

CHEMIE

in der Schule



Experimentelle Konzeptionen für einen innovativen Chemieunterricht

- Ein vielseitiger Säure-Base-Indikator aus Blaukraut
- Nagellack als Projektthema
- Experimente mit Kautschuk aus russischem Löwenzahn

Inhalt

Experimentelle Konzeptionen für einen innovativen Chemieunterricht

Herausgeber:
Prof. Dr. Jens Friedrich

Schriftleiter:
Prof. Dr. Jens Friedrich
und Prof. Dr. Marco Oetken, Freiburg

Herausgeber:
Prof. Dr. Matthias Ducci, Karlsruhe
apl. Prof. Dr. Brigitte Duvinage, Potsdam
Prof. Dr. Jens Friedrich, Freiburg
Dr. Peter Heinzerling, Hannover
Dr. Erhard Irmer, Göttingen
Prof. Dr. Annette Marohn, Münster
Prof. Dr. Marco Oetken, Freiburg
Prof. Dr. Michael W. Tausch, Syke

Der Inhalt dieser Hefte wird sorgfältig erarbeitet.

Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber, Redakteur, Herstellung und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung. Bei allen Substanzen, die in Experimenten eingesetzt werden sollen, sind die entsprechenden Gefahrenhinweise nach GHS angegeben.



Zu sämtlichen Experimenten lassen sich die Gefährdungsbeurteilungen unter www.experimentas.de

Unterpunkt Sammlungen, kostenlos herunterladen. Die Herausgeber wollen damit den Lesern einen zusätzlichen Service anbieten. Jeder Experimentator ist aber selbst gehalten, sich genauestens über das Gefährdungspotenzial der verwendeten Stoffe zu informieren, mit entsprechender Vorsicht zu experimentieren und hinterher alles ordnungsgemäß zu entsorgen. Dabei sind die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung (einschließlich H- und P-Sätze) in deren aktueller Fassung sowie die Dienstvorschriften der Schulbehörden zu beachten!

Titelgestaltung: Verlag
Abbildung: biker3 – Fotolia.com

Vorwort J. Friedrich	4	
Blaukraut als Tee, and more ... Methodische Varianten zum Einsatz von Blaukraut als Säure-Base-Indikator J. Kühmstedt	5	
Organische Batterien mit Phloroglucin und Vanillin Schulexperimente zur Demonstration von Redox-Flow-Batteries D. Rosenberg*, A. Rehling, D. Ernst, M. Busker, W. Jansen	9	
Batteriesysteme der Zukunft auf Basis von legierungsfähigen Metallen Die Post-Lithium-Ionen-Technologie – Teil 3 (Anleitung zum Bau eines „Power-Packs“) M. Klaus, M. Hasselmann, M. Harms, M. Oetken*	14	
Kompetenzerwerb mit Nagellack!? Ein Projektvorschlag für den Chemieunterricht V. Hoßfeld, A. Lühken*	21	www.aulis.de
Alternative Kautschukquellen am Beispiel des russischen Löwenzahns experimentell erschließen M. Göbel*, M. Gröger	26	www.aulis.de
Historische Wachstafeln – Alte Medien neu entdeckt F. Maruhn, K. Weirauch, E. Geidel*, M. Cammarosano	31	www.aulis.de

Magazin

Atomorbitale, Molekülorbitale – eine schulische Annäherung Teil 2 R. Conte	36	
Der Strukturorientierte Chemieunterricht H.-D. Barke*, R. Rölleke	41	
Aufgaben zum Nachdenken R. Heimann	47	www.aulis.de
Vorschau/Impressum	50	



Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule
erscheint im Aulis Verlag

Online Ergänzungen

*Korrespondenzautoren
Z213072

Historische Wachstafeln – Alte Medien neu entdeckt

F. Maruhn, K. Weirauch, E. Geidel und M. Cammarosano

Historische Fragestellungen bieten spannende Anknüpfungspunkte für einen kontextorientierten Chemieunterricht. Am Werkstoff Wachs und seiner Verwendung als beschreibbares Medium in der Geschichte lassen sich Unterrichtsinhalte der Organischen Chemie erarbeiten.

Stichwörter: Bienenwachs, Charakterisierung, Wachstafeln, Keilschrift

1 Einleitung

Spätestens seit der Vorstellung der historisch-problemorientierten Unterrichtsmethode [1] gehört fächerübergreifender Unterricht zwischen Chemie und Geschichte zum festen Repertoire. Mit Themen wie „Entwicklung des Atommodells“ oder „Die Geschichte des Aspirins“ geht es dabei stets um die Geschichte der Chemie selbst. Während in der Fachwissenschaft historische Fragestellungen längst auch mit chemischen Methoden beantwortet werden, ist dieser Blickwinkel im Chemieunterricht bislang kaum angekommen. Solche naturwissenschaftlichen Methoden werden in der Archäologie unter dem Begriff *Archäometrie* zusammengefasst. Daran angelehnt bieten außerschulische Lernorte wie Museen inzwischen naturwissenschaftliche Experimente für Kinder in historischen Kontexten an [2]. Dass sich archäometrische Methoden auch in

den Unterricht einbinden lassen, wurde bereits aufgezeigt [3]. Generell werden chemische Analysen an archäologischen Objekten immer dann vorgenommen, wenn die verwendeten Materialien, die Techniken ihrer Verarbeitung oder das Alter der Materialien erforscht werden sollen. Im vorliegenden Fall wird von der Frage nach der Verwendung von Wachs als Beschreibstoff ausgegangen. Hierzu sollen Ideen und Experimente für eine Unterrichtseinheit zu organisch-chemischen Lehrinhalten vorgestellt werden.

2 Historischer Hintergrund

Beschreibbare Wachstafeln stellten im Alten Orient seit dem Ende des 3. Jhdt. v. Chr., in der Antike und während des Mittelalters bis in die Neuzeit ein verbreitetes und wichtiges Medium dar. Aufgrund der Empfindlichkeit des Materials sind jedoch nur wenige Objekte bis heute erhalten geblieben. Von besonderem Interesse ist die Rekonstruktion der Herstellung und Schreibtechnik von Wachstafeln im Alten Orient, da hier dieses Medium für eine einzigartige Art Schrift gebraucht wurde, nämlich die Keilschrift. Diese erste vom Menschen erfundene Schrift war 3000 Jahre lang von Kleinasien bis zur iranischen Hochebene verbreitet. Sie besteht aus keilförmigen Vertiefungen, die mit kantigen Schreibgriffeln erzeugt wurden. Die Keilschrift wurde v. a. auf Tontafeln angewandt. Die bis heute über 500.000 ausgegrabenen Exemplare stellen einen der größten altertümlichen Textcorpora dar. Über Tontafeln hinaus wurde die Keilschrift im Alten Orient sehr oft auch auf Wachstafeln geschrieben [4]. Solche Wachstafeln, die in ihrer Größe durchaus an moderne *tablets* oder *smartphones* erinnern, boten – ähnlich wie moderne *scratchpads* – den großen Vorteil des leichten Transports und mehrfacher Wiederbeschreibbarkeit. Hervorzuheben ist der stark dreidimensionale Charakter der Keilschrift gegenüber den linearen Schriftarten, die später mit spitzen Griffeln auf Wachs geschrieben wurden, also dem ara-

tafeln im Alten Orient, da hier dieses Medium für eine einzigartige Art Schrift gebraucht wurde, nämlich die Keilschrift. Diese erste vom Menschen erfundene Schrift war 3000 Jahre lang von Kleinasien bis zur iranischen Hochebene verbreitet. Sie besteht aus keilförmigen Vertiefungen, die mit kantigen Schreibgriffeln erzeugt wurden. Die Keilschrift wurde v. a. auf Tontafeln angewandt. Die bis heute über 500.000 ausgegrabenen Exemplare stellen einen der größten altertümlichen Textcorpora dar. Über Tontafeln hinaus wurde die Keilschrift im Alten Orient sehr oft auch auf Wachstafeln geschrieben [4]. Solche Wachstafeln, die in ihrer Größe durchaus an moderne *tablets* oder *smartphones* erinnern, boten – ähnlich wie moderne *scratchpads* – den großen Vorteil des leichten Transports und mehrfacher Wiederbeschreibbarkeit. Hervorzuheben ist der stark dreidimensionale Charakter der Keilschrift gegenüber den linearen Schriftarten, die später mit spitzen Griffeln auf Wachs geschrieben wurden, also dem ara-



Abb. 1: Neuassyrische Wachstafel aus Nimrud (Elfenbein, Wachspaste; jedes Blatt 34 × 16 cm; BM 131952 © Trustees of the British Museum)

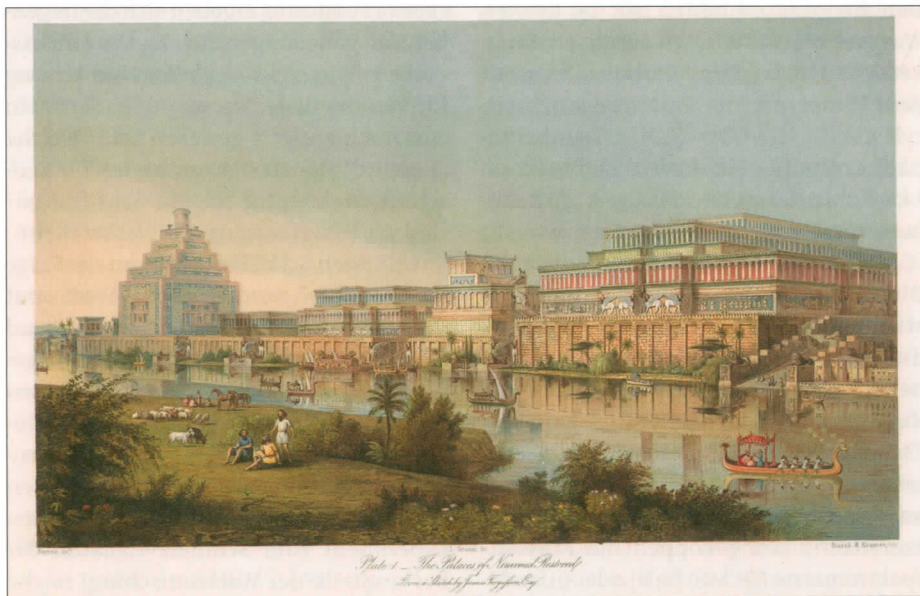


Abb. 2: Rekonstruktionsversuch eines Panoramas von Nimrud durch A. H. Layard, der die erste Ausgrabung von Nimrud leitete (A Second Series of the Monuments of Nineveh, London 1853, Pl. I)

mäischen, griechischen und lateinischen Alphabet. Unterschiedliche Schriftarten erfordern unterschiedliche Eigenschaften des Beschreibmaterials, was sich in der verschiedenen Zusammensetzung der beschreibbaren Wachspaste zeigt. Für die Herstellung von Wachstafeln wurde das Wachs mit mehreren Zutaten – v. a. Fette, Harze und mineralische Pigmente – gemischt. Darüber geben uns neben den seltenen archäologischen Funden ikonographische und schriftliche Quellen Auskunft [5].

Als Ausgangspunkt bzw. Einstieg für die Unterrichtseinheit dient die in Abb. 1 dargestellte Wachstafel aus der antiken Stadt Kalhu (biblische Stadt Kalach, heute Nimrud, 30 km südöstlich von Mossul im Irak), einer der Hauptstädte des neuassyrischen Reichs (Abb. 2). Sie stammt aus dem 8. Jh. v. Chr. und stellt für den Alten Orient den einzigen Fall dar, bei dem eine Portion der in Keilschrift beschriebenen Wachsschicht erhalten geblieben ist. Es handelt sich um ein Prunkexemplar, auf dem ein berühmter Omen-Text festgehalten wurde. Heute ist diese Wachstafel im British Museum in London ausgestellt. In diesem Fall wurde laut modernen Analysen das Bienenwachs mit Auripigment (As_2S_3) gemischt. Die chemische Zusammensetzung des für Alltagstafeln verwendeten Wachsmaterials ist dagegen unbekannt und muss anhand indirekter Hinweise experimentell erforscht werden.

3 Chemie des Bienenwachses

Bienenwachse sind wie die meisten natürlichen Produkte komplexe Stoffgemische mit variierender Zusammensetzung. Den Hauptanteil bilden mit ca. 64–78 % Wachsester, ein Gemisch aus Estern langkettiger Alkohole und Carbonsäuren mit dem Hauptvertreter Palmitinsäuremyricylester ($\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COO-C}_{30}\text{H}_{61}$). Darüber hinaus enthalten Bienenwachse bis zu ca. 14 % Kohlenwasserstoffe ($\text{C}_{21}\text{--C}_{33}$), daneben verschiedene freie Carbonsäuren ($\text{C}_{24}\text{--C}_{30}$) und Alkohole ($\text{C}_{28}\text{--C}_{34}$) [6, 7]. Die relativ langen Ketten der Hauptbestandteile sind verantwortlich für die hydrophobe Natur des Bienenwachses, das bei einer Dichte von 0,95–0,96 g/cm³ auf dem Wasser schwimmt. Zur genauen Charakterisierung der quantitativen chemischen Zusammensetzung bedarf es aufwändiger gaschromatographischer Trenntechniken gekoppelt mit Massenspektrometrie (GCMS) [6, 8] oder infrarotspektroskopischer Techniken (IR) [9, 10], die nur eingeschränkt Gegenstand des Chemieunterrichts sein können. Die Che-

mie des Bienenwachses lässt sich aber auf qualitativer oder halbquantitativer Basis auch mit Schulversuchen erkunden. In enger Anlehnung an Unterrichtsinhalte zum Thema Fette kann zum Beispiel die Säurezahl und in der Folge die Verseifungs- und Esterzahl der Wachse bestimmt werden. Für ein gängiges modernes Bienenwachs errechnet sich aus einer Säurezahl von 18–23 eine Esterzahl von 70–80.

4 Rekonstruktion einer altorientalischen Wachstafel – ein Unterrichtsverlauf

Historische Wachstafeln aus dem Alten Orient, aus der Antike oder aus dem europäischen Mittelalter bestanden aus einem oder mehreren Rahmen aus Holz, Knochen oder Elfenbein, in die eine Mischung aus Bienenwachs und einer variierenden Anzahl anderer Zutaten gegossen wurde [11]. Während römische oder mittelalterliche Rezepte erhalten geblieben sind, ist die genaue Komposition der im Alten Orient verwendete Wachspaste(n) weitgehend unbekannt. Für das neuassyrische Prunkexemplar des British Museum wurde das Bienenwachs mit Auripigment gemischt. Die Komposition der „normalen“, im Alltag verwendeten Wachstafeln kann dagegen nur indirekt und experimentell erforscht werden. Aufgrund historischer Vergleiche und indirekter Hinweise in zeitgenössischen Keilschrifttexten kommen verschiedene Fette, Harze und mineralische Pigmente infrage.

Im Gegensatz zu lateinischen Texten, für die der Griffel durch das Wachs gezogen wird, entsteht Keilschrift durch Eindrücken [12]. Hieraus ergeben sich die folgenden Ausgangsfragen für die Unterrichtseinheit: Wie könnte die Wachsmischung für verschiedene Arten von Wachstafeln zusammengesetzt gewesen sein? Welche „Rezepte“ eignen sich am besten für Keilschrift, welche für lineare Schriftarten? Und wie fertigt man daraus Wachstafeln?

Im ersten Schritt muss damit der Frage nachgegangen werden, wie das Wachs mit den anderen Bestandteilen gemischt und dann ebenmäßig in einen Rahmen gebracht werden kann. An ihre Vorkenntnisse anknüpfend liegt es für die Schülerinnen und Schüler nahe, dass das Wachs zusammen mit den anderen Bestandteilen geschmolzen wurde. Mit einem einfachen Experiment zum Schmelzverhalten der Bestandteile der Wachsmischung (siehe Online-Ergänzungen) lässt sich zeigen, dass z. B. Kolophonium (als Vertreter eines Harzes) bei Temperaturen, bei denen Talg

(als Vertreter eines tierischen Fetts) und Wachs schon geschmolzen sind, noch als Feststoff vorliegt. Auch ein Erhöhen der Temperatur ist nicht zielführend, da sich einige Bestandteile schnell zersetzen. Einfaches Schmelzen kann also nicht die alleinige Antwort darauf sein, wie die Bestandteile zu einem homogenen Ganzen gemischt und in die Holztafel gegossen worden sind.

Als zweiter hypothetischer Ansatz kommt das Lösen der Bestandteile in historisch verfügbaren Lösemitteln in Betracht. In einem entsprechenden Experiment (siehe Online-Ergänzungen) kann das Löseverhalten von Wachs, Talg und Kolophonium in unterschiedlich polaren Lösemitteln wie Wasser, Ethanol, Essig oder Öl untersucht werden. Die Ergebnisse führen zu der Schlussfolgerung, dass Bienenwachs vor allem aus unpolaren Bestandteilen aufgebaut ist, aber auch polare Stoffe enthalten sein müssen. Die geringe, aber vorhandene Löslichkeit in Ethanol lässt auf das Vorhandensein von Carboxyl- oder Hydroxy-Gruppen schließen. Talg hingegen muss aus unpolaren Molekülen bestehen, da er sich in Ethanol und Wasser gar nicht löst. Tatsächlich ist Rindertalg ein klassisches Fett, in dem Glycerin vor allem mit Ölsäure (40 %), Palmitinsäure (25 %) und Stearinsäure (19 %) verestert ist [13]. Kolophonium schließlich ist mäßig polar und löst sich am besten in Ethanol. Wie die meisten Naturprodukte ist es ein Substanzgemisch. Sein Hauptbestandteil ist Abietinsäure ($\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}_2$), die in verschiedenen Isomeren vorliegt (Dextropimar-säure, Laevopimarsäure, u. a.). Hinzu kommen weitere Harzsäuren [14]. Es gibt also kein ideales Lösemittel für alle Komponenten.

Um ein optimales Verfahren entwickeln zu können, in dem sich alle Bestandteile der Wachspaste homogen miteinander vermischen und glatt in einen Rahmen einbringen lassen, ist es also notwendig, zusätzliche Informationen über die Natur der Bestandteile zu gewinnen. An dieser Stelle bietet sich – in Analogie zu Unterrichtsinhalten zum Thema Fette – eine kontextbezogene Verseifung der Wachsester an. So kann der Frage nach dem genaueren chemischen Aufbau des Bienenwachses nachgegangen werden, indem die Säure-, Ester- und Verseifungszahl des Wachses bestimmt werden. Die Experimente lassen sich sowohl als einfache Handversuche durchführen (siehe Online-Ergänzungen) als auch in einer relativ zeitaufwändigen Variante. Für die etwas aufwändigere Variante wird – wie in Abb. 3,

Bild 1 dargestellt – der mit ca. 2,0 g Bienenwachs (genaue Einwaage notieren) und 50 mL Ethanol befüllte Rundkolben im Wasserbad befestigt und unter Rühren solange erwärmt, bis das Wachs geschmolzen ist. Dann werden einige Tropfen Phenolphthalein zugegeben. Die Apparatur wird umgebaut (Abb. 3, Bild 2) und dann weiter unter Rühren und Erwärmen langsam mit einer KOH-Lösung ($c = 0,5 \text{ mol/L}$) bis zum Umschlagspunkt titriert. Die verbrauchte Menge an KOH-Lösung wird notiert, aus ihr berechnet sich die Säurezahl.

Die daran anschließende Bestimmung der Verseifungszahl dauert etwa 90 Minuten. Hierfür werden in den Rundkolben weitere 25 mL der KOH-Lösung ($c = 0,5 \text{ mol/L}$) gegeben. Der Rundkolben wird im Wasserbad befestigt und über ihm der Rückflusskühler angebracht (Abb. 3, Bild 3). Damit wird unter Rühren 45 Minuten unter Rückfluss gekocht (bis die Lösung kocht dauert es nochmals ca. 10 min). Nach dem Kochen wird der Rückflusskühler entfernt und durch eine Bürette mit Salzsäure ($c = 0,5 \text{ mol/L}$) ersetzt. Unter Rühren und weiterem Erwärmen wird bis zum Umschlagspunkt mit Salzsäure titriert. Die verbrauchte Menge an Salzsäure wird notiert, aus ihr berechnet sich die Verseifungszahl.

Zur Auswertung der Experimente werden folgende Definitionen herangezogen:

- Säurezahl (SZ): Anzahl Milligramm Kaliumhydroxid, die notwendig sind, um die in 1 Gramm eines Stoffes enthaltenen freien Säuren zu neutralisieren.
- Verseifungszahl (VZ): Anzahl Milligramm Kaliumhydroxid, die notwendig sind um 1 Gramm eines Stoffes zu verseifen.
- Esterzahl (EZ): Anzahl Milligramm Kaliumhydroxid, die notwendig sind, um die in 1 Gramm eines Stoffes enthaltenen Ester zu verseifen.

Die Berechnung der Säurezahl wird wie folgt vorgenommen:

Aus dem Volumen an verbrauchter KOH-Lösung aus der ersten Titration wird zunächst die Stoffmenge an KOH berechnet und daraus die Masse an KOH. Die berechnete Masse muss auf ein Gramm Wachs bezogen werden, dieser Wert in mg entspricht der Säurezahl (SZ) des Wachses.

Bsp. 1:

$$m_{\text{Wachs}} = 2,068 \text{ g}, c(\text{KOH}) = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} V(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = 1,6 \text{ mL}$$

$$\Rightarrow n(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = c \cdot V = 8 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow m(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = n \cdot M = 0,0448 \text{ g (für obige Wachsmenge)}$$

$$\Rightarrow \text{für } 1 \text{ g Wachs } m(\text{KOH}) \text{ SZ} = 0,0448 \text{ g} : 2,068 = 21,66 \text{ mg}$$

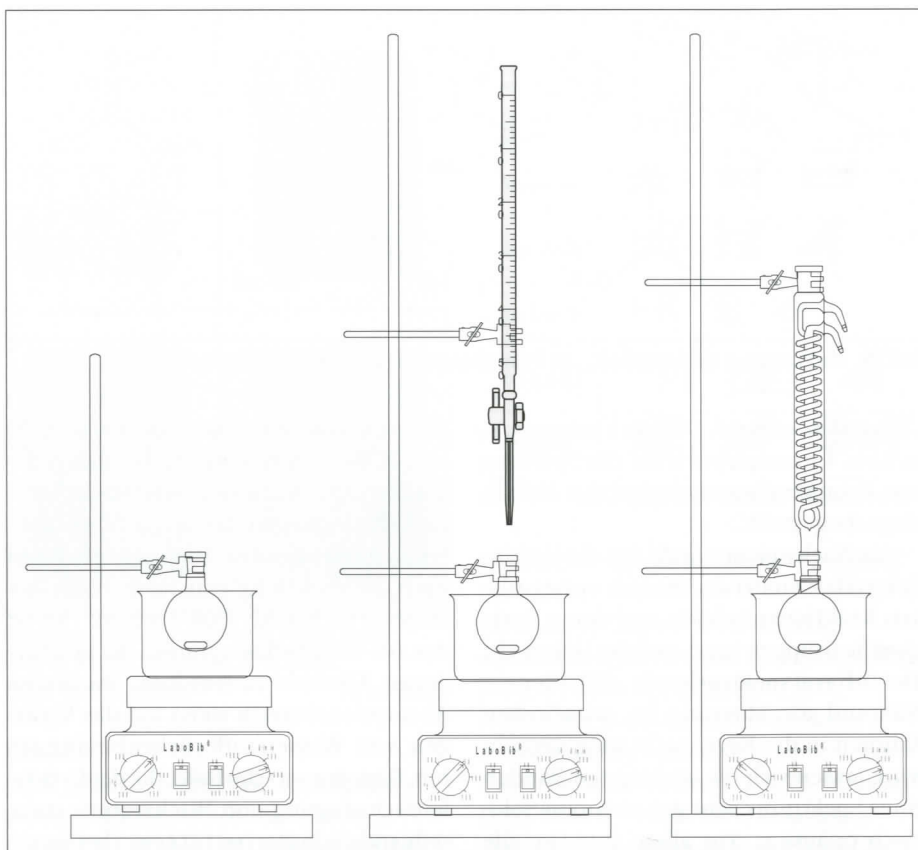


Abb. 3: Versuchsaufbau zur Bestimmung von Verseifungszahl und Säurezahl. Die Apparatur wird schrittweise umgebaut: 1) Erwärmen von Ethanol und Wachs, 2) Aufbau Titrationen und 3) Aufbau Kochen mit Rückflusskühler

Die Berechnung der Verseifungszahl erfolgt auf folgendem Wege:

Aus dem Volumen an verbrauchter Salzsäure aus der zweiten Titration wird zunächst bestimmt, wie viel KOH-Lösung nicht umgesetzt wurde. Aus der Differenz dieses Wertes und der insgesamt zugegebenen Menge an KOH-Lösung kann dann auf die zur Verseifung verwendete Menge an KOH-Lösung zurückgerechnet werden. Durch Bezug auf ein Gramm Wachs erhält man die Verseifungszahl (typische VZ siehe Online-Ergänzungen).

Bsp. 2:

Zu den Mengen aus Bsp.1 werden $V(\text{KOH})_{\text{Zugabe}} = 25 \text{ mL}$ zugegeben, also liegen insgesamt $V(\text{KOH})_{\text{Zugabe}} + V(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = 26,6 \text{ mL}$ und damit $n(\text{KOH})_{\text{gesamt}} = 0,0133 \text{ mol}$ vor. Bei der Titration mit $0,5 \text{ mol/L}$ Salzsäure werden $V(\text{KOH})_{\text{verbarucht}} = 19,7 \text{ mL}$ verbraucht.

$$\Rightarrow n(\text{HCL})_{\text{verbraucht}} = n(\text{KOH})_{\text{übrig}} = c \cdot V = 9,85 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{KOH})_{\text{Verseifung}} = n(\text{KOH})_{\text{gesamt}} - n(\text{KOH})_{\text{übrig}} = 3,45 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{KOH})_{\text{Verseifung}} = n \cdot M = 0,1932 \text{ g (für obige Wachsmenge)}$$

$$\Rightarrow \text{für } 1 \text{ g Wachs } m(\text{KOH}) \text{ VZ} = 93,4 \text{ mg}$$

Abschließend lässt sich daraus die Esterzahl berechnen. Sie ergibt sich aus der Dif-

ferenz von Verseifungszahl und Säurezahl ($\text{EZ} = 71,74 \text{ mg KOH für } 1 \text{ g Wachs}$).

Auf der Grundlage der errechneten Ergebnisse bietet sich die Möglichkeit, verschiedene Bienenwachse im Vergleich zu untersuchen mit der Zielsetzung, das für die Erstellung einer Wachstafel optimale Wachs herauszufinden. Die Untersuchungen deuten darauf hin, dass sich das Wachs mit der höchsten Säurezahl und der niedrigsten Verseifungszahl aufgrund seiner Löslichkeitseigenschaften am besten für altorientalische Wachstafeln eignet.

Über den historischen Kontext hinaus sind die Experimente zur Bienenwachs-Verseifung geeignet, um die Bruttoreaktionsgleichung der Verseifungsreaktion im Unterricht zu erarbeiten. Wie bei den Fetten werden bei der Verseifung der Wachse im basischen Milieu die Esterbindungen gespalten. Während Alkaliseifen aus Fetten durch das entstehende Glycerin eine schmierige Konsistenz haben, sind die aus Wachs gewonnenen Seifen eher krümelig – ein Phänomen, welches bereits bei den beschriebenen Handversuchen (siehe Online-Ergänzungen) sehr schön deutlich wird. Im Gegensatz zu den Fetten entstehen bei der Wachsverseifung langkettige, einwertige Alkohole und

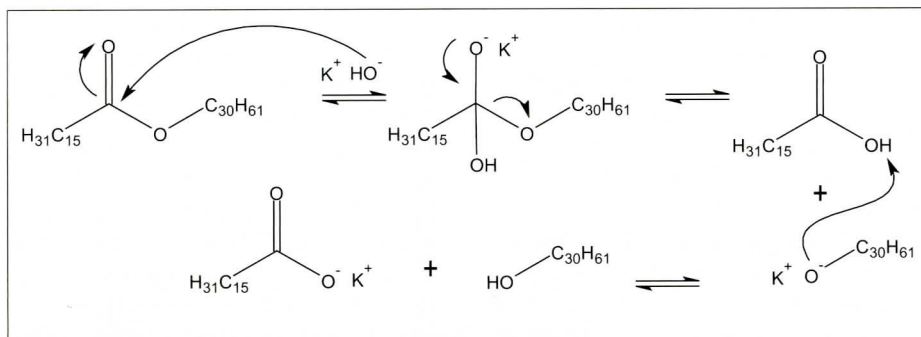


Abb. 4: Mechanismus der Verseifung von Palmitinsäuremyristylester mit Kalilauge

Carboxylat-Anionen. Der Mechanismus ist in Abb. 4 exemplarisch für die Spaltung von Palmitinsäuremyristylester mit Kalilauge dargestellt.

Als Nachweismethode für die Verbindungsklassen der im Versuch entstandenen Reaktionsprodukte und deren funktionelle Gruppen kann auch im Unterricht die Infrarotspektroskopie (IR) dienen. Während die Messung im schulischen Rahmen in der Regel nicht möglich sein wird, lassen sich die wichtigsten Banden eines Spektrums sehr gut phänomenologisch erläutern. Vor allem funktionelle Gruppen zeigen häufig charakteristische Absorptionsbanden im IR, die sich auf der Basis des Konzepts der charakteristischen Gruppenfrequenzen [15] zuordnen lassen. In Abb. 5 sind die IR-Spektren – aufgenommen in abgeschwächter Totalreflexion (ATR) – von Bienenwachs vor (schwarz) und nach der Verseifung (rot) einander gegenübergestellt.

Aus dem Vergleich beider Spektren wird deutlich, dass die den Kohlenwasserstoffresten zuzuordnenden Banden erwartungsgemäß keinen Veränderungen unterliegen. Hierzu gehören die Banden bei 2916 und 2848 cm^{-1} (CH-Valenzschwingungen), die Banden bei 1472 und 1463 cm^{-1}

(CH_2 bending), die Banden bei 730 und 720 cm^{-1} (CH_2 rocking) sowie die Banden geringer Intensität im Bereich 960–800 cm^{-1} (Gerüstschwingungen der langkettigen Kohlenwasserstoffreste). Dagegen erscheint nach der Verseifung eine neue, breite Absorption im Bereich 3500–3200 cm^{-1} . Sie ist den OH-Valenzschwingungen der entstandenen Alkohole zuzuordnen. Ihr breiter Absorptionsbereich weist auf das Vorliegen von Wasserstoffbrückenbindungen hin. Dagegen verschwindet die der C=O-Valenzschwingung von Wachsester zuzuordnende Schulter bei 1713 cm^{-1} bei Verseifung. Stattdessen erscheint eine zusätzliche Bande bei 1575 cm^{-1} mit einer Schulter bei 1411 cm^{-1} . Diese Absorptionen sind den antisymmetrischen und symmetrischen COO-Valenzschwingungen der Carboxylat-Anionen (RCOO^-) zuzuordnen [10] und können damit als Nachweis für die entstandenen Kaliumseifen dienen.

Zusammenfassend ist aus den beschriebenen Experimenten klageworden, dass Erhitzen oder Lösen allein zu keinem homogenen Gemenge führt, mit dem man nutzbare Schreiftafeln herstellen könnte – insbesondere, wenn man Harz als Zutat annimmt. Letztlich muss also eine Kombination aus Lösen und Erhitzen er-

folgen, und die richtigen Zutaten sowie ihre Mengen müssen ermittelt werden.

5 Wachstafel-Rezepte und Keilschrift-Übungen

Steht die entsprechende Zeit zur Verfügung – zum Beispiel im Rahmen eines Seminars, einer Chemie-AG oder im Projektunterricht – können die Schülerinnen und Schüler auf der Grundlage ihrer Erkenntnisse und eventuell unter Rückgriff auf historische Quellen „ihr“ optimales Wachstafel-Rezept ermitteln. Hierzu können die in Tab. 1 zusammengefassten Varianten (ggf. arbeitsteilig) dienen (Versuchsdurchführungen siehe Online-Ergänzungen).

Die so gewonnenen Wachspasten müssen anschließend in Rahmen gefüllt werden und dann abkühlen. Hat man nicht die Möglichkeit, entsprechende Holzrahmen zu beschaffen, lassen sich alternativ auch Plastik-Petrischalen verwenden. Aufgrund mangelhafter Stabilität haben sich kommerziell erhältliche Bastelsets hierfür als ungeeignet erwiesen. Die Ergebnisse mit verschiedenen Wachstafel-Rezepten sind in Abb. 6 dargestellt. Die Größe der Buchenholztafeln (5 x 7 cm, 3 mm Vertiefung) entspricht in etwa denen altorientalischer „Alltags-scratchpads“.

Die so hergestellten Wachstafeln können abschließend auf ihre Eignung für lateinische Schrift versus Keilschrift überprüft werden. Als Griffel für die lateinische Schrift verwendet man am besten das hintere spitze Ende eines schmalen Pinsels mit glattem Stiel. Als Keilschrift-Griffel eignet sich ein scharfkantiges Holzstück (ca. 5 mm x 5 mm x 120 mm), sehr geeignet sind z. B. asiatische Ess-Stäbchen. Das Keilschrift-Schreiben kann anschließend mit der *Hethitischen Grundschule* (Abb. 7, Arbeitsmaterial siehe Online-Ergänzungen) geübt werden. Die Schüler können zum Beispiel ihren eigenen Namen in Keilschrift zusammenstellen und kommen dabei erfahrungsgemäß mit viel Enthusiasmus und schnell zu ersten guten Ergebnissen. Die Eignung der verschiedenen Tafeln für die unterschiedlichen Schrift-

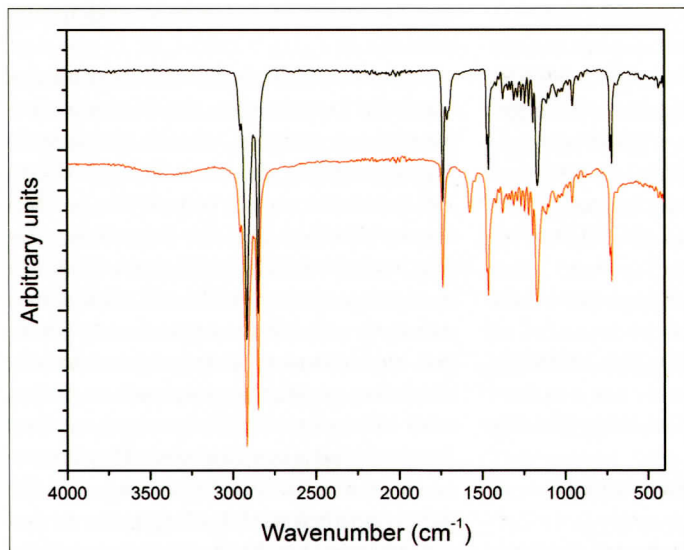


Abb. 5: IR-Spektren von Bienenwachs und seinen Verseifungsprodukten

Variante	Besonderheiten
Römisches Rezept aus dem 2. Jhd. mit Punischem Wachs	Verwendung von Meerwasser Zugabe von Holzkohlestaub und Ocker-Pigment
Römisches Rezept mit Harz	Zugabe von Kolophonium
Mittelalterliches Rezept aus dem 17. Jhd.	Verwendung eines Rezepts im Originaltext Zugabe von Fetten
Rezept nach einem Babylonischen Einkaufszettel	Zugabe von Ocker-Pigment

Tab. 1: Verschiedene Wachstafel-Rezepte

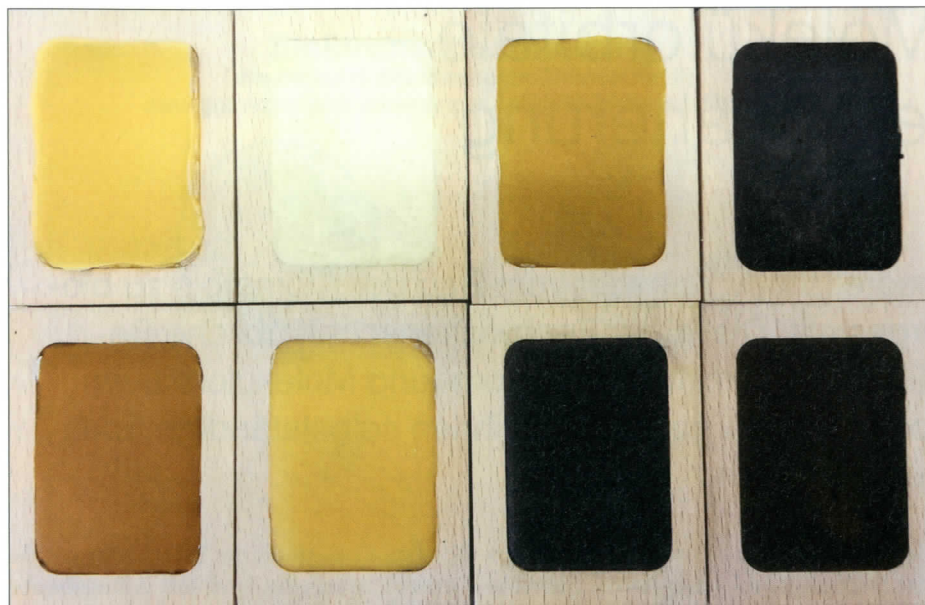


Abb. 6: Wachstafeln hergestellt nach verschiedenen Rezepten (von links oben nach rechts unten: 1) 5 % Harz, 2) Punisches Wachs, 3) reines Bienenwachs, 4) Rezept 17. Jh., 5) 25 % Ocker, 6) 10 % Kolophonium, 7) Holzkohle und 8) 5 % Harz, Ocker und Holzkohle

Abb. Feline Maruhn

typen kann dann durch Testung und Vergleich beurteilt werden.

6 Fazit

Auch wenn die Frage nach der Zusammensetzung altorientalischer Keilschrifttafeln aus Wachs kein Thema ist, das unmittelbar im Interessens- bzw. Erfahrungsbe- reich von Schülern liegt, können sich die- se nach unseren bisherigen Erfahrungen für diesen Kontext leicht begeistern. Ab- gesehen vom Echtheitscharakter der Fra- ge – die Komposition altorientalischer Keilschrifttafeln aus Wachs ist noch weit- gehend ungeklärt – motiviert die Schüler die Möglichkeit, unter Verwendung des eigenen Wissens und im Wettbewerb mit anderen Gruppen ein möglichst optimales Ergebnis zu erreichen. Besonders viel Spaß macht dabei stets das Schreiben in Keilschrift. Angesichts der harmlosen Zu- taten kann das Produkt ihrer Schreibver- suche mit nach Hause genommen wer- den, womit die Kommunikation über che- mische Zusammenhänge am konkreten Beispiel in die Familien getragen wird. So stellt dieser ursprünglich aus den Ge- schichtswissenschaften stammende Kon- text eine gute Möglichkeit dar, um fach- liche Inhalte zu vermitteln und diese nach- haltig im Gedächtnis der Schülerinnen und Schüler zu verankern. ■

Online-Ergänzungen

Die im Beitrag erwähnten Materialien (Versuchsanleitungen und Hethitische Grundschrift I–III) befinden sich in den Online-Ergänzungen.

Literatur

- [1] W. Jansen, C. Matuschek, *Das historisch- problemorientierte Unterrichtsverfahren – Geschichte der Chemie im Chemieunterricht. Grundlinien Deutscher Chemiedidaktik*, Essen 1992, 207–228
- [2] G. Schwedt, *Chemische Experimente in Schlössern, Klöstern und Museen*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2009.
- [3] Themenheft Chemie und Archäologie. PdN-ChiS 59 (5) (2010)
- [4] M. San Nicolò, *Haben die Babylonier Wachstafeln als Schriftträger gekannt?* *Orientalia* 17, S. 59–70 (1948)
- D. Symington, *Late Bronze Age writing-boards and their uses: textual evidence from Anatolia and Syria*. *Anatolian Studies* 41, S. 111–123 (1991)
- W. Waal, *They wrote on wood. The case for a hieroglyphic scribal tradition on wooden writing boards in Hittite Anatolia*. *Anatolian Studies* 61, S. 21–34 (2011)
- [5] J. MacGinnis, *The use of writing boards in the Neo-Babylonian temple administration at Sippar*. *Iraq* 64, S. 217–237 (2002)
- M. Stol, *Einige kurze Wortstudien*. In: S. Maul (ed.), *Festschrift für Rykle Borger zu seinem 65. Geburtstag am 24. Mai 1994: tikip santakki mala bašmu* (CM 10), Groningen, S. 343–352 (1998)
- D.J. Wiseman, *Assyrian Writing Boards*, *Iraq* 17, S. 3–13 (1955)
- [6] B.S. Fröhlich, *Wachse der Honigbiene Apis mellifera carnica Pollm.: Chemische und physikalische Unterschiede und deren Bedeutung für die Bienen*. Dissertation, Universität Würzburg (2000)
- [7] H.R. Hepburn, C.W.W. Pirk, O. Duangphak- dee, *Honeybee Nests: Composition, Structure,*

a-e-i-u	𐎶 𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶
ya-wa	𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶
bu-ba-bi	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶
du-da-di	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶
hu-ha-hi	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶
ku-ka-ki	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶
lu-la-li	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶

Abb. 7: „Hethitische Grundschrift“ (Ausschnitt)

Function. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg 2014, S.320

- [8] M. Roffet-Salque et al., *Widespread exploitation of the honeybee by early Neolithic farmers*. *Nature* 527, S. 226–230 (2015)
- [9] H. Kühn, *Detection and identification of waxes, including Punic wax, by infrared-spectrography*. *Stud. in Conserv.* 5, S. 71–80 (1960)
- [10] J. Cuni, P. Cuni, B. Eisen, R. Savitzky, J. Bove, *Characterization of the binding medium used in Roman encaustic paintings on wall and wood*. *Anal. Methods* 4, S. 659–669 (2012)
- [11] R. Büll, *Das große Buch vom Wachs: Geschichte, Kultur, Technik*. Verlag Georg D. Callwey, München 1977
- [12] M. Cammarosano, *The Cuneiform Stylus, Mesopotamia* 49, S. 53–90 (2014)
- [13] W. Heimann, *Fette und Lipide (Lipids)*, Springer Verlag, Berlin 2012.
- www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Definitionen/Talg.html (Zugriff: 30.3.2016)
- [14] www.kremer-pigmente.com/media/files_public/60300.pdf (Zugriff: 30.3.2016)
- [15] N.B. Colthup, L.H. Daly, S.E. Wiberley, *Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy*. Third Edition, Academic Press, San Diego 1990

Anschrift der Autoren

Feline Maruhn, Katja Weirauch
Prof. Dr. Ekkehard Geidel

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
 Didaktik der Chemie
 Am Hubland, 97074 Würzburg
katja.weirauch@uni-wuerzburg.de
ekkehard.geidel@uni-wuerzburg.de

Dr. Michele Cammarosano

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
 Institut für Altertumswissenschaften
 Altorientalistik
 Residenzplatz 2, Tor A, 97070 Würzburg

Julius-Maximilians-
**UNIVERSITÄT
WÜRZBURG**

Hethitische Grundschule I

Schreiben wie die Hethiter vor 4000 Jahren!

Keilschrift-Schreiben ist viel einfacher, als man so denkt ... und macht Spaß! Du kannst Dir einen echten Keilschrift-Griffel aus Schilfrohr schneiden oder einfach asiatische Ess-Stäbchen hernehmen und loslegen: Die untere scharfe Ecke des Griffels wird in den feuchten Ton bzw. in das Wachs gedrückt.

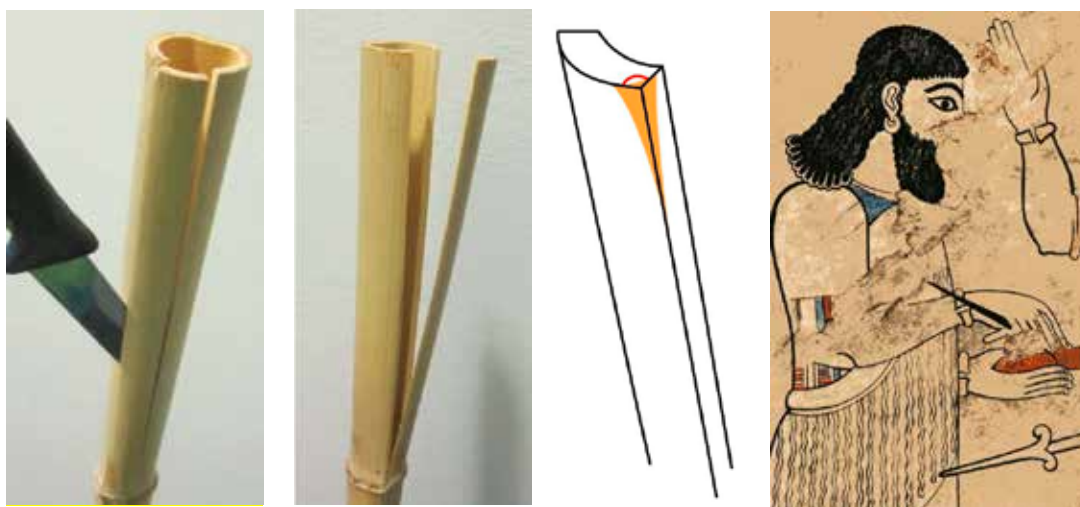


Abb.: Herstellung und Nutzung eines Schilfrohr-Griffels
(Foto und Zeichnung: A. Bramanti; assyrischer Schreiber: Kopie L. Cavro)

Die Keilschriftzeichen bestehen aus einer Kombination von „Keilen“ und jeder dieser Keile wird durch ein eigenes Eindringen des Griffels produziert. Es gibt drei grundlegende Typen von Keilen: Senkrecht, waagrecht und schräg (sog. Winkelhaken). Die Länge des Keils kann man variieren, indem man den Griffel flacher oder steiler hält.

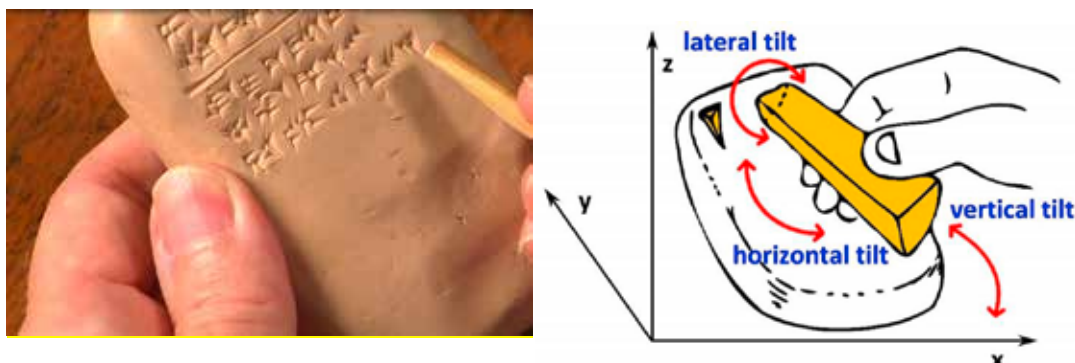
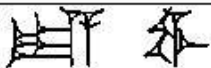






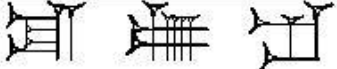




Abb.: Keilschrift-Schreiben (Foto: Th. van den Hout); Haltung des Griffels (Zeichnung: M. Cammarosano)

© Michele Cammarosano, Institut für Altertumswissenschaften, Abteilung Altorientalistik und Katja Weirauch, Didaktik der Chemie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 2016

Hethitische Grundschrift II

Versuche, die Keile so zu Schriftzeichen zu kombinieren, wie unten angedeutet. Schaffst Du es, Deinen Namen zu schreiben? (Kleine Anmerkung: Die originalen Keilschriften haben die Größe dieser Buchstaben, sind also genauso klein wie unsere Schrift!!!)

a-e-i-u	
ya-wa	
bu-ba-bi	
du-da-di	
hu-ha-hi	
ku-ka-ki	
lu-la-li	
mu-ma-mi	
nu-na-ni	
ru-ra-ri	
su-sa-si	
šu-ša-ši	
tu-ta-ti	
zu-za-zi	

Hast Du Lust, mehr über die Keilschrift zu erfahren?

Altorientalistik in Würzburg: <http://www.altorientalistik.uni-wuerzburg.de/startseite/>

Hethitologie-Portal: <http://www.hethitologie.uni-wuerzburg.de/HPM/>

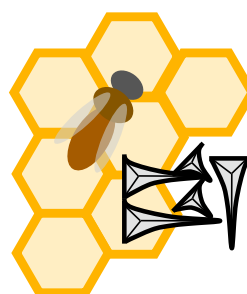
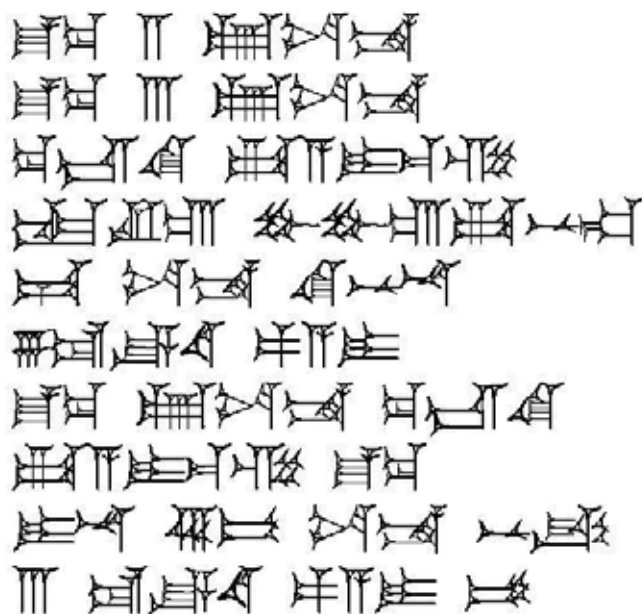
Cuneiform Digital Library Initiative: <http://cdli.ucla.edu/>

Schreibtechnik: http://cdli.ox.ac.uk/wiki/doku.php?id=cuneiform_writing_techniques

Hethitische Grundschrift III

Übungs-Text

Hethitische Gesetze, 1. Serie (CTH 291), § 92



Umschrift:

¹ták-ku 2 É.NIM.LÀL ²ták-ku 3 É.NIM.LÀL ³ku-iš-ki ta-a-i-ez-zi ⁴ka-ru-ú
BU-BU-Ú-TA-NU-UM ⁵ŠA NIM.LÀL ki-nu-na ⁶6 GÍN KÙ.BABBAR pa-a-i ⁷ták-ku
É.NIM.LÀL ku-iš-ki ⁸ta-a-i-ez-zi ták-ku ⁹I-NA ŠÀ-BI NIM.LÀL NU.GÁL ¹⁰3 GÍN
KÙ.BABBAR pa-a-i

Übersetzung:

„Wenn jemand 2 oder 3 Bienenstöcke stiehlt, wurde er früher von den Bienen zersto- chen (wörtlich „(war er) früher ein Geschwürbehafteter der Bienen“); jetzt aber gibt er 6 Shekel Silber. Wenn jemand einen Bienenstock stiehlt (und) wenn keine Bienen darin sind, gibt er 3 Shekel Silber.“

Versuch 1: Untersuchung des Schmelzverhaltens von Bienenwachs, Kolophonium und Rindertalg

Aufgabe:

Überprüfen Sie das Schmelzverhalten der Bestandteile von historischen Wachstafeln!

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • Heizplatte • Spatel oder kleiner Löffel • 3 Reagenzgläser • 3 Reagenzglasklammern • 400 ml Becherglas • Siedesteine • 3 Porzellanschalen • 3 Glasstäbe • Tiegelzange • Waage 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Kolophonium • Rindertalg

Durchführung:

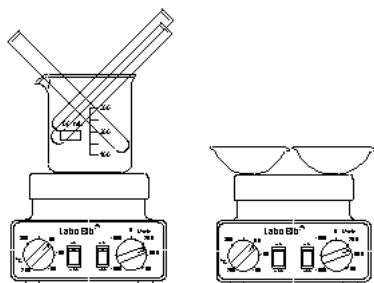
Teil 1: Erhitzen im Wasserbad

Das Becherglas wird zu $\frac{3}{4}$ mit Wasser gefüllt, es werden Siedesteinchen zugegeben und das Wasserbad wird auf der Heizplatte erwärmt. Die Reagenzgläser werden jeweils ca. zwei Finger hoch mit Bienenwachs, Kolophonium und Rindertalg gefüllt und gleichzeitig in das Wasserbad gestellt. Es wird beobachtet, wann die Stoffe zu schmelzen beginnen und die Konsistenz beim Schwenken des Reagenzglases wird beurteilt.

Teil 2: Erhitzen auf der Heizplatte

Es werden jeweils ca. 2 g Bienenwachs, Kolophonium und Rindertalg abgewogen und in je eine Porzellanschale gegeben. Die Porzellanschalen werden im Abzug zusammen auf eine Heizplatte gestellt und langsam erhitzt. Bei 100 °C, 200 °C und 300 °C wird die Veränderung der drei Stoffe beobachtet. Mit den Glasstäben wird dabei immer wieder die Konsistenz geprüft und die Tropfenbildung beobachtet.

Skizze des Versuchsaufbaus:



Beobachtungen:

Im Wasserbad beginnt Talg als erstes zu schmelzen und ist deutlich vor dem Wachs und dem Harz flüssig. Beim Schwenken erscheint die Konsistenz der Flüssigkeit ähnlich wie die von Pflanzenöl. Das Wachs schmilzt als nächstes. Beim Schwenken ist es dem Talg sehr ähnlich. Das Harz (Kolophonium) ist zu dem Zeitpunkt, an dem das Wachs schon flüssig ist immer noch sehr zäh.

Beim Erhitzen auf der Heizplatte bildet sich schon bei 100 °C bei Talg und Wachs ein klarer runder Tropfen beim Herausziehen des Glasstabs aus der Flüssigkeit, wobei das Wachs deutlich schneller wieder erstarrt. Das zähflüssige Kolophonium hingegen zieht Fäden, die an der Luft schnell erstarren. Beim weiteren Erhitzen beginnen das Wachs und der Talg langsam zu verdampfen, das Kolophonium verliert an Viskosität, wird dunkel und beginnt ebenfalls zu verdampfen. Bei 300°C ist die Konsistenz des Kolophoniums ähnlich der des Bienenwachses, allerdings kommt es beim Kolophonium zu einer starken Rauchentwicklung.

Ergebnis:

Die drei Stoffe haben sehr unterschiedliche Schmelzpunkte. Kolophonium, welches den höchsten Schmelzpunkt hat, scheint sich bei Erreichen einer brauchbaren Konsistenz bereits zu zersetzen. Es sollte also mit geringeren Temperaturen gearbeitet werden.

Sicherheitshinweise und Entsorgung:

Bienenwachs, Rindertalg: keine Gefahrstoffe

Kolophonium:



Achtung

Gefahrenhinweis: H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

Nach dem Abkühlen können die Feststoffe im Restmüll entsorgt werden.

Versuch 2: Löslichkeit von Wachs, Harz und Talg in historischen Lösemitteln

Aufgabe:

Überprüfen Sie die Löslichkeit der Bestandteile von historischen Wachstafeln in den damals zur Verfügung stehenden Lösemitteln! Beobachten Sie das Löseverhalten jeweils in kaltem Lösemittel, bei Erwärmung und nach dem Wieder-Abkühlen!

Gehen Sie arbeitsteilig vor, indem Sie acht Gruppen bilden. Immer zwei Gruppen teilen sich ein warmes Wasserbad.

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • Reagenzglasständer • 3 Reagenzgläser • 3 Gummistopfen • Reagenzglasklammer • 400 ml Becherglas • Heizplatte • Siedesteine 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Harz (Kolophonium) • Rindertalg • Dest. Wasser • Ethanol • Essigessenz • Pflanzenöl (z.B. Sonnenblumenöl)

Vorbereitung:

Das Becherglas wird zu $\frac{3}{4}$ mit Leitungswasser gefüllt. Man gibt Siedesteinchen hinein und erhitzt das Wasser auf der Heizplatte. Dabei sollte das Wasserbad nicht kochen!

In je ein Reagenzglas werden folgende Substanzen gegeben: Ein Pellet Bienenwachs (ca. 0,2 g), ein erbsengroßes Stück Kolophonium, ein erbsengroßes Stück Rindertalg.

Die verschiedenen Gruppen überprüfen nun die Löslichkeit nach folgendem Schema:

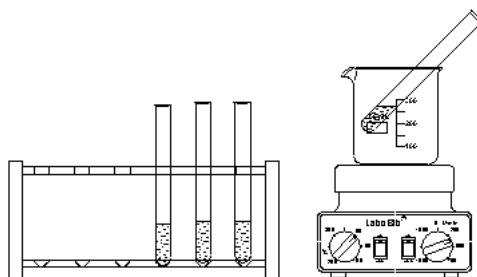
Gruppe 1 und 5: Löslichkeit in Wasser

Gruppe 2 und 6: Löslichkeit in Ethanol

Gruppe 3 und 7: Löslichkeit in Essig

Gruppe 4 und 8: Löslichkeit in Pflanzenöl

Skizze des Versuchsaufbaus:



Durchführung:

- Die Reagenzgläser mit den Proben werden jeweils ca. zwei Finger hoch mit dem jeweiligen Lösemittel befüllt.
- Dann wird der Stopfen aufgesetzt und gut geschüttelt.
- Die ersten Beobachtungen werden notiert.
- Nun hält man die Reagenzgläser mit Hilfe der Reagenzglasklammer nacheinander in das Wasserbad (ohne Stopfen!) und schüttelt immer wieder vorsichtig (mit Stopfen). Wenn möglich sollte solange erwärmt werden, bis die Probe schmilzt.
- Die Beobachtungen werden notiert.
- Anschließend lässt man die Reagenzgläser im Reagenzglasständer abkühlen.
- Nach dem Abkühlen werden nochmals die Beobachtungen notiert.

Entsorgung:

Feststoffe (feste Wachs-, Harz- und Talgreste) in den Restmüll. Lösungen in den Ausguss und mit viel Wasser nachspülen.

Beobachtungen:

Nach Schütteln bei Raumtemperatur:

	Wasser (dest.)	Ethanol	Essigessenz	Pflanzenöl
Bienenwachs	-	-	-	-
Kolophonium	-	+	+	-
Talg	-	-	-	-

Nach Erwärmen im Wasserbad:

	Wasser (dest.)	Ethanol	Essigessenz	Pflanzenöl
Bienenwachs	-	Schmelzen, Phase unter Ethanol	Schmelzen, Phase auf Essig	+
Kolophonium	-	+	+	-
Talg	Schmelzen, Phase auf Wasser	Suspension	Schmelzen, Phase auf Essig	+

Nach Abkühlen:

	Wasser (dest.)	Ethanol	Essigessenz	Pflanzenöl
Bienenwachs	Feste Schicht auf Wasser	Teile des Waxes haben sich gelöst, andere schwimmen	Feste Schicht auf Wasser	Gel
Kolophonium	-	+	+	-
Talg	Feste Schicht auf Wasser	-	Feste Schicht auf Wasser	+

Ergebnis:

Aus den Beobachtungen lässt sich schließen, dass Bienenwachs zum größten Teil unpolar ist, aber auch polare Gruppen wie Alkohole und Carbonsäuren enthält (geringe Löslichkeit in Ethanol). Diese fehlen dem Talg, denn dieser löst sich überhaupt nicht in Ethanol. Kolophonium hingegen ist überwiegend mäßig polar, da es sich am besten in Ethanol löst. Für alle Lösevorgänge ist ein Erwärmen notwendig.

Sicherheitshinweise Versuch 2:Bienenwachs, Rindertalg, dest. Wasser und Pflanzenöl: keine GefährdungsangabenKolophonium:

Achtung



Gefahrenhinweise:

H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

Ethanol:

Gefahr



Gefahrenhinweise:

H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.

H319 Verursacht schwere Augenreizung.

Essigessenz:

Achtung



Gefahrenhinweise:

H319: Verursacht schwere Augenreizung.

Versuch 3: Säure-, Ester- und Verseifungszahl von Bienenwachs

Bienenwachs ist ein Gemisch, das vor allem aus Wachsestern besteht. In diesen sind langkettige Alkohole und Carbonsäuren miteinander verestert. Weiterhin liegen im Wachs freie Carbonsäuren und Alkohole vor. In welchem Verhältnis veresterte und freie Carbonsäuren und Alkohole vorliegen, bestimmt letztlich die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bienenwachses.

Aufgabe:

Ermitteln Sie genauere, quantitative Informationen über den chemischen Aufbau von Bienenwachs! Bestimmen Sie Verseifungszahl und Säurezahl und berechnen Sie daraus die Esterzahl für das Bienenwachs!

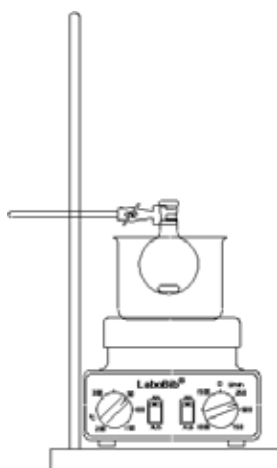
Vergleichen Sie Ihre Werte mit den Angaben in der Tabelle und beurteilen Sie, ob Ihr Wachs besser oder schlechter als die Vergleichssubstanzen in Ethanol löslich ist. Begründen Sie Ihre Antwort!

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • 250 ml Rundkolben • Wasserbadtopf • Heizplatte mit Magnetrührer und Rührfisch • Hebebühne (Laborboy) • Rückflusskühler mit Wasserschläuchen und Schlauchschellen • 2 Stativ mit Klammern und Muffen • Bürette (50 ml) • Trichter 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Kaliumhydroxid (zur Herstellung von Maßlösung, oder Maßlösung mit $c = 0,5 \text{ mol/l}$) • Dest. Wasser • Ethanol (reinst.) • Salzsäure ($0,5 \text{ mol/l}$) • Phenolphthalein-Indikatorlösung

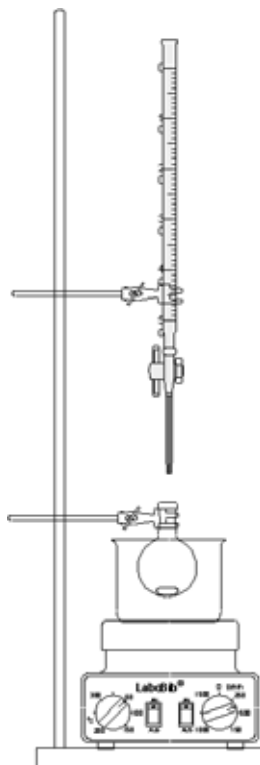
Vorbereitung:

- Zunächst wird eine Kaliumhydroxid-Maßlösung mit $c = 0,5 \text{ mol/l}$ hergestellt. Dazu werden 2,8 g Kaliumhydroxid in 100 ml destilliertem Wasser gelöst.
- In den Rundkolben werden 2,0 g Bienenwachs (genaue Einwaage notieren) und 50 ml Ethanol gegeben.
- Die Bürette wird mit Hilfe des Trichters mit der Kaliumhydroxid-Lösung befüllt.

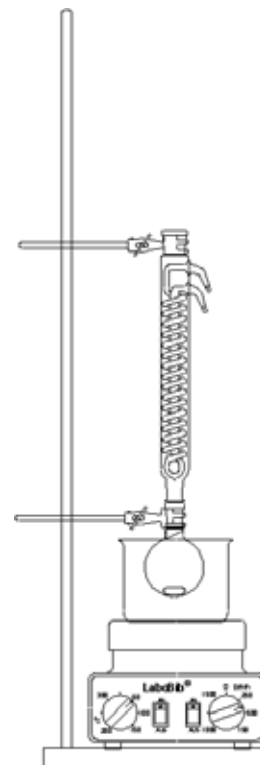
Skizze der Versuchsaufbauten:



Erwärmen von Ethanol und Wachs



Aufbau Titrationen



Aufbau Kochen mit Rückflusskühler

Durchführung:**a) Bestimmung der Säurezahl**

Dauer: ca. 30 min

Der befüllte Rundkolben wird im Wasserbad befestigt und unter Rühren solange erwärmt, bis das Wachs geschmolzen ist. Dann werden einige Tropfen Phenolphthalein zugegeben. Nun wird weiter unter Rühren und Erwärmen langsam mit der KOH-Lösung bis zum Umschlagspunkt titriert. Hierbei ist ein sehr genaues Arbeiten notwendig! Die verbrauchte Menge an KOH-Lösung wird notiert, aus ihr berechnet sich die Säurezahl.

b) Bestimmung der Verseifungszahl

Dauer ca. 90 min

In den Rundkolben werden weitere 25 ml der KOH-Lösung gegeben (dies kann direkt im Anschluss an die Titration oder in zeitlichem Abstand geschehen). Der Rundkolben wird im Wasserbad (Heizplatte auf Laborboy) befestigt und über ihm der Rückflusskühler angebracht. Sobald der Rückflusskühler in Betrieb ist wird unter Rühren eine $\frac{3}{4}$ Stunde gekocht (bis die Lösung kocht dauert es nochmals ca. 10 min).

Die Bürette wird mit 0,5 mol/l Salzsäure befüllt.

Nach dem Kochen wird der Rückflusskühler entfernt und durch eine mit Salzsäure befüllte Bürette ersetzt. Unter Rühren und weiterem Erwärmen wird bis zum Umschlagspunkt mit Salzsäure titriert. Die verbrauchte Menge an Salzsäure wird notiert, aus ihr berechnet sich die Verseifungszahl.

Auswertung:

Definitionen:

- Säurezahl (SZ): Anzahl Milligramm Kaliumhydroxid, die notwendig sind um die in 1 Gramm eines Stoffes enthaltenen freien Säuren zu neutralisieren.
- Verseifungszahl (VZ): Anzahl Milligramm Kaliumhydroxid, die notwendig ist um 1 Gramm eines Stoffes zu verseifen.
- Esterzahl (EZ): Anzahl Milligramm Kaliumhydroxid, die notwendig sind um die in 1 Gramm eines Stoffes enthaltenen Ester zu verseifen.

Berechnung der Säurezahl:

Aus dem Volumen an verbrauchter KOH-Lösung aus der ersten Titration wird zunächst die Stoffmenge an KOH berechnet und daraus schließlich die Masse. Dann muss diese noch auf ein Gramm Wachs bezogen werden. Dieser Wert in mg ist die Säurezahl.

Bsp.1:

$$m_{\text{Wachs}} = 2,068 \text{ g}, c(\text{KOH}) = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{l}}, V(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = 1,6 \text{ ml}$$

$$\Rightarrow n(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = c \cdot V = 8 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow m(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = n \cdot M = 0,0448 \text{ g (für obige Wachsmenge)}$$

$$\Rightarrow \text{für 1 g Wachs } m(\text{KOH}) \text{ SZ} = 0,0448 \text{ g} : 2,068 = 21,66 \text{ mg}$$

Berechnung der Verseifungszahl:

Aus dem Volumen an verbrauchter Salzsäure aus der zweiten Titration wird zunächst bestimmt, wie viel KOH-Lösung nicht umgesetzt wurde. Aus der Differenz dieses Wertes und der insgesamt zugegebenen Menge an KOH-Lösung kann dann auf die zur Verseifung verwendete Menge an KOH-Lösung zurückgerechnet werden. Durch Bezug auf ein Gramm Wachs erhält man die Verseifungszahl.

Bsp.2:

Zu den Mengen aus Bsp.1 werden $V(\text{KOH})_{\text{Zugabe}} = 25 \text{ ml}$ zugegeben, also liegen insgesamt $V(\text{KOH})_{\text{Zugabe}} + V(\text{KOH})_{\text{verbraucht}} = 26,6 \text{ ml}$ und damit $n(\text{KOH})_{\text{gesamt}} = 0,0133 \text{ mol}$ vor. Bei der Titration mit 0,5 mol/l Salzsäure werden $V(\text{KOH})_{\text{Verbrauch}} = 19,7 \text{ ml}$ verbraucht.

$$\Rightarrow n(\text{HCL})_{\text{Verbrauch}} = n(\text{KOH})_{\text{übrig}} = c \cdot V = 9,85 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{KOH})_{\text{Verseifung}} = n(\text{KOH})_{\text{gesamt}} - n(\text{KOH})_{\text{übrig}} = 3,45 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{KOH})_{\text{Verseifung}} = n \cdot M = 0,1932 \text{ g (für obige Wachsmenge)}$$

$$\Rightarrow \text{für 1 g Wachs } m(\text{KOH}) \text{ VZ} = 93,4 \text{ mg}$$

Typische Verseifungszahlen zum Vergleich (je kleiner die mittlere molare Masse eines Fettes (kurzkettige Fettsäuren), desto größer seine Verseifungszahl):

Substanz	Bereich der Verseifungszahl (mg)
Rosenöl	8–21
Bienenwachs	87–103
Olivenöl	ca. 190
Kakaobutter	194–196
Butter	ca. 225

Berechnung der Esterzahl:

Die Esterzahl ist daraus rechnerisch zugänglich. Sie ergibt sich aus der Differenz Verseifungszahl – Säurezahl (EZ = 71,74 mg KOH für 1 g Wachs).

Entsorgung:

Die neutrale Lösung wird als organischer, halogenhaltiger Abfall entsorgt.

Sicherheitshinweise Versuch 3:

Bienenwachs: – kein gefährlicher Stoff

Ethanol:
Gefahr



Gefahrenhinweise:

H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.

H319 Verursacht schwere Augenreizung.

Kaliumhydroxid:
Gefahr



Gefahrenhinweise:

H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

Salzsäure:
Achtung



Gefahrenhinweise:

H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

Phenolphthalein-Indikatorlösung:

Gefahr



Gefahrenhinweise:

H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.

H319 Verursacht schwere Augenreizung.

H341 Kann vermutlich genetische Defekte verursachen.

H350 Kann Krebs erzeugen.

Versuch 4: Handversuch zur Verseifung von Wachs und Fett

Vergleichen Sie zwei natürlich vorkommende Ester!

Aufgabe:

Führen Sie eine Verseifung mit einem Wachs und einem Fett durch. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen! Gehen Sie dabei vor allem auf das chemische Verhalten bei der Verseifung sowie auf die Eigenschaften der entstehenden Produkte ein!

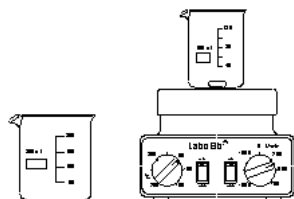
Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • 2x 150 ml Becherglas • 2x Heizplatte mit Magnetrührer und Rührfischen • 2x 250 ml Becherglas • 2 Glasstäbe • Tiegelfzange • Löffel • Küchenpapier • Handschuhe 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Kokosfett • Natronlauge (ca. 25%ig) • Dest. Wasser • Natriumchlorid

Vorbereitung:

In die 150 ml Bechergläser werden je 10 g Wachs bzw. Kokosfett eingewogen.

In die 250 ml Bechergläser wird jeweils ca. 100 ml dest. Wasser gegeben und dann solange Natriumchlorid hinzugefügt bis eine gesättigte Lösung entsteht.

Skizze des Versuchsaufbaus:



Durchführung:

Das Bienenwachs und das Kokosfett werden in je einem kleinen Becherglas vorsichtig und unter Rühren auf der Heizplatte bis zum Schmelzen erwärmt. Dann wird langsam jeweils ca. 20 ml Natronlauge zugetropft, anschließend werden langsam je 20 ml dest. Wasser zugegeben. Nun wird ca. 20 min unter Rühren gekocht. Verdunstetes Wasser sollte nachgefüllt werden.

Die großen Bechergläser mit der Salzlösung werden bereitgestellt. Die kleinen Bechergläser werden mit der Tiegelfzange von der Heizplatte genommen und der Inhalt wird vorsichtig in je eine Salzlösung gekippt.

Die entstandenen Seifen können dann mit einem Löffel auf ein Küchenpapier abgeschöpft werden. Mit Lauge-festen Handschuhen werden die Seifen ausgepresst und ihre Konsistenz geprüft. Sie können dann noch über Nacht getrocknet werden um am nächsten Tag erneut die Konsistenz zu prüfen.

Beobachtung:

- Mit Zugabe der Natronlauge findet eine Trübung der Lösungen statt.
- Nach dem Kochen sind beide Lösungen klar mit aufschwimmenden Flocken.
- Die Wachsseife ist recht spröde und krümelig, die Fettseife dagegen eher schmierig.
- Auch nach dem vollständigen Trocknen ist die Wachsseife bröselig bis faserig, die Fettseife lässt sich immer noch recht leicht verschmieren.

Entsorgung:

Die getrockneten Seifen können im Restmüll entsorgt werden. Die alkalische Salzlösung wird mit Salzsäure neutralisiert und dann mit viel Wasser im Abguss entsorgt.

Sicherheit Versuch 4:

Bienenwachs, Kokosfett: – keine gefährlichen Stoffe –

Natronlauge (25%ig):

Gefahr



Gefahrenhinweise:

H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

Versuch 5: Herstellung von verschiedenen Wachspasten für die Wachstafeln

Allgemeine Hinweise für die Lehrkraft:

Die Mengenangaben beziehen sich auf eine Wachstafel mit den Innenmaßen 7 x 5 cm und einer Tiefe von 3 mm. Liegen die Tafeln waagrecht, so kann durch vorsichtiges Gießen eine glatte Oberfläche erzielt werden. Ansonsten empfiehlt es sich, den Rand mit Ton zu erhöhen um ein Auslaufen des Waxes zu verhindern. Unebenheiten oder überstehendes Wachs können nach dem Erkalten der Tafeln mit einem erwärmten Spachtel oder Malermesser ausgeglichen bzw. entfernt werden.



Abbildung: Wachstafeln hergestellt nach verschiedenen Rezepten (von links oben nach rechts unten: 1) 5% Harz 2) Punisches Wachs 3) reines Bienenwachs 4) Rezept 17 Jh. 5) 25% Ocker 6) 10% Kolophonium 7) Holzkohle und 8) 5% Harz, Ocker und Holzkohle)

Für einige der Rezepte werden ungewöhnliche Zutaten benötigt, die vorher zubereitet werden müssen. Angaben dazu finden sich jeweils bei den einzelnen Rezepten.

Auswertung der Versuche 5a–d:

Die Versuche können arbeitsteilig durchgeführt werden, indem jede Gruppe ein anderes Rezept verfolgt. Das Schreiben in Keilschrift kann dann nach der Vorlage „Hethitische Grundschule“ erfolgen.

5a: Römisches Rezept mit Punischem Wachs

Aufgabe:

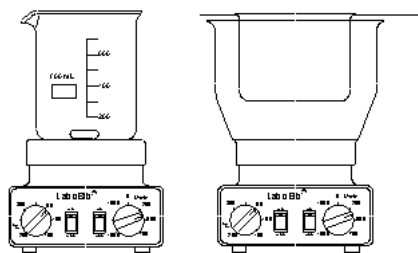
Stellen Sie eine Schreibtafel aus Wachs her! Benutzen Sie für die Wachspaste ein Rezept aus dem Alten Rom. Beurteilen Sie die Eignung des Rezeptes, indem Sie die Wachstafel mit lateinischer Schrift und mit Keilschrift beschreiben!

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • Holztafel • Küchenreibe • Mörser mit Pistill • Heizplatte mit Magnetrührer und Rührfisch • 600 ml Becherglas • Topflappen o. ä. • Löffel • Küchenpapier • Küchen- oder Laborhandschuhe • Topf mit Wasserbadeinsatz • Glasstab 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Meersalz • Dest. Wasser • Natriumcarbonat (Soda) • Holzkohlestaub • Ocker (gelb)

Vorbereitung:

Um Holzkohlestaub zu erhalten wird handelsübliche Holzkohle mit einer Küchenreibe zerkleinert und wenn nötig danach mit dem Mörser weiter zerstoßen.

Herstellung von Meerwasser: Der Salzgehalt des Mittelmeeres (von hier kommt das „Punische Wachs“) beträgt ca. 3,9%. Daher werden für das Meerwasser 9,75 g Meersalz in 250 ml dest. Wasser gelöst. Dieses wird unter Rühren auf der Heizplatte erwärmt.

Skizze der Versuchsaufbauten:**Durchführung:**

In das erwärmte „Meerwasser“ werden eine gehäufte Spatelspitze Soda (ca. 0,5 g) und 10 g Bienenwachs gegeben. Das Ganze wird zum Kochen erhitzt und ca. 10-15 min gekocht. Danach nimmt man das heiße Becherglas von der Heizplatte (Topflappen) und lässt das Ganze auskühlen (so weit, dass man das Becherglas ohne sich zu verbrennen anfassen kann). Anschließend schöpft man das Produkt mit einem Löffel auf ein Küchenpapier ab und trocknet es dort.

Vor der Weiterverarbeitung sollte überschüssiges Soda entfernt werden. Dazu wird das Salzwasser entsorgt, das Becherglas ausgewaschen, mit 250 ml dest. Wasser erneut gefüllt und auf die Heizplatte gestellt. Man gibt das abgeschöpfte Wachs hinein und erhitzt wiederum bis zum Kochen. Das Wachs wird wieder abgeschöpft und in oben beschriebener Weise getrocknet. Dann wird der pH-Wert der wässrigen Lösung, in der man das Wachs ausgewaschen hat, geprüft (sollte noch alkalisch sein). Das „Waschen“ wird so oft wiederholt, bis die wässrige Waschlösung keine oder nur noch eine ganz schwache alkalische Reaktion zeigt.

Für die **Herstellung der Wachspaste** wird als Vorbild eine römische Wachspaste aus dem 2. Jhd. genommen. Hierzu werden 6,5 g Punisches Wachs, 6,6 g Bienenwachs, 7 Spatelspitzen Holzkohlestaub und eine Spatelspitze Ocker in einen Wasserbad-Einsatz eingewogen und dann langsam unter Rühren (Glasstab) auf dem Wasserbad erwärmt. Wenn eine homogene Masse entstanden ist, dann kann diese vorsichtige aber zügig (damit das Wachs nicht schon beim Gießen fest wird) in die Holztafel gegossen werden. Das Punische Wachs weist eher eine cremige Konsistenz auf, so dass ein gleichmäßiges Einfüllen schwer ist. Die Oberfläche kann nach dem Erkalten wie oben beschrieben geglättet werden.

Vor dem Beschreiben muss die Tafel vollständig auskühlen.

Entsorgung:

Die trockenen Wachspasten können im Restmüll entsorgt werden, die leicht alkalischen Lösungen mit viel Wasser im Ausguss.

Sicherheitshinweise Versuch 5a:

Bienenwachs, Meersalz, dest. Wasser, Holzkohlestaub, Ocker (gelb):

– keine gefährlichen Stoffe –

Natriumcarbonat (Soda):

Achtung

**Gefahrenhinweise:**

H 319 Verursacht schwere Augenreizungen.

P 260-305 Staub nicht einatmen. Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen. Reaktion bei Kontakt mit den Augen.

P 351 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.

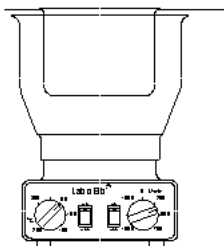
P 338 Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.

5b: Römisches Rezept mit Harz (Kolophonium)**Aufgabe:**

Stellen Sie eine Schreibtafel aus Wachs her! Benutzen Sie für die Wachspaste ein Rezept aus dem Alten Rom.

Beurteilen Sie die Eignung des Rezeptes, indem Sie die Wachstafel mit Keilschrift beschreiben!

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • Heizplatte • Topf mit Wasserbadeinsatz • Glasstab • Holztafel 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Kolophonium

Skizze des Versuchsaufbaus:**Durchführung:**

In den Wasserbadeinsatz werden 15 g Bienenwachs und 1,5 g Kolophonium eingewogen. Diese werden unter Rühren (Glasstab) auf dem Wasserbad geschmolzen. Es muss solange unter Wärmezufuhr gerührt werden, bis sich auch das Kolophonium vollständig aufgelöst hat.

Dann wird die Paste in die Holztafel gegossen. Vor dem Beschreiben muss die Tafel vollständig auskühlen.

Entsorgung:

Die kalte Wachspaste kann im Restmüll entsorgt werden.

Sicherheitshinweise Versuch 5b:

Bienenwachs: – kein gefährlicher Stoff –

Kolophonium:

Achtung



Gefahrenhinweise:

H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

5c: Mittelalterliches Rezept mit Fetten (17. Jhd.)

Es wird 60 Pfund gelbes Wachs genommen, in einem grossen Kessel zusammen geschmolzen, und nachher der Bodensatz wegen der Unreinigkeit wohl abgezogen; alsdann wird 4 Pfund gutes Lein-Oehl genommen, in einem besondern Kessel mit gebrannten Rockenbrod und gebrannten Rindsknochen so lange gesotten, bis alle Fettigkeit davon und solches auf die Helffte eingekocht ist, folgend wird das Wachs wieder bey gelinden Feuer geschmolzen, dieses gereinigte Leinöhl, samt 10 Pfund reinem Bock-Talch und 32 kleinen Rußbutten darunter gethan, und fleißig durch einander gerühret, damit es sich wohl mit einander vereinige. Hierauff wird diese Mixtur durch einen Sack von neuen Beuteltuche durchgeseiget, damit alle Unreinigkeit davon komme, alsdann wieder in einem Kessel geschmolzen, und fein warm gemacht, dann wird die hölzerne Tafel auf einen Tisch fein wagrecht geleet, auf den hölzernen Rand und Mittelsteg um die Fache Thon geklebet, damit das Wachs nicht über und hinten in den Band laufen könne, folgend das geschmolzene Wachs mit einer eisernen Kelle eingegossen, und mit einem glühenden Eisen in denen Ecken und sonst in denen eingegossenen Blättern herum gefahren, damit es sich desto besser mit dem Holze vereinige und anklebe, und wird das Wachs etwas höher eingegossen, als der hölzerne Rand ist. Wann es nun kalt ist, wird der Thon weggenommen, und mit darzu gemachten Schab-Eisen, das überleye Wachs von den Feldern der Tafeln so lange abgezogen, bis es denen Fugen gleich wird. Folgend werden die also abgezogenen Wachs-Tafeln mit einem beinernen Poßir-Stifte mit Mandel-Oehl wohl gerieben und zuletzt mit einem Stück Corduan wohl gesäubert, weil das Wachs kein Tuch noch Leinwand verträgt, sondern davon rauch wird.

(Rezept aus R. Büll: Das große Buch vom Wachs: Geschichte, Kultur, Technik. Verlag Georg D. Callwey München (1977) S. 806 f.)

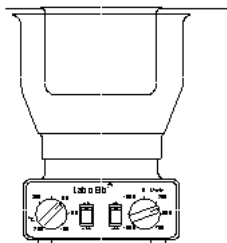
Aufgabe:

Stellen Sie eine Schreiftafel aus Wachs her! Benutzen Sie für die Wachspaste ein Rezept aus dem Mittelalter. Beurteilen Sie die Eignung des Rezeptes, indem Sie die Wachstafel mit Keilschrift und lateinischer Schrift beschreiben!

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • Reibe • Mörser und Pistill • Heizplatte • Topf mit Wasserbadeinsatz • Glasstab • Holztafel 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Gereinigtes Leinöl • Rindertalg • Butterschmalz • Holzkohlestaub

Vorbereitungen:

- „Gereinigtes Leinöl“ nach Rezept aus dem 17. Jhd.: Leinöl im Supermarkt kaufen, mit Roggenbrot (Bäcker) und Rindermarkknochen (Metzger, auch für Suppen gebräuchlich) aufkochen, abkühlen lassen und in ein geeignetes Gefäß abfüllen.
- „Rindertalg“: Vom Metzger am Stück besorgen und zuhause kochen (min. 3 h), abkühlen lassen und dann den aufschwimmenden festen Talg abschöpfen. Aus ca. 300 g Talg vom Metzger werden auf diese Weise ca. 60 g reiner Talg.
- „Rußbutter“: Holzkohle mit Küchenreibe zerkleinern und anschließend mit dem Mörser weiter zerstoßen. Der Staub wird dann mit Butterschmalz vermengt, sodass eine tiefschwarze, klebrige Masse entsteht.

Skizze des Versuchsaufbaus:**Durchführung:**

Zunächst werden die Mengenangaben aus dem Rezept auf Laborgröße adaptiert: Man wiegt in den Wasserbadeinsatz 30 g Bienenwachs, 2 g gereinigtes Leinöl und 5 g Rindertalg (als Ersatz für Bocktalg) ein. Dann wird ca. eine Messerspitze Rußbutter zu den eingewogenen Zutaten gegeben und alles langsam auf dem nicht kochenden Wasserbad erwärmt.

Unter gelegentlichem Rühren wird erwärmt bis eine homogene flüssige Masse entstanden ist. Diese wird anschließend in die Holztafel gegossen. Vor dem Beschreiben muss die Tafel vollständig auskühlen.

Entsorgung: Die kalte Wachspaste kann im Restmüll entsorgt werden.

Sicherheit: Keine gefährlichen Stoffe

5d: Rezept mit Ocker nach einem Babylonischen Einkaufszettel**Aufgabe:**

Stellen Sie eine Schreiftafel aus Wachs her! Folgen Sie dabei dem unten angegebenen Rezept, das einem Einkaufszettel aus dem Alten Babylon folgt.

Beurteilen Sie die Eignung des Rezeptes, indem Sie die Wachstafel mit Keilschrift und lateinischer Schrift beschreiben!

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • Heizplatte • Topf mit Wasserbadeinsatz • Glasstab 	<ul style="list-style-type: none"> • Bienenwachs • Gelbes Ocker Pigment

Skizze des Versuchsaufbaus: (siehe oben)

Durchführung:

In den Wasserbadeinsatz werden 11 g Wachs und 1 g gelber Ocker eingewogen.

Dann wird das Gemisch auf dem Wasserbad unter gelegentlichem Rühren erwärmt bis das Wachs schmilzt.

Dieses wird unter Rühren in die Holztafeln gegossen. Da sich das Ocker Pigment nicht im Wachs löst sondern als Pigment suspendiert ist, muss beim Abfüllen gerührt werden. Nur so lässt sich eine homogene Verteilung des Pigments im Wachs erreichen.

Entsorgung: Die kalte Wachspaste kann im Restmüll entsorgt werden.

Sicherheit: Keine gefährlichen Stoffe