen Polymeren und Oxiden von Übergangsmetallen sowie Elektrolyten wie man sie von den Lithium-Ionen-Akkus kennt.



**Abb 1:** Vergleich der Leistungs- und Energiedichten bei Kondensatoren und Akkumulatoren (Aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/Superkondensator>)

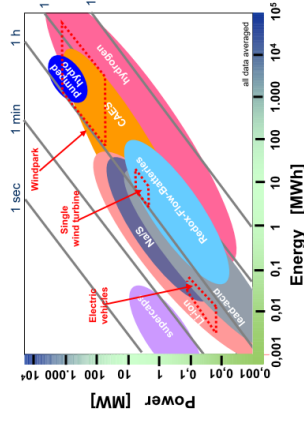
Generell sind Kondensatoren bei der Leistungsdichte den Akkumulatoren überlegen, jedoch ist ihre Energiedichte vergleichsweise gering. Daher kommen sie bisher nur in speziellen Anwendungen zum Einsatz: zum Beispiel bei Hybridfahrzeugen zur Rückgewinnung von Bremsenergie.

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### 1.2 Pumpspeicherkraftwerke

Diese Form der Speicherung wird im Zusammenhang mit der Pufferung regenerativer Energien intensiv diskutiert. Die Möglichkeit dieser Energiespeicherung ist durch geografische Voraussetzungen eingeschränkt. Die Angaben für alle deutschen Pumpspeichertecken schwanken zwischen 20 Minuten und 2 Stunden Vorrat gemessen am aktuellen Verbrauch der elektrischen Energie [1].

Die Problematik wird durch die unten stehende Grafik verdeutlicht. Darin werden die Leistungen elektrischer Fahrzeuge und Windturbinen bzw. Windparks den gegenwärtigen Speichermöglichkeiten gegenüber gestellt. Um Leistungen im Stunden-, Tages- bzw. Monatsbereich aus gespeicherter Energie abrufen zu können, werden grundsätzlich Wasserspeicher, unterirdische Druckluftspeicher (Compressed Air Energy Storage) bzw. Wasserstoff benötigt. Bei Fahrzeugen lassen sich noch Batterien bzw. Akkus für eng begrenzte Reichweiten einsetzen, bei größeren Energiepuffern im Gigawattstundenbereich und Leistungen von mehr als 100 MW kommt man um Wasserstoff nicht herum:



**Abb. 2:** Gegenüberstellung der Leistung und Energiespeicherpapazität

Legende: supercaps = Hochleistungskondensatoren  
pumped hybrids = Pumpspeicherkraftwerke  
CAES: unterirdische Druckluftspeicher

(Aus: M. Weidhas, Siemens AG, Dynamic Electrolysis for Grid Access and Frequency Control, Vortrag beim 4. Energiekolloquium der DECHEMA, Frankfurt 2013)



### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### 2. Chemische Speicherung

##### 2.1 Akkumulatoren

Erneuerbare Energien können Akkumulatoren aufladen oder durch Elektrolyse Wasserstoff herstellen. In beiden Fällen kann man von einer Speicherung sprechen, da die Energie zurückverwandelt werden kann.

Bei der Batteriespeicherung ist zurzeit ein großes Projekt im Saarland im fortgeschrittenen Planungsstadium. Hier soll der größte jemals gebaute Lithium-Ionen-Akku auf dem Gelände eines Kraftwerks installiert werden. Er soll mit erneuerbaren Energiequellen aus der Region intelligent vernetzt werden. Solche intelligenten Netze, die erneuerbare Energien mit Speichern vernetzen, werden Smartgrids genannt. Dieses Projekt wird Liongrid genannt und von mehreren großen Firmen (energis, Evonik, Voltaris, Hager, SMA) getragen sowie vom Bundesumweltministerium gefördert [2].

Wegen seiner Speicherkapazität und besonders der Lade-Entlade-Charakteristik wird der Lithium-Ionen-Akku zurzeit als beste Lösung auf dem Gebiet angesehen. An der Weiterentwicklung wird weltweit geforscht und Europa versucht mit massiver Förderung den verlorenen Anschluss wieder herzustellen.

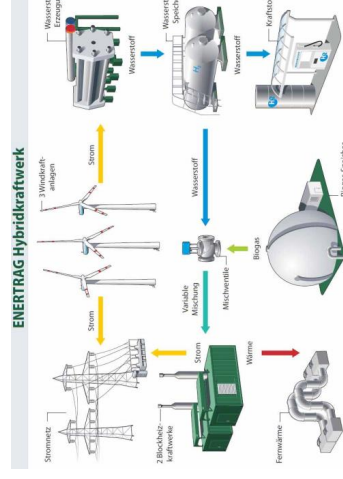
##### 2.2 Wasser-Elektrolyse: Power to Gas (P2G)

Für die Elektrolyse bietet sich die Herstellung von Wasserstoff über die Wasserelektrolyse an. In der chemischen Industrie liegen schon sehr lange Erfahrungen mit dieser elektrischen Stoffumwandlung aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse vor. Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Die herkömmliche alkalische Wasserhydrolyse und die Elektrolyse mit PEM-Membranen als Umkehrung der Brennstoffzelle. Letzterer wird wegen der geringen Verzögerung beim Anlaufen der Vorzug gegeben. Ein Modellkraftwerk ist im Frühjahr 2012 in Prenzlau in Betrieb gegangen [3].

##### Der entstehende Wasserstoff kann

- dem vorhandenen Erdgasnetz teilweise beigemischt werden
- gespeichert werden oder
- chemisch mit CO<sub>2</sub> zu Methan oder Methanol umgewandelt werden

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN



**Abb. 3:** ENERTRAG Hybridkraftwerk in Prenzlau (Uckermark)  
Quelle: <https://www.enertrag.com/projektentwicklung/hybridkraftwerk.html>

Hier werden erstmalig eine Windkraft-, Biogas- und Wasserstoffanlage physikalisch vernetzt und somit reale Betriebsfahrungen und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz gesammelt.

Die Stromerzeugung im ENERTRAG-Hybridkraftwerk übernehmen drei Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 6.000 kW. Produzieren die Windkraftanlagen mehr Strom als aktuell nachgefragt wird, nutzt der 500 kW-Elektrolyseur den nicht bedarfsgerecht erzeugten Strom zur Produktion von klimaneutralem Wasserstoff. Der Wasserstoff wird anschließend gespeichert. In windschwachen Zeiten oder bei besonders hohem Energiebedarf wird er mit dem vor Ort produzierten Biogas gemischt und in zwei Blockheizkraftwerken wieder in Strom und Wärme umgewandelt. Damit ist das Hybridkraftwerk in der Lage, unabhängig vom Windangebot Energie bedarfsgerecht zu liefern. Ein weiterer Vorteil des von der ENERTRAG gewählten Konzeptes ist es, dass bis zu 70% des in den Blockheizkraftwerken benötigten Biogases durch Wasserstoff ersetzt werden können. Auf diese Weise kann je nach Angebotsituation der Biomasse die Anlage optimiert werden.

Eine chemische Umsetzung des Wasserstoffs mit CO<sub>2</sub> ist hier nicht vorgesehen.



### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### 3 Wasserstoffspeicherung als Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft

- Unter dem Schlagwort Elektromobilität werden zurzeit zwei Forschungs- und Entwicklungslinien verfolgt:
- Lithium-Ionen-Akku als elektrischer Energiespeicher
- Brennstoffzellen als Energiequelle

Für längere Reichweiten eignet sich derzeit nur die Brennstoffzelle. Um diese mit Wasserstoff zu versorgen müsste eine sehr aufwändige Logistik und Infrastruktur aufgebaut werden. Daher wird an der Universität Erlangen-Nürnberg mit Hochdruck am LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier)-Konzept geforscht [6,7].

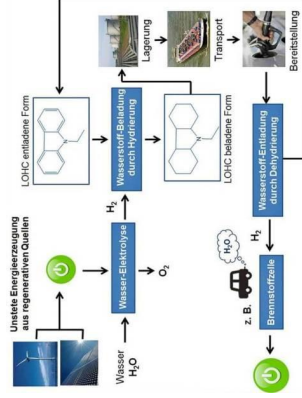
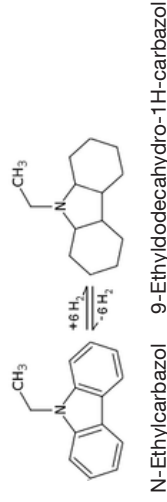


Abb. 6: LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier)-Konzept (Aus [5])

Dabei wird Wasserstoff mit N-Ethylcarbazol chemisch umgesetzt:



### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Der Beladungsprozess ist mit 31 kJ/mol pro Doppelbindung exotherm. Dabei entsteht bei 130 – 160°C mit 70 bar katalytisch aus dem Feststoff in einem exothermen Prozess eine Flüssigkeit mit Diesel ähnlicher Konsistenz. Daraus kann unter nahezu überdrucklosen Reaktionsbedingungen der Wasserstoff unter Rückbildung des N-Ethylcarbazols mithilfe von Katalysatoren bei 230°C wieder freigesetzt werden.

Das Konzept für die Elektromobilität sieht die Freisetzung im Automobil vor:

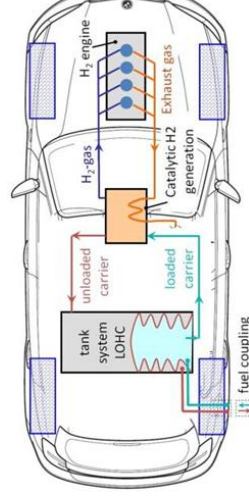
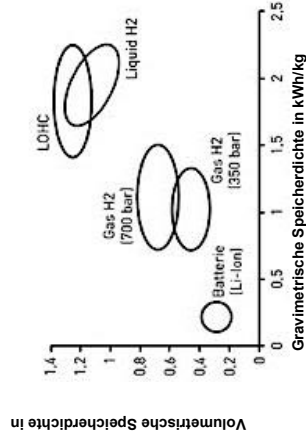


Abb. 7: LOHC-Konzept mit Umsetzung im Fahrzeug (Aus [5])

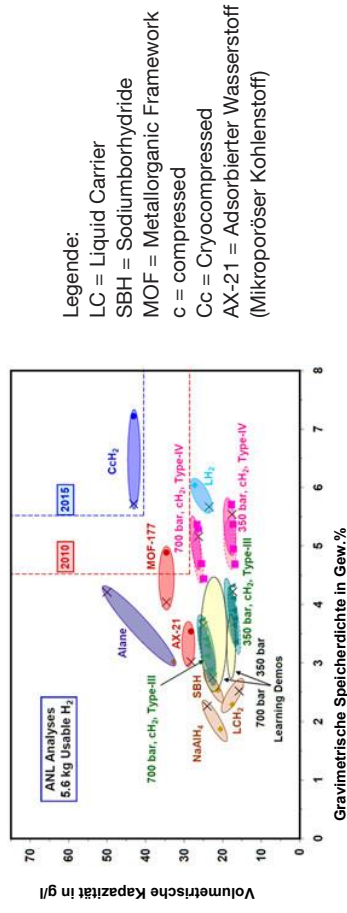
Aus der Grafik lässt sich entnehmen, dass LOHC von der Energie- und Speicherdichte her mit dem flüssigem Wasserstoff gleichwertig ist, wegen der Konsistenz des Perhydro-N-Ethylcarbazols könnte jedoch auf die bestehende Infrastruktur und Logistik zurückgegriffen werden:





### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Ein anderer Pfad wird schon seit längerer Zeit über Metallhydride verfolgt. Daran arbeitet in Deutschland schon sehr lange Ferdi Schüth vom MPI Mülheim. Die Metallhydride auf der Basis von Leichtmetallhydriden ( $\text{NaAlH}_4$ ) können zurzeit nur 2 Gew% Wasserstoff speichern und sind auf den Brennstoffzellen-U-Booten zum Einsatz gekommen [8]. In Mülheim wird an Optimierungen durch Einlagerungen anderer Metalle gearbeitet. Eine andere Linie geht von Alanen und Alanaten aus. Nach einer Aufstellung des Argonne National Laboratory (USA) erfüllt noch keines der bekannten Speichersysteme die Anforderung des amerikanischen Transportministerium (DOT). Die Zielsetzungen für 2010 und 2015 sind in die unten stehende Grafik eingezeichnet:



**Abb. 8:** Kapazität von Speichersystemen für Wasserstoff  
 Quelle: Argonne National Laboratory  
[http://hydrogen.energy.gov/pdfs/9017\\_storageperformance.pdf](http://hydrogen.energy.gov/pdfs/9017_storageperformance.pdf)

Die Anforderungen werden lediglich von dem sehr aufwändigen Cryo-compressed-System erfüllt (Verflüssigung bei tiefen Temperaturen unter hohem Druck).

### LITERATUR

- [1] [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Veranstaltungen/2012/Vortraege\\_Pumpspeicher/Bedeutung\\_von\\_Pumpspeicherwerken\\_Seid\\_dena.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/2012/Vortraege_Pumpspeicher/Bedeutung_von_Pumpspeicherwerken_Seid_dena.pdf)  
[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Energiedienstleistungen/Dokumente/Pumpspeicherstudie.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiedienstleistungen/Dokumente/Pumpspeicherstudie.pdf)
- [2] <http://www.liongrid.de/>
- [3] <https://www.enertrag.com/projektentwicklung/hybridkraftwerk.html>
- [4] <http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte/audi-e-gas-anlage.html>
- [5] <http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte.html>
- [6] D. Teichmann, W. Arlt, P. Wasserscheid und R. Freymann, A future energy supply based on Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC), Energy Environ. Sci 4, 2767 (2011)
- [7] D. Teichmann, K. Stark, K. Müller, G. Zöttl, P. Wasserscheid und W. Arlt, Energy storage in residential and commercial buildings via Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC), Energy Environ. Sci. 5, 9044 (2012)
- [8] [http://de.wikipedia.org/wiki/U-Boot-Klasse\\_212\\_A](http://de.wikipedia.org/wiki/U-Boot-Klasse_212_A)  
<http://www.mpg.de/1326157/wasserstoff?seite=2>

## Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC)

### GERÄTE

- 2 Kolbenprober mit 3-Wegehahn
- Reaktionsrohr
- Silikon Schlauch
- MBM-Stativsystem
- Heißluftpistole mit Breitschwanzaufsatz
- Einmalspritze 1 ml
- Kanüle 60 mm
- Wasserbad
- Digitalmultimeter mit Thermofühler
- Brennstoffzelle mit Propellermotor

### CHEMIKALIEN

- H18-DBT (Dibenzyltoluol)
- Pt-Katalysator geträgert
- Eisenwolle
- Wasserstoff in Druckdose
- Ethylacetat zur Reinigung

### ABBILDUNG



### DURCHFÜHRUNG

Das H18-DBT steht im 80°C warmen Wasserbad. Das vorbereitete Reaktionsrohr mit geträgertem Katalysator und Eisenwolle wird von einer Seite mittig mithilfe der Einmalspritze mit Kanüle mit 0,1 ml H18-DBT befüllt und die Anlage zusammengebaut. Die Anlage wird über die 3-Wegehähne mit Wasserstoff gespült. Die Heißluftpistole wird auf 400°C eingestellt und unter der Mitte des Reaktionsrohrs platziert. Die Temperatur wird mit dem Digitalmultimeter kontrolliert und auf ca. 320°C an der Oberfläche des Reaktionsrohrs einreguliert.

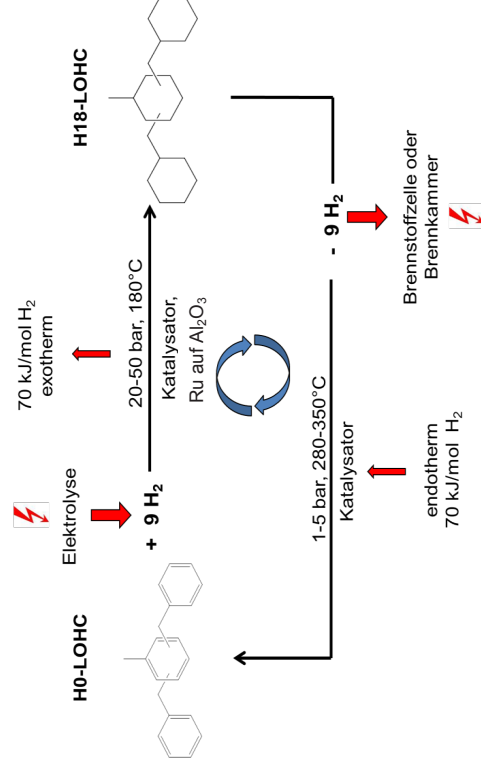
Nach dem Starten der Gasentwicklung werden die Kolbenprober vorsichtig hin und her bewegt. Die Reaktion wird nach 15 Minuten abgebrochen und das Gas aus einem Kolbenprober über passende Schläuche in die Brennstoffzelle gedrückt.

### INFORMATION

Erneuerbare Energien liefern häufig hohe Überschüsse zu verbrauchsarmen Zeiten und Defizite umgekehrt. Daher ist das zentrale Problem der Energiewende, geeignete Technologien zum Speichern und Abrufen zu finden. Physikalische Speicher wie Pumpspeicher sind in ihrer Kapazität stark begrenzt und könnten bei einem Blackout nur 20 Minuten Spitzenlast liefern.

Bei chemischen Speichern bieten sich Batterien an, deren Kapazitäten sich jedoch nur sehr kostspielig auf erforderliche Größenordnungen erweitern lassen.

Ein interessanter Pfad ist die Umwandlung von überschüssiger Energie in Wasserstoff durch Elektrolyse (Power-to-Gas). Das in Erlangen verfolgte Konzept der chemischen Speicherung von Wasserstoff in organischen Verbindungen (Liquid Organic Hydrogen Carrier) liefert Flüssigkeiten mit Diesel ähnlicher Konsistenz und kann die vorhandene Infrastruktur (Pipelines, Tanker, Tankstellen) nutzen. Aromatische Verbindungen werden hydriert und beim Abrufen des Wasserstoffs durch Dehydrierung wieder zurück gewonnen:



# E20

## Energie

### Wind-zu-Wasserstoff: Chemische Speicherung von Wasserstoff (LOHC)

#### BEOBACHTUNG

Nach kurzer Zeit entsteht in den Kolbenprober ein Gas.

Nach ca. 15 Minuten wird die Gasentwicklung langsamer.

Mit dem Gas kann eine Brennstoffzelle betrieben werden.

In den Kolbenprober sind beim Ziehen (Unterdruck) Nebel zu beobachten, die als feinste Flüssigkeitströpfchen kondensieren.

#### ERLÄUTERUNG

**Was bewirkt das Erhitzen des Reaktionsrohrs?**

Durch die Hitze und den Katalysator wird der Wasserstoff abgespalten.

**Wie kann das entstandene Gas nachgewiesen werden?**

Der Wasserstoff reagiert in der Brennstoffzelle mit dem Sauerstoff der Luft zu Wasser und liefert dabei elektrische Energie:



**Wie erklärt sich das große Gasvolumen im Verhältnis zu 0,1 ml eingesetzter Flüssigkeit ?**

Aus einem Molekül H18-DBT entstehen 9 Moleküle Wasserstoff.

Das erklärt das große Volumen Wasserstoff im Verhältnis zum eingesetzten 0,1 ml H18-DBT.

**Warum entstehen in den Kolbenprober feinste Nebeltröpfchen?**

Es entsteht flüssiges H0-DBT, das zunächst Nebel bildet und dann kondensiert.

#### NOTIZEN

## Dehydrierung von H12-NEC als LOHC

H12-NEC wird katalytisch bei höheren Temperaturen dehydriert. Das Experiment wird mithilfe von Kolbenprobern bzw. Spritzen im Reaktionsrohr durchgeführt.

### EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	Schutzstufe
Wasserstoff Ethylacetat N-Ethylcarbazol	Gefahr Achtung		H220 H280 H226 H319 H336 H315 H319 H335	P280 P261 P305+P351+ P338	-	-

### SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

### GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Sonstige Gefahren:	
	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen	X	
Gefahren durch Hautkontakt	X	
Brandgefahr	X	
Explosionsgefahr	X	

#### Sonstige Gefahren:

Es entsteht ein geringes Volumen von Wasserstoff, der im geschlossenen System verbleibt.  
Beim Reinigen der Kolbenprober bzw. Spritzen Schutzhandschuhe tragen und unterem Abzug arbeiten.

### ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzbrille	Schutz- handschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungs- maßnahmen	Weitere Maßnahmen:	
						Brandschutz- maßnahmen	
X	X	X	X	X	X		

### H-SÄTZE / EUH-SÄTZE

#### Wasserstoff

##### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H220 Extrem entzündbares Gas
- H280 Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren (Druckdose)

##### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

##### Sicherheitshinweise – P-Sätze

Für vorliegendes Experiment nicht relevant

#### N-Ethylcarbazol (Produkt im geschlossenen System)

##### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H315 Verursacht Hautreizungen
- H319 Verursacht schwere Augenreizung
- H335 Kann die Atemwege reizen

##### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

##### Sicherheitshinweise – P-Sätze

Für vorliegendes Experiment nicht relevant

#### Ethylacetat (Reinigungsmittel)

##### Gefahrenhinweise – H-Sätze

- H226 Flüssigkeit und Dampf entzündbar
- H319 Verursacht schwere Augenreizung
- H336 Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen

##### Ergänzende Gefahrenmerkmale – EUH-Sätze

##### Sicherheitshinweise – P-Sätze

- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- Übrige P-Sätze nicht relevant

# E20

Energie

## Dehydrierung von H18-DBT als LOHC

H18-DBT wird katalytisch bei höheren Temperaturen dehydriert. Das Experiment wird mithilfe von Kolbenproben bzw. Spritzen im Reaktionsrohr durchgeführt.

### EINSTUFUNG DER STOFFE

Stoff	Signalwort	Piktogramme	H-Sätze und EUH-Sätze	P-Sätze	AGW in mg/m <sup>3</sup>	in Schutzstufe
Wasserstoff Ethylacetat	Gefahr		H220 H280 H226 H319 H336	P 280	-	-

### SUBSTITUTION VON GEFAHRENSTOFFEN

Entfällt

### GEFAHRENABSCHÄTZUNG

Gefahr	Ja	Nein
Gefahren durch Einatmen	X	
Gefahren durch Hautkontakt		X
Brandgefahr	X	
Explosionsgefahr	X	

**Sonstige Gefahren:**  
Es entsteht ein geringes Volumen von Wasserstoff, der im geschlossenen System verbleibt.  
Beim Reinigen der Kolbenproben bzw. Spritzen Schutzhandschuhe tragen und unterm Abzug arbeiten.

### ERGEBNIS DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

TRGS 500 (Mindeststandards)	Schutzhilfe	Schutzhandschuhe	Abzug	geschlossenes System	Lüftungsmaßnahmen	Brandenschutzmaßnahmen	Weitere Maßnahmen:
X	X	X	X	X	X		

Schule

.....

..... Datum, Unterschrift Fachlehrer/in

## EAM Schülerlabor Chemie Schule-Hochschule-Projekt

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Didaktik der Chemie

Prof. Dr. Andreas Kometz  
Peter Heinzerling

Regensburger Straße 160  
90478 Nürnberg

www.chemiedidaktik.fau.de



**NESI-Lab-**  
Nürnberg-Erlanger-  
Schüler- und  
Schülerinnen-Lab  
www.nessi-lab.de





## Anhang IV





GET

GET FILE="G:\PSPP\Evaluation\Evaluation LFB 14-15.sav".

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Vortrag M1 E1 M2 E2 M3 E3 M4 E4 M5 E5 M6 E6 M7 E7 M8 E8  
M9 E9 M10 E10 M11 E11 M12 E12 M13 E13 M14 E14 M15 E15 M16 E16 M17 E17 M18  
E18 M19 E19 M20 E20 Station1 Station2 Material1 Material2 Konzept1 Konzept2  
Konzept3 Konzept4 Konzept5 Gesamt Termine Kontakte Alternative  
/FORMAT=AVALUE TABLE.

Einführungsvortrag

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	37	75,51	84,09	84,09
	2	6	12,24	13,64	97,73
	3	1	2,04	2,27	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Einführungsvortrag

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,18
<i>Std Abw</i>		,45
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 1: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	40	81,63	88,89	88,89
	2	4	8,16	8,89	97,78
	3	1	2,04	2,22	100,00
	9	4	8,16	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 1: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	4

<i>Mittelwert</i>	1,13
<i>Std Abw</i>	,40
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

### Station 1: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	37	75,51	86,05	86,05
	2	6	12,24	13,95	100,00
	9	6	12,24	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 1: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	6
<i>Mittelwert</i>		1,14
<i>Std Abw</i>		,35
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

### Station 2: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	38	77,55	79,17	79,17
	2	9	18,37	18,75	97,92
	3	1	2,04	2,08	100,00
	9	1	2,04	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 2: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	48
	<i>Fehlende Werte</i>	1
<i>Mittelwert</i>		1,23
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 2: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	42	85,71	95,45	95,45
	3	2	4,08	4,55	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 2: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,09
<i>Std Abw</i>		,42
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 3: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	37	75,51	88,10	88,10
	2	3	6,12	7,14	95,24
	3	2	4,08	4,76	100,00
	9	7	14,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 3: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,17
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 3: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	37	75,51	90,24	90,24
	2	2	4,08	4,88	95,12
	3	2	4,08	4,88	100,00
	9	8	16,33	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 3: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	8

<i>Mittelwert</i>	1,15
<i>Std Abw</i>	,48
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

Station 4: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	38	77,55	84,44	84,44
	2	6	12,24	13,33	97,78
	3	1	2,04	2,22	100,00
	9	4	8,16	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 4: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	4
<i>Mittelwert</i>		1,18
<i>Std Abw</i>		,44
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 4: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	32	65,31	76,19	76,19
	2	4	8,16	9,52	85,71
	3	6	12,24	14,29	100,00
	9	7	14,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 4: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 5: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	36	73,47	76,60	76,60
	2	9	18,37	19,15	95,74

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	2	4,08	4,26	100,00
	9	2	4,08	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 5: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	47
	<i>Fehlende Werte</i>	2
<i>Mittelwert</i>		1,28
<i>Std Abw</i>		,54
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 5: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	36	73,47	83,72	83,72
	2	7	14,29	16,28	100,00
	9	6	12,24	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 5: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	6
<i>Mittelwert</i>		1,16
<i>Std Abw</i>		,37
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

#### Station 6: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	55,10	62,79	62,79
	2	13	26,53	30,23	93,02
	3	3	6,12	6,98	100,00
	9	6	12,24	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 6: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	6

<i>Mittelwert</i>	1,44
<i>Std Abw</i>	,63
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

#### Station 6: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	26	53,06	65,00	65,00
	2	13	26,53	32,50	97,50
	3	1	2,04	2,50	100,00
	9	9	18,37	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 6: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	40
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,54
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 7: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	55,10	61,36	61,36
	2	11	22,45	25,00	86,36
	3	1	2,04	2,27	88,64
	4	5	10,20	11,36	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 7: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,64
<i>Std Abw</i>		,99
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 7: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	23	46,94	56,10	56,10

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	2	12	24,49	29,27	85,37
	3	1	2,04	2,44	87,80
	4	5	10,20	12,20	100,00
	9	8	16,33	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 7: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,71
<i>Std Abw</i>		1,01
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Station 8: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	57,14	75,68	75,68
	2	8	16,33	21,62	97,30
	3	1	2,04	2,70	100,00
	9	12	24,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 8: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	37
	<i>Fehlende Werte</i>	12
<i>Mittelwert</i>		1,27
<i>Std Abw</i>		,51
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 8: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	25	51,02	73,53	73,53
	2	8	16,33	23,53	97,06
	3	1	2,04	2,94	100,00
	9	15	30,61	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 8: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	34
	<i>Fehlende Werte</i>	15
<i>Mittelwert</i>		1,29
<i>Std Abw</i>		,52
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 9: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	57,14	63,64	63,64
	2	9	18,37	20,45	84,09
	3	7	14,29	15,91	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 9: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,76
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 9: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	36	73,47	85,71	85,71
	2	6	12,24	14,29	100,00
	9	7	14,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 9: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,14
<i>Std Abw</i>		,35
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

#### Station 10: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	33	67,35	73,33	73,33



<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	2	5	10,20	11,11	84,44
	3	7	14,29	15,56	100,00
	9	4	8,16	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 10: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	4
<i>Mittelwert</i>		1,42
<i>Std Abw</i>		,75
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 10: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	39	79,59	88,64	88,64
	2	5	10,20	11,36	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 10: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,11
<i>Std Abw</i>		,32
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Station 11: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	22	44,90	53,66	53,66
	2	12	24,49	29,27	82,93
	3	6	12,24	14,63	97,56
	4	1	2,04	2,44	100,00
	9	8	16,33	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 11: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,66
<i>Std Abw</i>		,82
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Station 11: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	40,82	50,00	50,00
	2	9	18,37	22,50	72,50
	3	8	16,33	20,00	92,50
	4	3	6,12	7,50	100,00
	9	9	18,37	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 11: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	40
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,85
<i>Std Abw</i>		1,00
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Station 12: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	26	53,06	57,78	57,78
	2	12	24,49	26,67	84,44
	3	6	12,24	13,33	97,78
	4	1	2,04	2,22	100,00
	9	4	8,16	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 12: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	4
<i>Mittelwert</i>		1,60
<i>Std Abw</i>		,81
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Station 12: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	29	59,18	69,05	69,05
	2	9	18,37	21,43	90,48
	3	3	6,12	7,14	97,62
	4	1	2,04	2,38	100,00
	9	7	14,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 12: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,74
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 13: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	30	61,22	73,17	73,17
	2	9	18,37	21,95	95,12
	3	2	4,08	4,88	100,00
	9	8	16,33	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 13: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,32
<i>Std Abw</i>		,57
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 13: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	34	69,39	89,47	89,47
	2	3	6,12	7,89	97,37
	3	1	2,04	2,63	100,00
	9	11	22,45	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 13: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	38
	<i>Fehlende Werte</i>	11
<i>Mittelwert</i>		1,13
<i>Std Abw</i>		,41
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 14: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	26	53,06	72,22	72,22
	2	9	18,37	25,00	97,22
	3	1	2,04	2,78	100,00
	9	13	26,53	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 14: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	36
	<i>Fehlende Werte</i>	13
<i>Mittelwert</i>		1,31
<i>Std Abw</i>		,52
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 14: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	23	46,94	67,65	67,65
	2	10	20,41	29,41	97,06
	3	1	2,04	2,94	100,00
	9	15	30,61	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 14: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	34
	<i>Fehlende Werte</i>	15
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,54
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 15: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	57,14	65,12	65,12
	2	10	20,41	23,26	88,37
	3	5	10,20	11,63	100,00
	9	6	12,24	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 15: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	6
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 15: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	23	46,94	54,76	54,76
	2	16	32,65	38,10	92,86
	3	3	6,12	7,14	100,00
	9	7	14,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 15: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 16: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	33	67,35	73,33	73,33
	2	9	18,37	20,00	93,33
	3	3	6,12	6,67	100,00
	9	4	8,16	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 16: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	4
<i>Mittelwert</i>		1,33
<i>Std Abw</i>		,60
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 16: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	35	71,43	79,55	79,55
	2	8	16,33	18,18	97,73
	3	1	2,04	2,27	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 16: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,23
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 17: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	26	53,06	59,09	59,09
	2	14	28,57	31,82	90,91
	3	4	8,16	9,09	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 17: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 17: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	32	65,31	78,05	78,05
	2	6	12,24	14,63	92,68
	3	3	6,12	7,32	100,00
	9	8	16,33	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 17: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,29
<i>Std Abw</i>		,60
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 18: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	26	53,06	55,32	55,32
	2	12	24,49	25,53	80,85
	3	9	18,37	19,15	100,00
	9	2	4,08	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 18: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	47
	<i>Fehlende Werte</i>	2
<i>Mittelwert</i>		1,64
<i>Std Abw</i>		,79
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 18: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	57,14	62,22	62,22
	2	11	22,45	24,44	86,67
	3	6	12,24	13,33	100,00
	9	4	8,16	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 18: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	4
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 19: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	58,62	58,62
	2	12	24,49	41,38	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 19: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		1,41
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Station 19: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	25	51,02	86,21	86,21
	2	4	8,16	13,79	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 19: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		1,14
<i>Std Abw</i>		,35
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Station 20: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	23	46,94	74,19	74,19
	2	8	16,33	25,81	100,00



<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	18	36,73	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 20: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	31
	<i>Fehlende Werte</i>	18
<i>Mittelwert</i>		1,26
<i>Std Abw</i>		,44
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Station 20: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	55,10	87,10	87,10
	2	4	8,16	12,90	100,00
	9	18	36,73	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 20: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	31
	<i>Fehlende Werte</i>	18
<i>Mittelwert</i>		1,13
<i>Std Abw</i>		,34
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Alle Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	10	20,41	20,83	20,83
nein	1	38	77,55	79,17	100,00
	9	1	2,04	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Alle Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	48
	<i>Fehlende Werte</i>	1
<i>Mittelwert</i>		,79
<i>Std Abw</i>		,41

<i>Minimum</i>	,00
<i>Maximum</i>	1,00

Auswahl Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	38	77,55	82,61	82,61
nein	1	8	16,33	17,39	100,00
	9	3	6,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Auswahl Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	46
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		,17
<i>Std Abw</i>		,38
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Material vorher

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	21	42,86	45,65	45,65
nein	1	25	51,02	54,35	100,00
	9	3	6,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Material vorher

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	46
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		,54
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Material taggleich

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	31	63,27	63,27	63,27
nein	1	18	36,73	36,73	100,00
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Material taggleich

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	49
	<i>Fehlende Werte</i>	0
<i>Mittelwert</i>		,37
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Vorbereitung w- und P-Kurse

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	29	59,18	65,91	65,91
+/-	2	13	26,53	29,55	95,45
-	3	2	4,08	4,55	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Vorbereitung w- und P-Kurse

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,39
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Jugend forscht

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	32	65,31	80,00	80,00
+/-	2	8	16,33	20,00	100,00
	9	9	18,37	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Jugend forscht

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	40
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,20
<i>Std Abw</i>		,41
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

#### Studium MW und NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	34	69,39	77,27	77,27

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+/-	2	9	18,37	20,45	97,73
-	3	1	2,04	2,27	100,00
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Studium MW und NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		1,25
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### EAM-Anbindung

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	10	20,41	34,48	34,48
+/-	2	12	24,49	41,38	75,86
-	3	7	14,29	24,14	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### EAM-Anbindung

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		1,90
<i>Std Abw</i>		,77
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Schnupperbesuche

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	33	67,35	80,49	80,49
+/-	2	7	14,29	17,07	97,56
-	3	1	2,04	2,44	100,00
	9	8	16,33	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Schnupperbesuche

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,22
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Gesamtkonzept

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Stufenkonzept	1	28	57,14	84,85	84,85
Einstufig	2	5	10,20	15,15	100,00
	9	16	32,65	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Gesamtkonzept

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	33
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,15
<i>Std Abw</i>		,36
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Mehrere Termine

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	18	36,73	37,50	37,50
ja	1	30	61,22	62,50	100,00
	9	1	2,04	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Mehrere Termine

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	48
	<i>Fehlende Werte</i>	1
<i>Mittelwert</i>		,63
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Industriekontakte

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	11	22,45	25,00	25,00
ja	1	33	67,35	75,00	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	5	10,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Industriekontakte

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		,75
<i>Std Abw</i>		,44
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Alternative

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
halbtags	1	7	14,29	70,00	70,00
ganztags	2	3	6,12	30,00	100,00
	9	39	79,59	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Alternative

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	10
	<i>Fehlende Werte</i>	39
<i>Mittelwert</i>		1,30
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

GET DATA

GET DATA

```
/TYPE=TXT  
/FILE="G:\PSPP\Vortest_PSPP_END.csv"  
/ARRANGEMENT=DELIMITED  
/DELCASE=LINE  
/DELIMITERS=";"  
/VARIABLES=  
  VAR001 A3  
  VAR002 A5  
  VAR003 F1.0  
  VAR004 F1.0  
  VAR005 F1.0  
  VAR006 F1.0  
  VAR007 F1.0.
```

FREQUENCIES

FREQUENCIES

```
/VARIABLES= Nano Jahr Arbeit MW NT  
/FORMAT=AVALUE TABLE.
```

Nano

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Neun	1	3	,67	,67	,67
Millionstel	2	93	20,67	20,90	21,57
Zwerg	3	82	18,22	18,43	40,00
Milliardenstel	4	267	59,33	60,00	100,00
	9	5	1,11	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

Nano

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	445
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		3,38
<i>Std Abw</i>		,83
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Jahr

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Anf. 21. Jhdt.	1	32	7,11	7,13	7,13

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Anf. 20. Jhdt.	2	107	23,78	23,83	30,96
Ende 1950	3	73	16,22	16,26	47,22
Ende 1970	4	149	33,11	33,18	80,40
Ende 1980	5	88	19,56	19,60	100,00
	9	1	,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

#### Jahr

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	449
	<i>Fehlende Werte</i>	1
<i>Mittelwert</i>		3,34
<i>Std Abw</i>		1,23
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

#### Arbeit

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
< 20 Tsd.	1	40	8,89	8,93	8,93
50 Tsd.	2	111	24,67	24,78	33,71
80 Tsd.	3	185	41,11	41,29	75,00
> 100 Tsd.	4	111	24,67	24,78	99,78
	5	1	,22	,22	100,00
	9	2	,44	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

#### Arbeit

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	448
	<i>Fehlende Werte</i>	2
<i>Mittelwert</i>		2,83
<i>Std Abw</i>		,91
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

#### MW

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	168	37,33	37,58	37,58
nein	1	279	62,00	62,42	100,00
	9	3	,67	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

#### MW



<i>N</i>	<i>Gültig</i>	447
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		,62
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	300	66,67	67,11	67,11
nein	1	147	32,67	32,89	100,00
	9	3	,67	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	447
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		,33
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

GET DATA

GET DATA

```

/TYPE=TXT
/FILE="G:\PSPP\Nachttest_PSPP_END.csv"
/ARRANGEMENT=DELIMITED
/DELCASE=LINE
/DELIMITERS=";"
/VARIABLES=
  VAR001 A3
  VAR002 A5
  VAR003 F1.0
  VAR004 F1.0
  VAR005 F1.0
  VAR006 F1.0
  VAR007 F1.0

```

SAVE

```

SAVE OUTFILE="G:\PSPP\Evaluation\Auswertung 052016
\Nachttest_PSPP_Gesamt.sav".

```

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Nano Jahr Arbeit MW NT

/FORMAT=AVALUE TABLE.

Nano

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Millionstel	2	25	7,31	8,06	8,06
Nano	3	226	66,08	72,90	80,97
Milliardstel	4	59	17,25	19,03	100,00
	9	32	9,36	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

Nano

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	310
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		3,11
<i>Std Abw</i>		,51
<i>Minimum</i>		2,00
<i>Maximum</i>		4,00

Jahr

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
21. Jdht.	1	22	6,43	6,49	6,49
20. Jdht.	2	61	17,84	17,99	24,48
Ende 1950	3	51	14,91	15,04	39,53
Ende 1970	4	76	22,22	22,42	61,95
Ende 1980	5	129	37,72	38,05	100,00
	9	3	,88	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

Jahr

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	339
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		3,68
<i>Std Abw</i>		1,32
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

Arbeit

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
< 20 Tsd.	1	11	3,22	3,23	3,23
50 Tsd.	2	19	5,56	5,57	8,80
80 Tsd.	3	34	9,94	9,97	18,77

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
> 100 Tsd.	4	276	80,70	80,94	99,71
	5	1	,29	,29	100,00
	9	1	,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

Arbeit

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	341
	<i>Fehlende Werte</i>	1
<i>Mittelwert</i>		3,70
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

MW

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	202	59,06	60,30	60,30
nein	1	133	38,89	39,70	100,00
	9	7	2,05	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

MW

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	335
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		,40
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	226	66,08	67,87	67,87
nein	1	107	31,29	32,13	100,00
	9	9	2,63	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	333
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		,32
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00

<i>Maximum</i>	1,00
----------------	------

GET

GET FILE="G:\PSPP\Evaluation\Evaluation SS 2015.sav".

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Vortrag M1 E1 M2 E2 M3 E3 M4 E4 M5 E5 M6 E6  
M7 E7 M8 E8 M9 E9 M10 E10 M11 E11 M12 E12 M13 E13 M14 E14  
M15 E15 M16 E16 M17 E17 M18 E18 M19 E19 M20 E20 Station1  
Station2 Material1 Material2 Konzept1 Konzept2 Konzept3 Konzept4  
Konzept5 Gesamt Termine Kontakte Alternative  
/FORMAT=AVALUE TABLE.

Einführungsvortrag

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	16	22,86	27,59	27,59
	2	27	38,57	46,55	74,14
	3	8	11,43	13,79	87,93
	4	7	10,00	12,07	100,00
	9	12	17,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Einführungsvortrag

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	58
	<i>Fehlende Werte</i>	12
<i>Mittelwert</i>		2,10
<i>Std Abw</i>		,95
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 1: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	30	42,86	62,50	62,50
	2	15	21,43	31,25	93,75
	3	2	2,86	4,17	97,92
	4	1	1,43	2,08	100,00
	9	22	31,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 1: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	48
	<i>Fehlende Werte</i>	22

<i>Mittelwert</i>	1,46
<i>Std Abw</i>	,68
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 1: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	25	35,71	53,19	53,19
	2	19	27,14	40,43	93,62
	3	3	4,29	6,38	100,00
	9	23	32,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 1: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	47
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,53
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	38,57	56,25	56,25
	2	15	21,43	31,25	87,50
	3	6	8,57	12,50	100,00
	9	22	31,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 2: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	48
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,56
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	33	47,14	70,21	70,21
	2	10	14,29	21,28	91,49
	3	4	5,71	8,51	100,00
	9	23	32,86	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Station 2: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	47
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 3: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	30	42,86	65,22	65,22
	2	10	14,29	21,74	86,96
	3	5	7,14	10,87	97,83
	4	1	1,43	2,17	100,00
	9	24	34,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Station 3: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	46
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,78
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Station 3: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	38,57	58,70	58,70
	2	9	12,86	19,57	78,26
	3	9	12,86	19,57	97,83
	4	1	1,43	2,17	100,00
	9	24	34,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Station 3: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	46
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,65
<i>Std Abw</i>		,87
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 4: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	24,29	45,95	45,95
	2	11	15,71	29,73	75,68
	3	9	12,86	24,32	100,00
	9	33	47,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 4: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	37
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		1,78
<i>Std Abw</i>		,82
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 4. Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	19	27,14	51,35	51,35
	2	9	12,86	24,32	75,68
	3	9	12,86	24,32	100,00
	9	33	47,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 4. Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	37
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		1,73
<i>Std Abw</i>		,84
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 5: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	68,97	68,97
	2	7	10,00	24,14	93,10
	3	2	2,86	6,90	100,00
	9	41	58,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 5: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
----------	---------------	----



	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 5: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	24,29	58,62	58,62
	2	10	14,29	34,48	93,10
	3	2	2,86	6,90	100,00
	9	41	58,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 5: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 6: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	15	21,43	60,00	60,00
	2	7	10,00	28,00	88,00
	3	3	4,29	12,00	100,00
	9	45	64,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 6: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	25
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 6: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	12	17,14	48,00	48,00
	2	10	14,29	40,00	88,00
	3	3	4,29	12,00	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	45	64,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 6: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	25
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,64
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 7: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	52,63	52,63
	2	13	18,57	34,21	86,84
	3	5	7,14	13,16	100,00
	9	32	45,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 7: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	38
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,61
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 7: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	52,63	52,63
	2	11	15,71	28,95	81,58
	3	7	10,00	18,42	100,00
	9	32	45,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 7: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	38
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,66
<i>Std Abw</i>		,78
<i>Minimum</i>		1,00

<i>Maximum</i>	3,00
----------------	------

Station 8: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	62,07	62,07
	2	8	11,43	27,59	89,66
	3	3	4,29	10,34	100,00
	9	41	58,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 8: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 8: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	24,29	56,67	56,67
	2	10	14,29	33,33	90,00
	3	3	4,29	10,00	100,00
	9	40	57,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 8: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	30
	<i>Fehlende Werte</i>	40
<i>Mittelwert</i>		1,53
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 9: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	16	22,86	72,73	72,73
	2	4	5,71	18,18	90,91
	3	2	2,86	9,09	100,00
	9	48	68,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 9: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	22
	<i>Fehlende Werte</i>	48
<i>Mittelwert</i>		1,36
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 9: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	20,00	66,67	66,67
	2	5	7,14	23,81	90,48
	3	2	2,86	9,52	100,00
	9	49	70,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 9: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	21
	<i>Fehlende Werte</i>	49
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 10: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	50,00	50,00
	2	14	20,00	38,89	88,89
	3	4	5,71	11,11	100,00
	9	34	48,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 10: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	36
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		1,61
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 10: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	54,05	54,05
	2	13	18,57	35,14	89,19

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	4	5,71	10,81	100,00
	9	33	47,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 10: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	37
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		1,57
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 11: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	21	30,00	52,50	52,50
	2	13	18,57	32,50	85,00
	3	5	7,14	12,50	97,50
	4	1	1,43	2,50	100,00
	9	30	42,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 11: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	40
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,65
<i>Std Abw</i>		,80
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 11: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	38,57	69,23	69,23
	2	9	12,86	23,08	92,31
	3	2	2,86	5,13	97,44
	4	1	1,43	2,56	100,00
	9	31	44,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 11: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	39
	<i>Fehlende Werte</i>	31

<i>Mittelwert</i>	1,41
<i>Std Abw</i>	,72
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 12: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	25	35,71	59,52	59,52
	2	15	21,43	35,71	95,24
	3	2	2,86	4,76	100,00
	9	28	40,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 12: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,45
<i>Std Abw</i>		,59
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 12: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	30	42,86	71,43	71,43
	2	11	15,71	26,19	97,62
	3	1	1,43	2,38	100,00
	9	28	40,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 12: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,31
<i>Std Abw</i>		,52
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 13: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	26	37,14	66,67	66,67
	2	9	12,86	23,08	89,74
	3	3	4,29	7,69	97,44
	4	1	1,43	2,56	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	31	44,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 13: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	39
	<i>Fehlende Werte</i>	31
<i>Mittelwert</i>		1,46
<i>Std Abw</i>		,76
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 13: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	22	31,43	57,89	57,89
	2	13	18,57	34,21	92,11
	3	3	4,29	7,89	100,00
	9	32	45,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 13: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	38
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 14: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	13	18,57	50,00	50,00
	2	6	8,57	23,08	73,08
	3	7	10,00	26,92	100,00
	9	44	62,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 14: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	44
<i>Mittelwert</i>		1,77
<i>Std Abw</i>		,86
<i>Minimum</i>		1,00

Maximum	3,00
---------	------

Station 14: Experiment

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	11	15,71	40,74	40,74
	2	8	11,43	29,63	70,37
	3	8	11,43	29,63	100,00
	9	43	61,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 14: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	27
	<i>Fehlende Werte</i>	43
<i>Mittelwert</i>		1,89
<i>Std Abw</i>		,85
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 15: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	10	14,29	35,71	35,71
	2	10	14,29	35,71	71,43
	3	8	11,43	28,57	100,00
	9	42	60,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 15: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	28
	<i>Fehlende Werte</i>	42
<i>Mittelwert</i>		1,93
<i>Std Abw</i>		,81
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 15: Experiment

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	10	14,29	38,46	38,46
	2	10	14,29	38,46	76,92
	3	6	8,57	23,08	100,00
	9	44	62,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	



Station 15: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	44
<i>Mittelwert</i>		1,85
<i>Std Abw</i>		,78
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 16: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	11	15,71	39,29	39,29
	2	9	12,86	32,14	71,43
	3	8	11,43	28,57	100,00
	9	42	60,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 16: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	28
	<i>Fehlende Werte</i>	42
<i>Mittelwert</i>		1,89
<i>Std Abw</i>		,83
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 16: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	11	15,71	42,31	42,31
	2	9	12,86	34,62	76,92
	3	6	8,57	23,08	100,00
	9	44	62,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 16: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	44
<i>Mittelwert</i>		1,81
<i>Std Abw</i>		,80
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 17: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	23	32,86	54,76	54,76
	2	12	17,14	28,57	83,33

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	7	10,00	16,67	100,00
	9	28	40,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 17: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,62
<i>Std Abw</i>		,76
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 17: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	29	41,43	72,50	72,50
	2	7	10,00	17,50	90,00
	3	4	5,71	10,00	100,00
	9	30	42,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 17: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	40
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 18: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	40,91	40,91
	2	10	14,29	22,73	63,64
	3	13	18,57	29,55	93,18
	4	3	4,29	6,82	100,00
	9	26	37,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 18: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		2,02

<i>Std Abw</i>	1,00
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 18: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	12	17,14	27,91	27,91
	2	19	27,14	44,19	72,09
	3	9	12,86	20,93	93,02
	4	3	4,29	6,98	100,00
	9	27	38,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 18: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	27
<i>Mittelwert</i>		2,07
<i>Std Abw</i>		,88
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	40,00	62,22	62,22
	2	14	20,00	31,11	93,33
	3	2	2,86	4,44	97,78
	4	1	1,43	2,22	100,00
	9	25	35,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 19: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	40,91	40,91
	2	23	32,86	52,27	93,18
	3	3	4,29	6,82	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	26	37,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 19: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,66
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 20: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	33	47,14	76,74	76,74
	2	5	7,14	11,63	88,37
	3	4	5,71	9,30	97,67
	4	1	1,43	2,33	100,00
	9	27	38,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 20: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	27
<i>Mittelwert</i>		1,37
<i>Std Abw</i>		,76
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 20: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	40,00	68,29	68,29
	2	9	12,86	21,95	90,24
	3	4	5,71	9,76	100,00
	9	29	41,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 20: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,41
<i>Std Abw</i>		,67

<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

Alle Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	14	20,00	22,58	22,58
nein	1	48	68,57	77,42	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Alle Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		,77
<i>Std Abw</i>		,42
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Auswahl Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	47	67,14	77,05	77,05
nein	1	14	20,00	22,95	100,00
	9	9	12,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Auswahl Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	61
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		,23
<i>Std Abw</i>		,42
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Material vorher

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	30	42,86	51,72	51,72
nein	1	28	40,00	48,28	100,00
	9	12	17,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Material vorher

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	58
----------	---------------	----

	<i>Fehlende Werte</i>	12
<i>Mittelwert</i>		,48
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Material taggleich

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	48	68,57	81,36	81,36
nein	1	11	15,71	18,64	100,00
	9	11	15,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Material taggleich

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	59
	<i>Fehlende Werte</i>	11
<i>Mittelwert</i>		,19
<i>Std Abw</i>		,39
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	23	32,86	36,51	36,51
+/-	2	27	38,57	42,86	79,37
-	3	13	18,57	20,63	100,00
	9	7	10,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	63
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,84
<i>Std Abw</i>		,75
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Jugend forscht

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	34	48,57	54,84	54,84
+/-	2	19	27,14	30,65	85,48
-	3	9	12,86	14,52	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Jugend forscht

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,60
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Studiengänge MW und NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	40	57,14	63,49	63,49
+/-	2	19	27,14	30,16	93,65
-	3	4	5,71	6,35	100,00
	9	7	10,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Studiengänge MW und NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	63
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Inhalte EAM

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	22	31,43	36,07	36,07
+/-	2	22	31,43	36,07	72,13
-	3	17	24,29	27,87	100,00
	9	9	12,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Inhalte EAM

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	61
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,92
<i>Std Abw</i>		,80
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Schnupperbesuche

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	42	60,00	67,74	67,74
+/-	2	13	18,57	20,97	88,71
-	3	7	10,00	11,29	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Schnupperbesuche

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,44
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Gesamtkonzept

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Stufenkonzept	1	30	42,86	57,69	57,69
Einstufig	2	22	31,43	42,31	100,00
	9	18	25,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Gesamtkonzept

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	52
	<i>Fehlende Werte</i>	18
<i>Mittelwert</i>		1,42
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

### Mehrere Termine

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	41	58,57	65,08	65,08
ja	1	22	31,43	34,92	100,00
	9	7	10,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Mehrere Termine

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	63
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		,35
<i>Std Abw</i>		,48



<i>Minimum</i>	,00
<i>Maximum</i>	1,00

### Industriekontakte

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	47	67,14	75,81	75,81
ja	1	15	21,43	24,19	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Industriekontakte

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		,24
<i>Std Abw</i>		,43
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Alternative

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
halbtags	1	37	52,86	74,00	74,00
ganztags	2	13	18,57	26,00	100,00
	9	20	28,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Alternative

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	50
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		1,26
<i>Std Abw</i>		,44
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

GET

GET FILE="F:\Schule-Hochschule-Projekt Erlangen-Nürnberg\PSPP  
 \Evaluation\Evaluation\_PSPP\_WS15-16.sav".

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Vortrag M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 M11  
 M12 M13 M14 M15 M16 M17 M18 M19 M20 E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8  
 E9 E10 E11 E12 E13 E14 E15 E16 E17 E18 E19 E20 Station1 Station2  
 Material1 Material2 Konzept1 Konzept2 Konzept3 Konzept4 Konzept5  
 Gesamt Termine Kontakte Alternative  
 /FORMAT=AVALUE TABLE.

Einführungsvortrag

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	134	48,91	54,92	54,92
	2	83	30,29	34,02	88,93
	3	23	8,39	9,43	98,36
	4	4	1,46	1,64	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Einführungsvortrag

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,58
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 1: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	179	65,33	71,60	71,60
	2	63	22,99	25,20	96,80
	3	8	2,92	3,20	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 1: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24

<i>Mittelwert</i>	1,32
<i>Std Abw</i>	,53
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

Station 2: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	196	71,53	75,97	75,97
	2	51	18,61	19,77	95,74
	3	11	4,01	4,26	100,00
	9	16	5,84	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 2: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	258
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,28
<i>Std Abw</i>		,54
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 3: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	72,02	72,02
	2	47	17,15	21,56	93,58
	3	13	4,74	5,96	99,54
	4	1	,36	,46	100,00
	9	56	20,44	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 3: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	218
	<i>Fehlende Werte</i>	56
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 4: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	67,20	67,20
	2	63	22,99	25,20	92,40
	3	19	6,93	7,60	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 4: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,40
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 5: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	131	47,81	55,04	55,04
	2	91	33,21	38,24	93,28
	3	15	5,47	6,30	99,58
	4	1	,36	,42	100,00
	9	36	13,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 5: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	238
	<i>Fehlende Werte</i>	36
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 6: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	61,89	61,89
	2	68	24,82	27,87	89,75
	3	22	8,03	9,02	98,77
	4	3	1,09	1,23	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 6: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,50

<i>Std Abw</i>	,71
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 7: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	64,08	64,08
	2	71	25,91	28,98	93,06
	3	15	5,47	6,12	99,18
	4	2	,73	,82	100,00
	9	29	10,58	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 7: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	245
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,44
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 8: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	62,88	62,88
	2	63	22,99	27,51	90,39
	3	19	6,93	8,30	98,69
	4	3	1,09	1,31	100,00
	9	45	16,42	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 8: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	229
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 9: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	62,80	62,80
	2	71	25,91	28,40	91,20
	3	20	7,30	8,00	99,20
	4	2	,73	,80	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 9: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 10: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	154	56,20	62,10	62,10
	2	77	28,10	31,05	93,15
	3	12	4,38	4,84	97,98
	4	5	1,82	2,02	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 10: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 11: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	161	58,76	65,45	65,45
	2	66	24,09	26,83	92,28
	3	16	5,84	6,50	98,78
	4	3	1,09	1,22	100,00
	9	28	10,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 11: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	246
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,43

<i>Std Abw</i>	,67
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 12: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	177	64,60	70,52	70,52
	2	60	21,90	23,90	94,42
	3	14	5,11	5,58	100,00
	9	23	8,39	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 12: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	251
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 13: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	167	60,95	68,72	68,72
	2	64	23,36	26,34	95,06
	3	12	4,38	4,94	100,00
	9	31	11,31	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 13: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	243
	<i>Fehlende Werte</i>	31
<i>Mittelwert</i>		1,36
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 14: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	154	56,20	61,60	61,60
	2	75	27,37	30,00	91,60
	3	20	7,30	8,00	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 14: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 15: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	60,89	60,89
	2	67	24,45	27,02	87,90
	3	29	10,58	11,69	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 15: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 16: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	156	56,93	62,65	62,65
	2	72	26,28	28,92	91,57
	3	20	7,30	8,03	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 16: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,46
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00



Station 17: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	146	53,28	58,63	58,63
	2	84	30,66	33,73	92,37
	3	17	6,20	6,83	99,20
	4	2	,73	,80	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 17: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 18: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	59,68	59,68
	2	76	27,74	30,04	89,72
	3	24	8,76	9,49	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	21	7,66	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 18: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	253
	<i>Fehlende Werte</i>	21
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	67,20	67,20
	2	62	22,63	24,80	92,00
	3	19	6,93	7,60	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 19: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,41
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 20. Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	180	65,69	72,00	72,00
	2	57	20,80	22,80	94,80
	3	13	4,74	5,20	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 20. Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,33
<i>Std Abw</i>		,57
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 1: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	181	66,06	70,98	70,98
	2	62	22,63	24,31	95,29
	3	12	4,38	4,71	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 1: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,34
<i>Std Abw</i>		,56
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	210	76,64	79,25	79,25
	2	48	17,52	18,11	97,36

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	7	2,55	2,64	100,00
	9	9	3,28	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 2: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	265
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,23
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 3: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	65,45	65,45
	2	59	21,53	26,82	92,27
	3	15	5,47	6,82	99,09
	4	2	,73	,91	100,00
	9	54	19,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 3: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	220
	<i>Fehlende Werte</i>	54
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 4: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	65,88	65,88
	2	71	25,91	27,84	93,73
	3	14	5,11	5,49	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 4: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19

<i>Mittelwert</i>	1,41
<i>Std Abw</i>	,63
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 5: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	133	48,54	54,96	54,96
	2	92	33,58	38,02	92,98
	3	16	5,84	6,61	99,59
	4	1	,36	,41	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 5: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 6: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	138	50,36	55,65	55,65
	2	96	35,04	38,71	94,35
	3	9	3,28	3,63	97,98
	4	5	1,82	2,02	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 6: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 7: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	57,83	57,83
	2	87	31,75	34,94	92,77
	3	13	4,74	5,22	97,99

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	5	1,82	2,01	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 7: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 8: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	141	51,46	61,04	61,04
	2	69	25,18	29,87	90,91
	3	18	6,57	7,79	98,70
	4	3	1,09	1,30	100,00
	9	43	15,69	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 8: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	231
	<i>Fehlende Werte</i>	43
<i>Mittelwert</i>		1,49
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 9: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	59,06	59,06
	2	81	29,56	31,89	90,94
	3	21	7,66	8,27	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	20	7,30	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 9: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	254
	<i>Fehlende Werte</i>	20

<i>Mittelwert</i>	1,51
<i>Std Abw</i>	,68
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 10: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	149	54,38	59,13	59,13
	2	79	28,83	31,35	90,48
	3	22	8,03	8,73	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	22	8,03	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 10: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	252
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 11: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	57,60	57,60
	2	88	32,12	35,20	92,80
	3	17	6,20	6,80	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 11: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 12: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	183	66,79	71,21	71,21
	2	58	21,17	22,57	93,77
	3	15	5,47	5,84	99,61

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	1	,36	,39	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 12: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 13: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	169	61,68	68,98	68,98
	2	64	23,36	26,12	95,10
	3	9	3,28	3,67	98,78
	4	3	1,09	1,22	100,00
	9	29	10,58	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 13: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	245
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,37
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 14: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	159	58,03	62,11	62,11
	2	67	24,45	26,17	88,28
	3	27	9,85	10,55	98,83
	4	3	1,09	1,17	100,00
	9	18	6,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 14: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	256
	<i>Fehlende Werte</i>	18

<i>Mittelwert</i>	1,51
<i>Std Abw</i>	,73
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 15: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	167	60,95	64,98	64,98
	2	71	25,91	27,63	92,61
	3	18	6,57	7,00	99,61
	4	1	,36	,39	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 15: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 16: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	58,37	58,37
	2	76	27,74	29,57	87,94
	3	29	10,58	11,28	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 16: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,54
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 17: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	155	56,57	60,78	60,78
	2	77	28,10	30,20	90,98
	3	22	8,03	8,63	99,61



<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	1	,36	,39	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 17: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,49
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 18: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	57,69	57,69
	2	82	29,93	31,54	89,23
	3	24	8,76	9,23	98,46
	4	4	1,46	1,54	100,00
	9	14	5,11	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 18: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	260
	<i>Fehlende Werte</i>	14
<i>Mittelwert</i>		1,55
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	175	63,87	68,09	68,09
	2	65	23,72	25,29	93,39
	3	15	5,47	5,84	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 19: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17

<i>Mittelwert</i>	1,39
<i>Std Abw</i>	,64
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

### Station 20: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	191	69,71	74,03	74,03
	2	46	16,79	17,83	91,86
	3	19	6,93	7,36	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	16	5,84	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Station 20: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	258
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Alle Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	146	53,28	57,25	57,25
nein	1	109	39,78	42,75	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Alle Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		,43
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Auswahl Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	124	45,26	49,60	49,60
nein	1	126	45,99	50,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Auswahl Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		,50
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Material vorher

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	113	41,24	47,08	47,08
nein	1	127	46,35	52,92	100,00
	9	34	12,41	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Material vorher

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	240
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		,53
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Material taggleich

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	199	72,63	82,92	82,92
nein	1	41	14,96	17,08	100,00
	9	34	12,41	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Material taggleich

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	240
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		,17
<i>Std Abw</i>		,38
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	104	37,96	42,98	42,98
+/-	2	100	36,50	41,32	84,30
-	3	38	13,87	15,70	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,73
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Jugend forscht

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	134	48,91	56,54	56,54
+/-	2	65	23,72	27,43	83,97
-	3	38	13,87	16,03	100,00
	9	37	13,50	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Jugend forscht

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	237
	<i>Fehlende Werte</i>	37
<i>Mittelwert</i>		1,59
<i>Std Abw</i>		,75
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Studium MW NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	209	76,28	83,94	83,94
+/-	2	35	12,77	14,06	97,99
-	3	5	1,82	2,01	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Studium MW NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25

<i>Mittelwert</i>	1,18
<i>Std Abw</i>	,43
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

### EAM

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	122	44,53	50,00	50,00
+/-	2	103	37,59	42,21	92,21
-	3	19	6,93	7,79	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### EAM

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,58
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Schnupperbesuche

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	179	65,33	73,97	73,97
+/-	2	44	16,06	18,18	92,15
-	3	19	6,93	7,85	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Schnupperbesuche

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,34
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Gesamtkonzept

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Stufenkonzept	1	149	54,38	65,07	65,07
Einstufig	2	80	29,20	34,93	100,00
	9	45	16,42	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Gesamtkonzept

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	229
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

#### Mehrere Termine

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	168	61,31	66,14	66,14
ja	1	86	31,39	33,86	100,00
	9	20	7,30	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Mehrere Termine

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	254
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		,34
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Industriekontakte

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	192	70,07	78,05	78,05
ja	1	54	19,71	21,95	100,00
	9	28	10,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Industriekontakte

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	246
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		,22
<i>Std Abw</i>		,41
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Alternative

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
halbtags	1	219	79,93	86,90	86,90
ganztags	2	33	12,04	13,10	100,00
	9	22	8,03	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Alternative

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	252
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,13
<i>Std Abw</i>		,34
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Fehler: Fehler beim Öffnen der Ausgabedatei `F:\Schule-Hochschule-Projekt Erlangen-Nürnberg\PSPP\Evaluation\Auswertung 052016\Evaluation PSPP WS 15-16.csv': No such file or directory

GET

GET FILE="G:\PSPP\Evaluation\Evaluation\_PSPP\_EVB-AKG S-CEG  
ER.sav".

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Vortrag M1 E1 M2 E2 M3 E3 M4 E4 M5 E5 M6 E6  
M7 E7 M8 E8 M9 E9 M10 E10 M11 E11 M12 E12 M13 E13 M14 E14  
M15 E15 M16 E16 M17 E17 M18 E18 Station1 Station2 Material1  
Material2 Konzept1 Konzept2 Konzept3 Konzept4 Konzept5 Gesamt  
Termine Kontakte Alternative  
/FORMAT=AVALUE TABLE.

Einführungsvortrag

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	12	24,49	28,57	28,57
	2	20	40,82	47,62	76,19
	3	10	20,41	23,81	100,00
	9	7	14,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Einführungsvortrag

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,95
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 1: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	36,73	60,00	60,00
	2	11	22,45	36,67	96,67
	4	1	2,04	3,33	100,00
	9	19	38,78	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 1: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	30
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,47



<i>Std Abw</i>	,68
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 1: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	19	38,78	59,38	59,38
	2	11	22,45	34,38	93,75
	3	2	4,08	6,25	100,00
	9	17	34,69	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 1: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	32
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	40,82	66,67	66,67
	2	10	20,41	33,33	100,00
	9	19	38,78	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 2: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	30
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,33
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Station 2: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	24	48,98	77,42	77,42
	2	7	14,29	22,58	100,00
	9	18	36,73	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 2: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	31
	<i>Fehlende Werte</i>	18
<i>Mittelwert</i>		1,23
<i>Std Abw</i>		,43
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

### Station 3: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	89,47	89,47
	2	2	4,08	10,53	100,00
	9	30	61,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 3: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	19
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,11
<i>Std Abw</i>		,32
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

### Station 3: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	10	20,41	58,82	58,82
	2	5	10,20	29,41	88,24
	3	2	4,08	11,76	100,00
	9	32	65,31	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 3: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	17
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,53
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 4: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	19	38,78	57,58	57,58
	2	10	20,41	30,30	87,88
	3	4	8,16	12,12	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	16	32,65	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 4: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	33
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,55
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 4: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	53,13	53,13
	2	8	16,33	25,00	78,13
	3	7	14,29	21,88	100,00
	9	17	34,69	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 4: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	32
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,69
<i>Std Abw</i>		,82
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 5: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	56,67	56,67
	2	11	22,45	36,67	93,33
	3	2	4,08	6,67	100,00
	9	19	38,78	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 5: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	30
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00

<i>Maximum</i>	3,00
----------------	------

Station 5: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	54,84	54,84
	2	11	22,45	35,48	90,32
	3	3	6,12	9,68	100,00
	9	18	36,73	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 5: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	31
	<i>Fehlende Werte</i>	18
<i>Mittelwert</i>		1,55
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 6: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	58,62	58,62
	2	8	16,33	27,59	86,21
	3	3	6,12	10,34	96,55
	4	1	2,04	3,45	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 6: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		1,59
<i>Std Abw</i>		,82
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 6: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	16	32,65	53,33	53,33
	2	13	26,53	43,33	96,67
	4	1	2,04	3,33	100,00
	9	19	38,78	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 6: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	30
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,53
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 7: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	28,57	43,75	43,75
	2	15	30,61	46,88	90,63
	3	3	6,12	9,38	100,00
	9	17	34,69	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 7: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	32
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,66
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 7: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	28,57	42,42	42,42
	2	14	28,57	42,42	84,85
	3	5	10,20	15,15	100,00
	9	16	32,65	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 7: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	33
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,73
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 8: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	28,57	51,85	51,85
	2	10	20,41	37,04	88,89

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	3	6,12	11,11	100,00
	9	22	44,90	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 8: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	27
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,59
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 8: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	15	30,61	55,56	55,56
	2	5	10,20	18,52	74,07
	3	7	14,29	25,93	100,00
	9	22	44,90	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 8: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	27
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,70
<i>Std Abw</i>		,87
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 9: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	15	30,61	50,00	50,00
	2	12	24,49	40,00	90,00
	3	2	4,08	6,67	96,67
	4	1	2,04	3,33	100,00
	9	19	38,78	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 9: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	30
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,63

<i>Std Abw</i>	,76
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

### Station 9: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	13	26,53	44,83	44,83
	2	9	18,37	31,03	75,86
	3	6	12,24	20,69	96,55
	4	1	2,04	3,45	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 9: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		1,83
<i>Std Abw</i>		,89
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Station 10: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	40,82	62,50	62,50
	2	11	22,45	34,38	96,88
	3	1	2,04	3,13	100,00
	9	17	34,69	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 10: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	32
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,41
<i>Std Abw</i>		,56
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 10: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	50,00	50,00
	2	12	24,49	35,29	85,29
	3	5	10,20	14,71	100,00
	9	15	30,61	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 10: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	34
	<i>Fehlende Werte</i>	15
<i>Mittelwert</i>		1,65
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 11: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	34,69	68,00	68,00
	2	4	8,16	16,00	84,00
	3	4	8,16	16,00	100,00
	9	24	48,98	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 11: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	25
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,77
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 11: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	13	26,53	50,00	50,00
	2	7	14,29	26,92	76,92
	3	6	12,24	23,08	100,00
	9	23	46,94	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 11: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,73
<i>Std Abw</i>		,83
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 12: Material



<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	16	32,65	66,67	66,67
	2	7	14,29	29,17	95,83
	3	1	2,04	4,17	100,00
	9	25	51,02	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 12: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	24
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 12: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	15	30,61	62,50	62,50
	2	7	14,29	29,17	91,67
	3	2	4,08	8,33	100,00
	9	25	51,02	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 12: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	24
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,46
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 13: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	36,73	78,26	78,26
	2	4	8,16	17,39	95,65
	3	1	2,04	4,35	100,00
	9	26	53,06	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 13: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	23
	<i>Fehlende Werte</i>	26

<i>Mittelwert</i>	1,26
<i>Std Abw</i>	,54
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

### Station 13: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	13	26,53	56,52	56,52
	2	6	12,24	26,09	82,61
	3	4	8,16	17,39	100,00
	9	26	53,06	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 13: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	23
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,61
<i>Std Abw</i>		,78
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 14: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	28,57	77,78	77,78
	2	4	8,16	22,22	100,00
	9	31	63,27	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 14: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	18
	<i>Fehlende Werte</i>	31
<i>Mittelwert</i>		1,22
<i>Std Abw</i>		,43
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

### Station 14: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	28,57	70,00	70,00
	2	5	10,20	25,00	95,00
	3	1	2,04	5,00	100,00
	9	29	59,18	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 14: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	20
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,59
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 15: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	7	14,29	50,00	50,00
	2	5	10,20	35,71	85,71
	3	2	4,08	14,29	100,00
	9	35	71,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 15: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	14
	<i>Fehlende Werte</i>	35
<i>Mittelwert</i>		1,64
<i>Std Abw</i>		,74
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 15: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	10	20,41	62,50	62,50
	2	5	10,20	31,25	93,75
	3	1	2,04	6,25	100,00
	9	33	67,35	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 15: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	16
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		1,44
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 16: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	28,57	66,67	66,67
	2	3	6,12	14,29	80,95
	3	3	6,12	14,29	95,24
	4	1	2,04	4,76	100,00
	9	28	57,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 16: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	21
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,57
<i>Std Abw</i>		,93
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 16: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	13	26,53	56,52	56,52
	2	8	16,33	34,78	91,30
	3	1	2,04	4,35	95,65
	4	1	2,04	4,35	100,00
	9	26	53,06	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 16: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	23
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,57
<i>Std Abw</i>		,79
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 17: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	11	22,45	55,00	55,00
	2	3	6,12	15,00	70,00
	3	3	6,12	15,00	85,00
	4	3	6,12	15,00	100,00
	9	29	59,18	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Station 17: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	20
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,90
<i>Std Abw</i>		1,17
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 17: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	9	18,37	40,91	40,91
	2	9	18,37	40,91	81,82
	3	2	4,08	9,09	90,91
	4	2	4,08	9,09	100,00
	9	27	55,10	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 17: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	22
	<i>Fehlende Werte</i>	27
<i>Mittelwert</i>		1,86
<i>Std Abw</i>		,94
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 18: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	49	100,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Station 18: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	0
	<i>Fehlende Werte</i>	49
<i>Mittelwert</i>		.
<i>Std Abw</i>		.
<i>Minimum</i>		.
<i>Maximum</i>		.

Station 18: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	13	26,53	54,17	54,17
	2	6	12,24	25,00	79,17
	3	4	8,16	16,67	95,83
	4	1	2,04	4,17	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	25	51,02	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Station 18: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	24
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,71
<i>Std Abw</i>		,91
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Alle Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	3	6,12	18,75	18,75
	1	13	26,53	81,25	100,00
	9	33	67,35	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Alle Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	16
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		,81
<i>Std Abw</i>		,40
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Auswahl Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	8	16,33	50,00	50,00
	1	7	14,29	43,75	93,75
nein	3	1	2,04	6,25	100,00
	9	33	67,35	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Auswahl Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	16
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		,63
<i>Std Abw</i>		,81
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		3,00

Material vorher

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
ja	0	5	10,20	17,24	17,24
nein	1	23	46,94	79,31	96,55
	3	1	2,04	3,45	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Material vorher

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		,90
<i>Std Abw</i>		,56
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		3,00

Material taggleich

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
ja	0	20	40,82	68,97	68,97
nein	1	9	18,37	31,03	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Material taggleich

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		,31
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Vorbereitung W- und P-Kurse

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
+	0	3	6,12	10,34	10,34
	1	26	53,06	89,66	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		,90

<i>Std Abw</i>	,31
<i>Minimum</i>	,00
<i>Maximum</i>	1,00

### Jugend forscht

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	0	10	20,41	37,04	37,04
	1	17	34,69	62,96	100,00
	9	22	44,90	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Jugend forscht

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	27
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		,63
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Studium MW und NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	0	10	20,41	35,71	35,71
	1	18	36,73	64,29	100,00
	9	21	42,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Studium MW und NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	28
	<i>Fehlende Werte</i>	21
<i>Mittelwert</i>		,64
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### EAM-Anbindung

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	0	6	12,24	26,09	26,09
	1	17	34,69	73,91	100,00
	9	26	53,06	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### EAM-Anbindung



<i>N</i>	<i>Gültig</i>	23
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		,74
<i>Std Abw</i>		,45
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Schnupperbesuche

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	0	14	28,57	53,85	53,85
	1	12	24,49	46,15	100,00
	9	23	46,94	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Schnupperbesuche

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		,46
<i>Std Abw</i>		,51
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Gesamtkonzept

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Stufenkonzept Einstufig	0	15	30,61	51,72	51,72
	1	13	26,53	44,83	96,55
	2	1	2,04	3,45	100,00
	9	20	40,82	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

### Gesamtkonzept

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		,52
<i>Std Abw</i>		,57
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		2,00

### Mehrere Termine

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	4	8,16	50,00	50,00
ja	1	4	8,16	50,00	100,00
	9	41	83,67	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Mehrere Termine

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	8
	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		,50
<i>Std Abw</i>		,53
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Industriekontakte

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	6	12,24	75,00	75,00
ja	1	2	4,08	25,00	100,00
	9	41	83,67	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Industriekontakte

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	8
	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		,25
<i>Std Abw</i>		,46
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Alternative

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	49	100,00	100,00	100,00
<i>Gesamt</i>		49	100,0	100,0	

#### Alternative

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	49
	<i>Fehlende Werte</i>	0
<i>Mittelwert</i>		9,00
<i>Std Abw</i>		,00
<i>Minimum</i>		9,00
<i>Maximum</i>		9,00

GET

GET FILE="G:\PSPP\Evaluation\Evaluation SS 2015.sav".

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Vortrag M1 E1 M2 E2 M3 E3 M4 E4 M5 E5 M6 E6  
M7 E7 M8 E8 M9 E9 M10 E10 M11 E11 M12 E12 M13 E13 M14 E14  
M15 E15 M16 E16 M17 E17 M18 E18 M19 E19 M20 E20 Station1  
Station2 Material1 Material2 Konzept1 Konzept2 Konzept3 Konzept4  
Konzept5 Gesamt Termine Kontakte Alternative  
/FORMAT=AVALUE TABLE.

Einführungsvortrag

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	16	22,86	27,59	27,59
	2	27	38,57	46,55	74,14
	3	8	11,43	13,79	87,93
	4	7	10,00	12,07	100,00
	9	12	17,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Einführungsvortrag

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	58
	<i>Fehlende Werte</i>	12
<i>Mittelwert</i>		2,10
<i>Std Abw</i>		,95
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 1: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	30	42,86	62,50	62,50
	2	15	21,43	31,25	93,75
	3	2	2,86	4,17	97,92
	4	1	1,43	2,08	100,00
	9	22	31,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 1: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	48
	<i>Fehlende Werte</i>	22

<i>Mittelwert</i>	1,46
<i>Std Abw</i>	,68
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 1: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	25	35,71	53,19	53,19
	2	19	27,14	40,43	93,62
	3	3	4,29	6,38	100,00
	9	23	32,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 1: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	47
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,53
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	38,57	56,25	56,25
	2	15	21,43	31,25	87,50
	3	6	8,57	12,50	100,00
	9	22	31,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 2: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	48
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,56
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	33	47,14	70,21	70,21
	2	10	14,29	21,28	91,49
	3	4	5,71	8,51	100,00
	9	23	32,86	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Station 2: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	47
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Station 3: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	30	42,86	65,22	65,22
	2	10	14,29	21,74	86,96
	3	5	7,14	10,87	97,83
	4	1	1,43	2,17	100,00
	9	24	34,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Station 3: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	46
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,78
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Station 3: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	38,57	58,70	58,70
	2	9	12,86	19,57	78,26
	3	9	12,86	19,57	97,83
	4	1	1,43	2,17	100,00
	9	24	34,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Station 3: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	46
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,65
<i>Std Abw</i>		,87
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 4: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	24,29	45,95	45,95
	2	11	15,71	29,73	75,68
	3	9	12,86	24,32	100,00
	9	33	47,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 4: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	37
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		1,78
<i>Std Abw</i>		,82
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 4. Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	19	27,14	51,35	51,35
	2	9	12,86	24,32	75,68
	3	9	12,86	24,32	100,00
	9	33	47,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 4. Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	37
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		1,73
<i>Std Abw</i>		,84
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 5: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	68,97	68,97
	2	7	10,00	24,14	93,10
	3	2	2,86	6,90	100,00
	9	41	58,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 5: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
----------	---------------	----

	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 5: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	24,29	58,62	58,62
	2	10	14,29	34,48	93,10
	3	2	2,86	6,90	100,00
	9	41	58,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 5: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 6: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	15	21,43	60,00	60,00
	2	7	10,00	28,00	88,00
	3	3	4,29	12,00	100,00
	9	45	64,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 6: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	25
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 6: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	12	17,14	48,00	48,00
	2	10	14,29	40,00	88,00
	3	3	4,29	12,00	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	45	64,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 6: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	25
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,64
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 7: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	52,63	52,63
	2	13	18,57	34,21	86,84
	3	5	7,14	13,16	100,00
	9	32	45,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 7: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	38
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,61
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 7: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	52,63	52,63
	2	11	15,71	28,95	81,58
	3	7	10,00	18,42	100,00
	9	32	45,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 7: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	38
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,66
<i>Std Abw</i>		,78
<i>Minimum</i>		1,00



<i>Maximum</i>	3,00
----------------	------

Station 8: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	62,07	62,07
	2	8	11,43	27,59	89,66
	3	3	4,29	10,34	100,00
	9	41	58,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 8: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	29
	<i>Fehlende Werte</i>	41
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 8: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	17	24,29	56,67	56,67
	2	10	14,29	33,33	90,00
	3	3	4,29	10,00	100,00
	9	40	57,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 8: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	30
	<i>Fehlende Werte</i>	40
<i>Mittelwert</i>		1,53
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 9: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	16	22,86	72,73	72,73
	2	4	5,71	18,18	90,91
	3	2	2,86	9,09	100,00
	9	48	68,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 9: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	22
	<i>Fehlende Werte</i>	48
<i>Mittelwert</i>		1,36
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 9: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	14	20,00	66,67	66,67
	2	5	7,14	23,81	90,48
	3	2	2,86	9,52	100,00
	9	49	70,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 9: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	21
	<i>Fehlende Werte</i>	49
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 10: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	50,00	50,00
	2	14	20,00	38,89	88,89
	3	4	5,71	11,11	100,00
	9	34	48,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 10: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	36
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		1,61
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 10: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	20	28,57	54,05	54,05
	2	13	18,57	35,14	89,19

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	4	5,71	10,81	100,00
	9	33	47,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 10: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	37
	<i>Fehlende Werte</i>	33
<i>Mittelwert</i>		1,57
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 11: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	21	30,00	52,50	52,50
	2	13	18,57	32,50	85,00
	3	5	7,14	12,50	97,50
	4	1	1,43	2,50	100,00
	9	30	42,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 11: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	40
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,65
<i>Std Abw</i>		,80
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 11: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	27	38,57	69,23	69,23
	2	9	12,86	23,08	92,31
	3	2	2,86	5,13	97,44
	4	1	1,43	2,56	100,00
	9	31	44,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

#### Station 11: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	39
	<i>Fehlende Werte</i>	31

<i>Mittelwert</i>	1,41
<i>Std Abw</i>	,72
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 12: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	25	35,71	59,52	59,52
	2	15	21,43	35,71	95,24
	3	2	2,86	4,76	100,00
	9	28	40,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 12: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,45
<i>Std Abw</i>		,59
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 12: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	30	42,86	71,43	71,43
	2	11	15,71	26,19	97,62
	3	1	1,43	2,38	100,00
	9	28	40,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 12: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,31
<i>Std Abw</i>		,52
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 13: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	26	37,14	66,67	66,67
	2	9	12,86	23,08	89,74
	3	3	4,29	7,69	97,44
	4	1	1,43	2,56	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	31	44,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 13: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	39
	<i>Fehlende Werte</i>	31
<i>Mittelwert</i>		1,46
<i>Std Abw</i>		,76
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 13: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	22	31,43	57,89	57,89
	2	13	18,57	34,21	92,11
	3	3	4,29	7,89	100,00
	9	32	45,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 13: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	38
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 14: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	13	18,57	50,00	50,00
	2	6	8,57	23,08	73,08
	3	7	10,00	26,92	100,00
	9	44	62,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 14: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	44
<i>Mittelwert</i>		1,77
<i>Std Abw</i>		,86
<i>Minimum</i>		1,00

Maximum	3,00
---------	------

Station 14: Experiment

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	11	15,71	40,74	40,74
	2	8	11,43	29,63	70,37
	3	8	11,43	29,63	100,00
	9	43	61,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 14: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	27
	<i>Fehlende Werte</i>	43
<i>Mittelwert</i>		1,89
<i>Std Abw</i>		,85
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 15: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	10	14,29	35,71	35,71
	2	10	14,29	35,71	71,43
	3	8	11,43	28,57	100,00
	9	42	60,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 15: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	28
	<i>Fehlende Werte</i>	42
<i>Mittelwert</i>		1,93
<i>Std Abw</i>		,81
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 15: Experiment

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	10	14,29	38,46	38,46
	2	10	14,29	38,46	76,92
	3	6	8,57	23,08	100,00
	9	44	62,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 15: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	44
<i>Mittelwert</i>		1,85
<i>Std Abw</i>		,78
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 16: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	11	15,71	39,29	39,29
	2	9	12,86	32,14	71,43
	3	8	11,43	28,57	100,00
	9	42	60,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 16: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	28
	<i>Fehlende Werte</i>	42
<i>Mittelwert</i>		1,89
<i>Std Abw</i>		,83
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 16: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	11	15,71	42,31	42,31
	2	9	12,86	34,62	76,92
	3	6	8,57	23,08	100,00
	9	44	62,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 16: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	26
	<i>Fehlende Werte</i>	44
<i>Mittelwert</i>		1,81
<i>Std Abw</i>		,80
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 17: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	23	32,86	54,76	54,76
	2	12	17,14	28,57	83,33

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	7	10,00	16,67	100,00
	9	28	40,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 17: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	42
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,62
<i>Std Abw</i>		,76
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 17: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	29	41,43	72,50	72,50
	2	7	10,00	17,50	90,00
	3	4	5,71	10,00	100,00
	9	30	42,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 17: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	40
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,38
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 18: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	40,91	40,91
	2	10	14,29	22,73	63,64
	3	13	18,57	29,55	93,18
	4	3	4,29	6,82	100,00
	9	26	37,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 18: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		2,02



<i>Std Abw</i>	1,00
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 18: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	12	17,14	27,91	27,91
	2	19	27,14	44,19	72,09
	3	9	12,86	20,93	93,02
	4	3	4,29	6,98	100,00
	9	27	38,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 18: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	27
<i>Mittelwert</i>		2,07
<i>Std Abw</i>		,88
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	40,00	62,22	62,22
	2	14	20,00	31,11	93,33
	3	2	2,86	4,44	97,78
	4	1	1,43	2,22	100,00
	9	25	35,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 19: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	45
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	18	25,71	40,91	40,91
	2	23	32,86	52,27	93,18
	3	3	4,29	6,82	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	26	37,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 19: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	44
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,66
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 20: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	33	47,14	76,74	76,74
	2	5	7,14	11,63	88,37
	3	4	5,71	9,30	97,67
	4	1	1,43	2,33	100,00
	9	27	38,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 20: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	43
	<i>Fehlende Werte</i>	27
<i>Mittelwert</i>		1,37
<i>Std Abw</i>		,76
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 20: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	28	40,00	68,29	68,29
	2	9	12,86	21,95	90,24
	3	4	5,71	9,76	100,00
	9	29	41,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Station 20: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	41
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,41
<i>Std Abw</i>		,67

<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

Alle Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	14	20,00	22,58	22,58
nein	1	48	68,57	77,42	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Alle Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		,77
<i>Std Abw</i>		,42
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Auswahl Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	47	67,14	77,05	77,05
nein	1	14	20,00	22,95	100,00
	9	9	12,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Auswahl Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	61
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		,23
<i>Std Abw</i>		,42
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Material vorher

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	30	42,86	51,72	51,72
nein	1	28	40,00	48,28	100,00
	9	12	17,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

Material vorher

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	58
----------	---------------	----

	<i>Fehlende Werte</i>	12
<i>Mittelwert</i>		,48
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Material taggleich

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	48	68,57	81,36	81,36
nein	1	11	15,71	18,64	100,00
	9	11	15,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Material taggleich

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	59
	<i>Fehlende Werte</i>	11
<i>Mittelwert</i>		,19
<i>Std Abw</i>		,39
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	23	32,86	36,51	36,51
+/-	2	27	38,57	42,86	79,37
-	3	13	18,57	20,63	100,00
	9	7	10,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	63
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,84
<i>Std Abw</i>		,75
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Jugend forscht

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	34	48,57	54,84	54,84
+/-	2	19	27,14	30,65	85,48
-	3	9	12,86	14,52	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Jugend forscht

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,60
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Studiengänge MW und NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	40	57,14	63,49	63,49
+/-	2	19	27,14	30,16	93,65
-	3	4	5,71	6,35	100,00
	9	7	10,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Studiengänge MW und NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	63
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Inhalte EAM

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	22	31,43	36,07	36,07
+/-	2	22	31,43	36,07	72,13
-	3	17	24,29	27,87	100,00
	9	9	12,86	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Inhalte EAM

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	61
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,92
<i>Std Abw</i>		,80
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Schnupperbesuche

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	42	60,00	67,74	67,74
+/-	2	13	18,57	20,97	88,71
-	3	7	10,00	11,29	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Schnupperbesuche

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		1,44
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Gesamtkonzept

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Stufenkonzept	1	30	42,86	57,69	57,69
Einstufig	2	22	31,43	42,31	100,00
	9	18	25,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Gesamtkonzept

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	52
	<i>Fehlende Werte</i>	18
<i>Mittelwert</i>		1,42
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

### Mehrere Termine

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	41	58,57	65,08	65,08
ja	1	22	31,43	34,92	100,00
	9	7	10,00	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Mehrere Termine

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	63
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		,35
<i>Std Abw</i>		,48

<i>Minimum</i>	,00
<i>Maximum</i>	1,00

### Industriekontakte

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	47	67,14	75,81	75,81
ja	1	15	21,43	24,19	100,00
	9	8	11,43	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Industriekontakte

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	62
	<i>Fehlende Werte</i>	8
<i>Mittelwert</i>		,24
<i>Std Abw</i>		,43
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Alternative

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
halbtags	1	37	52,86	74,00	74,00
ganztags	2	13	18,57	26,00	100,00
	9	20	28,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		70	100,0	100,0	

### Alternative

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	50
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		1,26
<i>Std Abw</i>		,44
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

GET

GET FILE="F:\Schule-Hochschule-Projekt Erlangen-Nürnberg\PSPP  
 \Evaluation\Evaluation\_PSPP\_WS15-16.sav".

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Vortrag M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 M11  
 M12 M13 M14 M15 M16 M17 M18 M19 M20 E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8  
 E9 E10 E11 E12 E13 E14 E15 E16 E17 E18 E19 E20 Station1 Station2  
 Material1 Material2 Konzept1 Konzept2 Konzept3 Konzept4 Konzept5  
 Gesamt Termine Kontakte Alternative  
 /FORMAT=AVALUE TABLE.

Einführungsvortrag

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	134	48,91	54,92	54,92
	2	83	30,29	34,02	88,93
	3	23	8,39	9,43	98,36
	4	4	1,46	1,64	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Einführungsvortrag

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,58
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 1: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	179	65,33	71,60	71,60
	2	63	22,99	25,20	96,80
	3	8	2,92	3,20	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 1: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24



<i>Mittelwert</i>	1,32
<i>Std Abw</i>	,53
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

Station 2: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	196	71,53	75,97	75,97
	2	51	18,61	19,77	95,74
	3	11	4,01	4,26	100,00
	9	16	5,84	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 2: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	258
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,28
<i>Std Abw</i>		,54
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 3: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	72,02	72,02
	2	47	17,15	21,56	93,58
	3	13	4,74	5,96	99,54
	4	1	,36	,46	100,00
	9	56	20,44	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 3: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	218
	<i>Fehlende Werte</i>	56
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 4: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	67,20	67,20
	2	63	22,99	25,20	92,40
	3	19	6,93	7,60	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 4: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,40
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 5: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	131	47,81	55,04	55,04
	2	91	33,21	38,24	93,28
	3	15	5,47	6,30	99,58
	4	1	,36	,42	100,00
	9	36	13,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 5: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	238
	<i>Fehlende Werte</i>	36
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 6: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	61,89	61,89
	2	68	24,82	27,87	89,75
	3	22	8,03	9,02	98,77
	4	3	1,09	1,23	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 6: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,50

<i>Std Abw</i>	,71
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 7: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	64,08	64,08
	2	71	25,91	28,98	93,06
	3	15	5,47	6,12	99,18
	4	2	,73	,82	100,00
	9	29	10,58	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 7: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	245
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,44
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 8: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	62,88	62,88
	2	63	22,99	27,51	90,39
	3	19	6,93	8,30	98,69
	4	3	1,09	1,31	100,00
	9	45	16,42	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 8: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	229
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 9: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	62,80	62,80
	2	71	25,91	28,40	91,20
	3	20	7,30	8,00	99,20
	4	2	,73	,80	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 9: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 10: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	154	56,20	62,10	62,10
	2	77	28,10	31,05	93,15
	3	12	4,38	4,84	97,98
	4	5	1,82	2,02	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 10: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 11: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	161	58,76	65,45	65,45
	2	66	24,09	26,83	92,28
	3	16	5,84	6,50	98,78
	4	3	1,09	1,22	100,00
	9	28	10,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 11: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	246
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,43

<i>Std Abw</i>	,67
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 12: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	177	64,60	70,52	70,52
	2	60	21,90	23,90	94,42
	3	14	5,11	5,58	100,00
	9	23	8,39	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 12: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	251
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 13: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	167	60,95	68,72	68,72
	2	64	23,36	26,34	95,06
	3	12	4,38	4,94	100,00
	9	31	11,31	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 13: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	243
	<i>Fehlende Werte</i>	31
<i>Mittelwert</i>		1,36
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 14: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	154	56,20	61,60	61,60
	2	75	27,37	30,00	91,60
	3	20	7,30	8,00	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 14: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 15: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	60,89	60,89
	2	67	24,45	27,02	87,90
	3	29	10,58	11,69	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 15: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 16: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	156	56,93	62,65	62,65
	2	72	26,28	28,92	91,57
	3	20	7,30	8,03	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 16: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,46
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 17: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	146	53,28	58,63	58,63
	2	84	30,66	33,73	92,37
	3	17	6,20	6,83	99,20
	4	2	,73	,80	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 17: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 18: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	59,68	59,68
	2	76	27,74	30,04	89,72
	3	24	8,76	9,49	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	21	7,66	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 18: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	253
	<i>Fehlende Werte</i>	21
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	67,20	67,20
	2	62	22,63	24,80	92,00
	3	19	6,93	7,60	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 19: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,41
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 20. Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	180	65,69	72,00	72,00
	2	57	20,80	22,80	94,80
	3	13	4,74	5,20	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 20. Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,33
<i>Std Abw</i>		,57
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 1: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	181	66,06	70,98	70,98
	2	62	22,63	24,31	95,29
	3	12	4,38	4,71	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 1: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,34
<i>Std Abw</i>		,56
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	210	76,64	79,25	79,25
	2	48	17,52	18,11	97,36



<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	7	2,55	2,64	100,00
	9	9	3,28	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 2: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	265
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,23
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 3: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	65,45	65,45
	2	59	21,53	26,82	92,27
	3	15	5,47	6,82	99,09
	4	2	,73	,91	100,00
	9	54	19,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 3: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	220
	<i>Fehlende Werte</i>	54
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 4: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	65,88	65,88
	2	71	25,91	27,84	93,73
	3	14	5,11	5,49	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 4: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19

<i>Mittelwert</i>	1,41
<i>Std Abw</i>	,63
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 5: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	133	48,54	54,96	54,96
	2	92	33,58	38,02	92,98
	3	16	5,84	6,61	99,59
	4	1	,36	,41	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 5: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 6: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	138	50,36	55,65	55,65
	2	96	35,04	38,71	94,35
	3	9	3,28	3,63	97,98
	4	5	1,82	2,02	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 6: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 7: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	57,83	57,83
	2	87	31,75	34,94	92,77
	3	13	4,74	5,22	97,99

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	5	1,82	2,01	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 7: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 8: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	141	51,46	61,04	61,04
	2	69	25,18	29,87	90,91
	3	18	6,57	7,79	98,70
	4	3	1,09	1,30	100,00
	9	43	15,69	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 8: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	231
	<i>Fehlende Werte</i>	43
<i>Mittelwert</i>		1,49
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 9: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	59,06	59,06
	2	81	29,56	31,89	90,94
	3	21	7,66	8,27	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	20	7,30	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 9: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	254
	<i>Fehlende Werte</i>	20

<i>Mittelwert</i>	1,51
<i>Std Abw</i>	,68
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 10: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	149	54,38	59,13	59,13
	2	79	28,83	31,35	90,48
	3	22	8,03	8,73	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	22	8,03	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 10: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	252
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 11: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	57,60	57,60
	2	88	32,12	35,20	92,80
	3	17	6,20	6,80	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 11: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 12: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	183	66,79	71,21	71,21
	2	58	21,17	22,57	93,77
	3	15	5,47	5,84	99,61

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	1	,36	,39	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 12: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 13: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	169	61,68	68,98	68,98
	2	64	23,36	26,12	95,10
	3	9	3,28	3,67	98,78
	4	3	1,09	1,22	100,00
	9	29	10,58	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 13: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	245
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,37
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 14: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	159	58,03	62,11	62,11
	2	67	24,45	26,17	88,28
	3	27	9,85	10,55	98,83
	4	3	1,09	1,17	100,00
	9	18	6,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 14: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	256
	<i>Fehlende Werte</i>	18

<i>Mittelwert</i>	1,51
<i>Std Abw</i>	,73
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 15: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	167	60,95	64,98	64,98
	2	71	25,91	27,63	92,61
	3	18	6,57	7,00	99,61
	4	1	,36	,39	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 15: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 16: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	58,37	58,37
	2	76	27,74	29,57	87,94
	3	29	10,58	11,28	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 16: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,54
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 17: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	155	56,57	60,78	60,78
	2	77	28,10	30,20	90,98
	3	22	8,03	8,63	99,61

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	1	,36	,39	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 17: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,49
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 18: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	57,69	57,69
	2	82	29,93	31,54	89,23
	3	24	8,76	9,23	98,46
	4	4	1,46	1,54	100,00
	9	14	5,11	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 18: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	260
	<i>Fehlende Werte</i>	14
<i>Mittelwert</i>		1,55
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	175	63,87	68,09	68,09
	2	65	23,72	25,29	93,39
	3	15	5,47	5,84	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 19: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17

<i>Mittelwert</i>	1,39
<i>Std Abw</i>	,64
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

### Station 20: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	191	69,71	74,03	74,03
	2	46	16,79	17,83	91,86
	3	19	6,93	7,36	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	16	5,84	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Station 20: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	258
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Alle Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	146	53,28	57,25	57,25
nein	1	109	39,78	42,75	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Alle Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		,43
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Auswahl Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	124	45,26	49,60	49,60
nein	1	126	45,99	50,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	



<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Auswahl Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		,50
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Material vorher

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	113	41,24	47,08	47,08
nein	1	127	46,35	52,92	100,00
	9	34	12,41	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Material vorher

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	240
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		,53
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Material taggleich

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	199	72,63	82,92	82,92
nein	1	41	14,96	17,08	100,00
	9	34	12,41	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Material taggleich

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	240
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		,17
<i>Std Abw</i>		,38
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	104	37,96	42,98	42,98
+/-	2	100	36,50	41,32	84,30
-	3	38	13,87	15,70	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,73
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Jugend forscht

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	134	48,91	56,54	56,54
+/-	2	65	23,72	27,43	83,97
-	3	38	13,87	16,03	100,00
	9	37	13,50	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Jugend forscht

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	237
	<i>Fehlende Werte</i>	37
<i>Mittelwert</i>		1,59
<i>Std Abw</i>		,75
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Studium MW NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	209	76,28	83,94	83,94
+/-	2	35	12,77	14,06	97,99
-	3	5	1,82	2,01	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Studium MW NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25

<i>Mittelwert</i>	1,18
<i>Std Abw</i>	,43
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

### EAM

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	122	44,53	50,00	50,00
+/-	2	103	37,59	42,21	92,21
-	3	19	6,93	7,79	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### EAM

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,58
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Schnupperbesuche

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	179	65,33	73,97	73,97
+/-	2	44	16,06	18,18	92,15
-	3	19	6,93	7,85	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Schnupperbesuche

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,34
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Gesamtkonzept

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Stufenkonzept	1	149	54,38	65,07	65,07
Einstufig	2	80	29,20	34,93	100,00
	9	45	16,42	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Gesamtkonzept

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	229
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

#### Mehrere Termine

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	168	61,31	66,14	66,14
ja	1	86	31,39	33,86	100,00
	9	20	7,30	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Mehrere Termine

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	254
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		,34
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Industriekontakte

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	192	70,07	78,05	78,05
ja	1	54	19,71	21,95	100,00
	9	28	10,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Industriekontakte

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	246
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		,22
<i>Std Abw</i>		,41
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Alternative

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
halbtags	1	219	79,93	86,90	86,90
ganztags	2	33	12,04	13,10	100,00
	9	22	8,03	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Alternative

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	252
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,13
<i>Std Abw</i>		,34
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Fehler: Fehler beim Öffnen der Ausgabedatei `F:\Schule-Hochschule-Projekt Erlangen-Nürnberg\PSPP\Evaluation\Auswertung 052016\Evaluation PSPP WS 15-16.csv': No such file or directory

GET

GET FILE="F:\Schule-Hochschule-Projekt Erlangen-Nürnberg\PSPP  
 \Evaluation\Evaluation\_PSPP\_WS15-16.sav".

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Vortrag M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 M11  
 M12 M13 M14 M15 M16 M17 M18 M19 M20 E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8  
 E9 E10 E11 E12 E13 E14 E15 E16 E17 E18 E19 E20 Station1 Station2  
 Material1 Material2 Konzept1 Konzept2 Konzept3 Konzept4 Konzept5  
 Gesamt Termine Kontakte Alternative  
 /FORMAT=AVALUE TABLE.

Einführungsvortrag

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	134	48,91	54,92	54,92
	2	83	30,29	34,02	88,93
	3	23	8,39	9,43	98,36
	4	4	1,46	1,64	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Einführungsvortrag

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,58
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 1: Material

Wertelabel	Wert	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
	1	179	65,33	71,60	71,60
	2	63	22,99	25,20	96,80
	3	8	2,92	3,20	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 1: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24

<i>Mittelwert</i>	1,32
<i>Std Abw</i>	,53
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

Station 2: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	196	71,53	75,97	75,97
	2	51	18,61	19,77	95,74
	3	11	4,01	4,26	100,00
	9	16	5,84	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 2: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	258
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,28
<i>Std Abw</i>		,54
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 3: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	72,02	72,02
	2	47	17,15	21,56	93,58
	3	13	4,74	5,96	99,54
	4	1	,36	,46	100,00
	9	56	20,44	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 3: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	218
	<i>Fehlende Werte</i>	56
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 4: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	67,20	67,20
	2	63	22,99	25,20	92,40
	3	19	6,93	7,60	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 4: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,40
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 5: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	131	47,81	55,04	55,04
	2	91	33,21	38,24	93,28
	3	15	5,47	6,30	99,58
	4	1	,36	,42	100,00
	9	36	13,14	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 5: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	238
	<i>Fehlende Werte</i>	36
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 6: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	61,89	61,89
	2	68	24,82	27,87	89,75
	3	22	8,03	9,02	98,77
	4	3	1,09	1,23	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 6: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,50



<i>Std Abw</i>	,71
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 7: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	64,08	64,08
	2	71	25,91	28,98	93,06
	3	15	5,47	6,12	99,18
	4	2	,73	,82	100,00
	9	29	10,58	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 7: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	245
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,44
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 8: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	62,88	62,88
	2	63	22,99	27,51	90,39
	3	19	6,93	8,30	98,69
	4	3	1,09	1,31	100,00
	9	45	16,42	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 8: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	229
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,48
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 9: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	157	57,30	62,80	62,80
	2	71	25,91	28,40	91,20
	3	20	7,30	8,00	99,20
	4	2	,73	,80	100,00

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 9: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 10: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	154	56,20	62,10	62,10
	2	77	28,10	31,05	93,15
	3	12	4,38	4,84	97,98
	4	5	1,82	2,02	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 10: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,68
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 11: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	161	58,76	65,45	65,45
	2	66	24,09	26,83	92,28
	3	16	5,84	6,50	98,78
	4	3	1,09	1,22	100,00
	9	28	10,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 11: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	246
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		1,43

<i>Std Abw</i>	,67
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 12: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	177	64,60	70,52	70,52
	2	60	21,90	23,90	94,42
	3	14	5,11	5,58	100,00
	9	23	8,39	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 12: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	251
	<i>Fehlende Werte</i>	23
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 13: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	167	60,95	68,72	68,72
	2	64	23,36	26,34	95,06
	3	12	4,38	4,94	100,00
	9	31	11,31	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 13: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	243
	<i>Fehlende Werte</i>	31
<i>Mittelwert</i>		1,36
<i>Std Abw</i>		,58
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 14: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	154	56,20	61,60	61,60
	2	75	27,37	30,00	91,60
	3	20	7,30	8,00	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 14: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,47
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 15: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	60,89	60,89
	2	67	24,45	27,02	87,90
	3	29	10,58	11,69	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 15: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,71
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 16: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	156	56,93	62,65	62,65
	2	72	26,28	28,92	91,57
	3	20	7,30	8,03	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 16: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,46
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 17: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	146	53,28	58,63	58,63
	2	84	30,66	33,73	92,37
	3	17	6,20	6,83	99,20
	4	2	,73	,80	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 17: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 18: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	151	55,11	59,68	59,68
	2	76	27,74	30,04	89,72
	3	24	8,76	9,49	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	21	7,66	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 18: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	253
	<i>Fehlende Werte</i>	21
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	67,20	67,20
	2	62	22,63	24,80	92,00
	3	19	6,93	7,60	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 19: Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,41
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 20. Material

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	180	65,69	72,00	72,00
	2	57	20,80	22,80	94,80
	3	13	4,74	5,20	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 20. Material

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,33
<i>Std Abw</i>		,57
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 1: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	181	66,06	70,98	70,98
	2	62	22,63	24,31	95,29
	3	12	4,38	4,71	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 1: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,34
<i>Std Abw</i>		,56
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

Station 2: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	210	76,64	79,25	79,25
	2	48	17,52	18,11	97,36

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	3	7	2,55	2,64	100,00
	9	9	3,28	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 2: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	265
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		1,23
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Station 3: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	65,45	65,45
	2	59	21,53	26,82	92,27
	3	15	5,47	6,82	99,09
	4	2	,73	,91	100,00
	9	54	19,71	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 3: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	220
	<i>Fehlende Werte</i>	54
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,66
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 4: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	168	61,31	65,88	65,88
	2	71	25,91	27,84	93,73
	3	14	5,11	5,49	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 4: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19

<i>Mittelwert</i>	1,41
<i>Std Abw</i>	,63
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 5: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	133	48,54	54,96	54,96
	2	92	33,58	38,02	92,98
	3	16	5,84	6,61	99,59
	4	1	,36	,41	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 5: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 6: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	138	50,36	55,65	55,65
	2	96	35,04	38,71	94,35
	3	9	3,28	3,63	97,98
	4	5	1,82	2,02	100,00
	9	26	9,49	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 6: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	248
	<i>Fehlende Werte</i>	26
<i>Mittelwert</i>		1,52
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 7: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	57,83	57,83
	2	87	31,75	34,94	92,77
	3	13	4,74	5,22	97,99



<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	5	1,82	2,01	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 7: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 8: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	141	51,46	61,04	61,04
	2	69	25,18	29,87	90,91
	3	18	6,57	7,79	98,70
	4	3	1,09	1,30	100,00
	9	43	15,69	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 8: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	231
	<i>Fehlende Werte</i>	43
<i>Mittelwert</i>		1,49
<i>Std Abw</i>		,70
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

#### Station 9: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	59,06	59,06
	2	81	29,56	31,89	90,94
	3	21	7,66	8,27	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	20	7,30	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Station 9: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	254
	<i>Fehlende Werte</i>	20

<i>Mittelwert</i>	1,51
<i>Std Abw</i>	,68
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 10: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	149	54,38	59,13	59,13
	2	79	28,83	31,35	90,48
	3	22	8,03	8,73	99,21
	4	2	,73	,79	100,00
	9	22	8,03	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 10: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	252
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,51
<i>Std Abw</i>		,69
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 11: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	144	52,55	57,60	57,60
	2	88	32,12	35,20	92,80
	3	17	6,20	6,80	99,60
	4	1	,36	,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 11: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		1,50
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 12: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	183	66,79	71,21	71,21
	2	58	21,17	22,57	93,77
	3	15	5,47	5,84	99,61

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	1	,36	,39	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 12: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,61
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 13: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	169	61,68	68,98	68,98
	2	64	23,36	26,12	95,10
	3	9	3,28	3,67	98,78
	4	3	1,09	1,22	100,00
	9	29	10,58	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 13: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	245
	<i>Fehlende Werte</i>	29
<i>Mittelwert</i>		1,37
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 14: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	159	58,03	62,11	62,11
	2	67	24,45	26,17	88,28
	3	27	9,85	10,55	98,83
	4	3	1,09	1,17	100,00
	9	18	6,57	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 14: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	256
	<i>Fehlende Werte</i>	18

<i>Mittelwert</i>	1,51
<i>Std Abw</i>	,73
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

Station 15: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	167	60,95	64,98	64,98
	2	71	25,91	27,63	92,61
	3	18	6,57	7,00	99,61
	4	1	,36	,39	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 15: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,43
<i>Std Abw</i>		,64
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 16: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	58,37	58,37
	2	76	27,74	29,57	87,94
	3	29	10,58	11,28	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 16: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17
<i>Mittelwert</i>		1,54
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 17: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	155	56,57	60,78	60,78
	2	77	28,10	30,20	90,98
	3	22	8,03	8,63	99,61

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	4	1	,36	,39	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 17: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		1,49
<i>Std Abw</i>		,67
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 18: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	150	54,74	57,69	57,69
	2	82	29,93	31,54	89,23
	3	24	8,76	9,23	98,46
	4	4	1,46	1,54	100,00
	9	14	5,11	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 18: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	260
	<i>Fehlende Werte</i>	14
<i>Mittelwert</i>		1,55
<i>Std Abw</i>		,73
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Station 19: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	175	63,87	68,09	68,09
	2	65	23,72	25,29	93,39
	3	15	5,47	5,84	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	17	6,20	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Station 19: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	257
	<i>Fehlende Werte</i>	17

<i>Mittelwert</i>	1,39
<i>Std Abw</i>	,64
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	4,00

### Station 20: Experiment

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
	1	191	69,71	74,03	74,03
	2	46	16,79	17,83	91,86
	3	19	6,93	7,36	99,22
	4	2	,73	,78	100,00
	9	16	5,84	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Station 20: Experiment

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	258
	<i>Fehlende Werte</i>	16
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,65
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

### Alle Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	146	53,28	57,25	57,25
nein	1	109	39,78	42,75	100,00
	9	19	6,93	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Alle Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	255
	<i>Fehlende Werte</i>	19
<i>Mittelwert</i>		,43
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

### Auswahl Stationen

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	124	45,26	49,60	49,60
nein	1	126	45,99	50,40	100,00
	9	24	8,76	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Auswahl Stationen

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	250
	<i>Fehlende Werte</i>	24
<i>Mittelwert</i>		,50
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Material vorher

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	113	41,24	47,08	47,08
nein	1	127	46,35	52,92	100,00
	9	34	12,41	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Material vorher

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	240
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		,53
<i>Std Abw</i>		,50
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Material taggleich

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	199	72,63	82,92	82,92
nein	1	41	14,96	17,08	100,00
	9	34	12,41	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Material taggleich

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	240
	<i>Fehlende Werte</i>	34
<i>Mittelwert</i>		,17
<i>Std Abw</i>		,38
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	104	37,96	42,98	42,98
+/-	2	100	36,50	41,32	84,30
-	3	38	13,87	15,70	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Vorbereitung W- und P-Kurse

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,73
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Jugend forscht

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	134	48,91	56,54	56,54
+/-	2	65	23,72	27,43	83,97
-	3	38	13,87	16,03	100,00
	9	37	13,50	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Jugend forscht

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	237
	<i>Fehlende Werte</i>	37
<i>Mittelwert</i>		1,59
<i>Std Abw</i>		,75
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

#### Studium MW NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	209	76,28	83,94	83,94
+/-	2	35	12,77	14,06	97,99
-	3	5	1,82	2,01	100,00
	9	25	9,12	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Studium MW NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	249
	<i>Fehlende Werte</i>	25



<i>Mittelwert</i>	1,18
<i>Std Abw</i>	,43
<i>Minimum</i>	1,00
<i>Maximum</i>	3,00

### EAM

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	122	44,53	50,00	50,00
+/-	2	103	37,59	42,21	92,21
-	3	19	6,93	7,79	100,00
	9	30	10,95	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### EAM

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	244
	<i>Fehlende Werte</i>	30
<i>Mittelwert</i>		1,58
<i>Std Abw</i>		,63
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Schnupperbesuche

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
+	1	179	65,33	73,97	73,97
+/-	2	44	16,06	18,18	92,15
-	3	19	6,93	7,85	100,00
	9	32	11,68	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

### Schnupperbesuche

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	242
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		1,34
<i>Std Abw</i>		,62
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		3,00

### Gesamtkonzept

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Stufenkonzept	1	149	54,38	65,07	65,07
Einstufig	2	80	29,20	34,93	100,00
	9	45	16,42	Fehlende Werte	

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Gesamtkonzept

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	229
	<i>Fehlende Werte</i>	45
<i>Mittelwert</i>		1,35
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

#### Mehrere Termine

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	168	61,31	66,14	66,14
ja	1	86	31,39	33,86	100,00
	9	20	7,30	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Mehrere Termine

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	254
	<i>Fehlende Werte</i>	20
<i>Mittelwert</i>		,34
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Industriekontakte

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
nein	0	192	70,07	78,05	78,05
ja	1	54	19,71	21,95	100,00
	9	28	10,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

#### Industriekontakte

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	246
	<i>Fehlende Werte</i>	28
<i>Mittelwert</i>		,22
<i>Std Abw</i>		,41
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

#### Alternative

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
halbtags	1	219	79,93	86,90	86,90
ganztags	2	33	12,04	13,10	100,00
	9	22	8,03	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		274	100,0	100,0	

Alternative

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	252
	<i>Fehlende Werte</i>	22
<i>Mittelwert</i>		1,13
<i>Std Abw</i>		,34
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		2,00

Fehler: Fehler beim Öffnen der Ausgabedatei `F:\Schule-Hochschule-Projekt Erlangen-Nürnberg\PSPP\Evaluation\Auswertung 052016\Evaluation PSPP WS 15-16.csv': No such file or directory

GET DATA

GET DATA

```
/TYPE=TXT  
/FILE="G:\PSPP\Vortest_PSPP_END.csv"  
/ARRANGEMENT=DELIMITED  
/DELCASE=LINE  
/DELIMITERS=";"  
/VARIABLES=  
  VAR001 A3  
  VAR002 A5  
  VAR003 F1.0  
  VAR004 F1.0  
  VAR005 F1.0  
  VAR006 F1.0  
  VAR007 F1.0.
```

FREQUENCIES

FREQUENCIES

```
/VARIABLES= Nano Jahr Arbeit MW NT  
/FORMAT=AVALUE TABLE.
```

Nano

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Neun	1	3	,67	,67	,67
Millionstel	2	93	20,67	20,90	21,57
Zwerg	3	82	18,22	18,43	40,00
Milliardenstel	4	267	59,33	60,00	100,00
	9	5	1,11	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

Nano

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	445
	<i>Fehlende Werte</i>	5
<i>Mittelwert</i>		3,38
<i>Std Abw</i>		,83
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		4,00

Jahr

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Anf. 21. Jhdt.	1	32	7,11	7,13	7,13

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Anf. 20. Jhdt.	2	107	23,78	23,83	30,96
Ende 1950	3	73	16,22	16,26	47,22
Ende 1970	4	149	33,11	33,18	80,40
Ende 1980	5	88	19,56	19,60	100,00
	9	1	,22	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

### Jahr

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	449
	<i>Fehlende Werte</i>	1
<i>Mittelwert</i>		3,34
<i>Std Abw</i>		1,23
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

### Arbeit

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
< 20 Tsd.	1	40	8,89	8,93	8,93
50 Tsd.	2	111	24,67	24,78	33,71
80 Tsd.	3	185	41,11	41,29	75,00
> 100 Tsd.	4	111	24,67	24,78	99,78
	5	1	,22	,22	100,00
	9	2	,44	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

### Arbeit

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	448
	<i>Fehlende Werte</i>	2
<i>Mittelwert</i>		2,83
<i>Std Abw</i>		,91
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

### MW

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	168	37,33	37,58	37,58
nein	1	279	62,00	62,42	100,00
	9	3	,67	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

### MW

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	447
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		,62
<i>Std Abw</i>		,48
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	300	66,67	67,11	67,11
nein	1	147	32,67	32,89	100,00
	9	3	,67	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		450	100,0	100,0	

NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	447
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		,33
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

GET DATA

GET DATA

```

/TYPE=TXT
/FILE="G:\PSPP\Nachttest_PSPP_END.csv"
/ARRANGEMENT=DELIMITED
/DELCASE=LINE
/DELIMITERS=";"
/VARIABLES=
  VAR001 A3
  VAR002 A5
  VAR003 F1.0
  VAR004 F1.0
  VAR005 F1.0
  VAR006 F1.0
  VAR007 F1.0

```

SAVE

```

SAVE OUTFILE="G:\PSPP\Evaluation\Auswertung 052016
\Nachttest_PSPP_Gesamt.sav".

```

FREQUENCIES

FREQUENCIES

/VARIABLES= Nano Jahr Arbeit MW NT

/FORMAT=AVALUE TABLE.

Nano

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
Millionstel	2	25	7,31	8,06	8,06
Nano	3	226	66,08	72,90	80,97
Milliardstel	4	59	17,25	19,03	100,00
	9	32	9,36	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

Nano

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	310
	<i>Fehlende Werte</i>	32
<i>Mittelwert</i>		3,11
<i>Std Abw</i>		,51
<i>Minimum</i>		2,00
<i>Maximum</i>		4,00

Jahr

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
21. Jdht.	1	22	6,43	6,49	6,49
20. Jdht.	2	61	17,84	17,99	24,48
Ende 1950	3	51	14,91	15,04	39,53
Ende 1970	4	76	22,22	22,42	61,95
Ende 1980	5	129	37,72	38,05	100,00
	9	3	,88	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

Jahr

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	339
	<i>Fehlende Werte</i>	3
<i>Mittelwert</i>		3,68
<i>Std Abw</i>		1,32
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

Arbeit

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
< 20 Tsd.	1	11	3,22	3,23	3,23
50 Tsd.	2	19	5,56	5,57	8,80
80 Tsd.	3	34	9,94	9,97	18,77

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
> 100 Tsd.	4	276	80,70	80,94	99,71
	5	1	,29	,29	100,00
	9	1	,29	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

Arbeit

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	341
	<i>Fehlende Werte</i>	1
<i>Mittelwert</i>		3,70
<i>Std Abw</i>		,72
<i>Minimum</i>		1,00
<i>Maximum</i>		5,00

MW

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	202	59,06	60,30	60,30
nein	1	133	38,89	39,70	100,00
	9	7	2,05	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

MW

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	335
	<i>Fehlende Werte</i>	7
<i>Mittelwert</i>		,40
<i>Std Abw</i>		,49
<i>Minimum</i>		,00
<i>Maximum</i>		1,00

NT

<i>Wertelabel</i>	<i>Wert</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Gültige Prozente</i>	<i>Kumulierte Prozente</i>
ja	0	226	66,08	67,87	67,87
nein	1	107	31,29	32,13	100,00
	9	9	2,63	Fehlende Werte	
<i>Gesamt</i>		342	100,0	100,0	

NT

<i>N</i>	<i>Gültig</i>	333
	<i>Fehlende Werte</i>	9
<i>Mittelwert</i>		,32
<i>Std Abw</i>		,47
<i>Minimum</i>		,00



<i>Maximum</i>	1,00
----------------	------