

HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen
Fachbereich Konservierung und Restaurierung

Referat zum PLM-Praktikum II
vom 12.-16.09.2005
unter Leitung von Andreas Buder,
Prof. Henrik Schulz und Stefan Wülfert

Indigo

Ein natürliches, organisches Pigment pflanzlicher Herkunft

Desirée Drechshage
Hermannstr. 24
31137 Hildesheim
desidre@web.de

Studiengang gefasste Holzobjekte und Gemälde

WS 2005/2006

Inhalt

1.	Beschreibung/Eigenschaften	Seite 3
2.	Herkunft und Geschichte	5
3.	Gewinnung des Farbstoffes	
	3.1 Natürlicher Indigo	6
	3.2 Synthetischer Indigo	8
4.	Verwendung	10
5.	Nachweismethoden	
	5.1 Mikrochemischer Nachweis	12
	5.2 Mikroskopischer Nachweis (PLM)	14
	5.3 Chromatografische Nachweisverfahren	14
	5.4 IR-Spektroskopie	15
	Literaturnachweis	16
	Internetquellen	17

Beschreibung/Eigenschaften

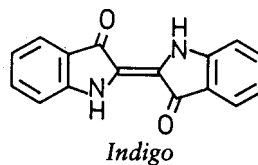
Identifikation (teilweise etwas widersprüchliche Angaben in der Literatur!)

- dunkelblaues Pulver mit kupferrotem Glanz oder rhombische, blaue, kupferglänzende Kristalle
- **sublimiert rot** bei etwa **300° C** (violetter Dampf);

Zersetzung bei **390° C**

- praktisch **unlöslich** in Wasser, Alkohol (z.B. Ethanol), Ether und verdünnten Mineralsäuren im Konzentrations-Bereich von 10^{-5} – 10^{-6} mol/l in unpolaren Lösungsmitteln mit roter bis rotvioletter Farbe
- **löslich** in **polaren Lösemitteln** (in polaren Lösungsmitteln blau und assoziiert), löst sich in konz. Schwefelsäure (grün, bei Erwärmen blau), Eisessig, Pyridin, DMF (Dimethylformamid), DMSO und wird durch siedendes DMF zerstört
- in der Hauptsache monomer
- Molekulargewicht: 262,26

Strukturformel: $C_{16} H_{10} N_2 O_2$



aus: Roth, Kormann,
Schwepe: S. 77.

Indigo (auch: Indigoblau, Indigocarmin, Stahlblau und Waid genannt¹) gehört zusammen mit Schneckenpurpur zu den Indigoiden Farbstoffen und somit zu den so genannten Küpenfarbstoffen², die vor dem Färben in einer wässrigen Lösung aus Alkali und Reduktionsmittel, der „Küpe“, in eine wasserlösliche Form überführt werden müssen, da sie als Direktfarbstoffe wasserunlöslich sind.

Die Zahl der Pflanzen, aus denen man Indigo gewinnen kann ist sehr groß. Die bekanntesten sind die indische Indigopflanze (*Indigofera tinctoria*) und die in Europa heimische Waidpflanze (*Isatis tinctoria* L.). In beiden Pflanzen liegen Vorprodukte

¹ Schramm, Hering: S. 59.

² „Wasserunlösliche Farbstoffe auf Indigo- und Anthrachinonbasis, die zum Färben und Bedrucken von Textilien zunächst durch Reduktion wasserlöslich und anschließend durch Oxidation wieder wasserunlöslich gemacht werden.“, dtv-Lexikon, Band 10: S. 200.

des Farbstoffs vor, die durch spezielle chemische Verfahren in ein und dieselbe Farbe, das Indigoblau, überführt werden können.

Neben dem natürlichen Indigo gibt es seit 1897 auch einen synthetischen Indigofarbstoff im Handel.

Das Indigoblau besteht aus mehreren Bestandteilen, von denen etwa 80%, neben Indigorubin (rot) und Indigobraun, der eigentliche blaue Farbstoff Indigotin bildet.³ Bei natürlichem Indigo schwanken die verschiedenen Anteile am Farbstoff, trotzdem lassen sich synthetischer und natürlicher Indigo bei Färbungen nur schwer von einander unterscheiden, da sich auch im künstlich gefertigten Farbstoff dieselben Stereoisomere befinden.⁴

³ www.omikron-online.de

⁴ Roth, Kormann, Schweppe: S. 247.

2. Herkunft und Geschichte

Indigo und Schneckenpurpur sind die beiden einzigen Küpenfarbstoffe, die schon im Altertum bekannt waren. Der blaue **Indigofarbstoff** fand bereits seine erste Erwähnung bei Vitruvs „De architectura“, welches wahrscheinlich im 13. Jahrhundert vor Christus entstand.⁵ Einer der ersten Aufzeichnungen, in denen ziemlich genau die Färbung mit der Waidpflanze beschrieben steht, ist das Papyrus Graecus Holmiensis aus dem 3. Jahrhundert nach Christus.⁶

In Frankreich, Deutschland und England wurden früher Waidpflanzen in großer Zahl angepflanzt. Hervorzuheben ist Thüringen, welches mit dem Anbau der Waidpflanzen und Export des Indigofarbstoffes zu einigem Vermögen und Ansehen kam.

Im 16. Jahrhundert dann kam der aus *Indigofera*-Arten gewonnene Pflanzenindigo nach Europa, dieser war bereits seit Jahrtausenden in China und Indien in Gebrauch und verdrängte die heimische Waidpflanze in Mitteleuropa, da man aus ihr einen reineren Blauton und bis zu 30mal mehr Farbstoff⁷ erhielt, als aus dem heimischen Waid.

Im 19. Jahrhundert war Indien der größte Exporteur für natürlichen Indigo.

Die erste **Indigo**-Synthese wurde 1880 von dem deutschen Chemiker Adolf von Baeyer durchgeführt. Heumann entwickelte eine technische Synthese („Heumann-Synthese“) für die Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF) in Ludwigshafen und ab 1897 begann die BASF mit der Großfabrikation eines reinen synthetischen Indigos.⁸

Der günstigere und farbstabilere synthetische Indigo verdrängte den natürlichen fast vollständig.

⁵ Schweppe: S. 292.

⁶ Denecke: S. 6, 37.

⁷ Roth, Kormann, Schweppe: S. 247.

⁸ Schweppe: S. 282.

3. Gewinnung des Farbstoffes

3.1 Natürlicher Indigo

aus den Indigopflanzen:

Die drei wichtigsten Indigofera-Arten sind die *Indigofera arrecta* aus Afrika, *Indigofera tinctoria* aus Indien und *Indigofera suffruticosa* aus Amerika, die heute aber auch in vielen anderen subtropischen Regionen verbreitet sind⁹. Dabei spielt die indische Indigopflanzenart die bedeutendste Rolle in der Geschichte des Indigoanbaus.



Abb. 1 Indigopflanze aus: Roth, Kormann, Schweppe: S. 77.

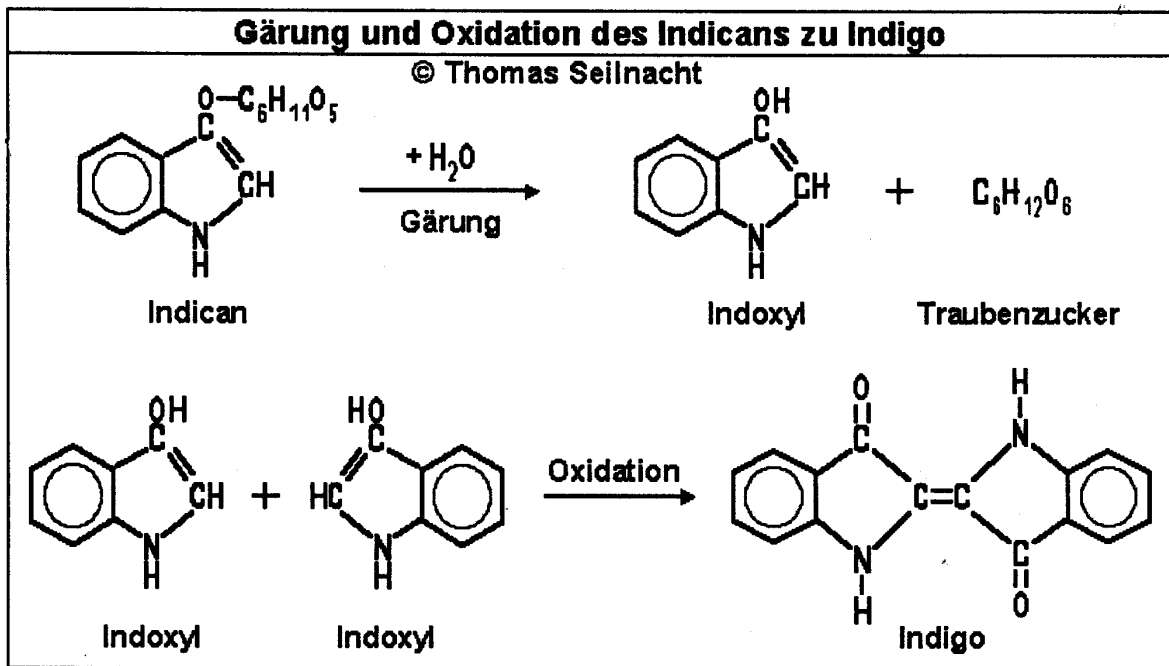
In den Indigoferaarten kommt als farbloses Vorprodukt Indican 106 (zu den Glucosidasen gehörendes Enzym¹⁰) vor, das erst durch einen Gärungsprozess in den blauen Indigofarbstoff umgewandelt werden muss. Dazu werden die Blätter und Stängel nach der Ernte (während der Blütezeit) für ca. 12 – 15 Stunden in einen Holzbottich oder in ein im Boden eingelassenen Becken („Gärungsküpe“¹¹) gelegt und mit Wasser bedeckt. Bei diesem Vorgang wird das Reduktionsmittel Wasserstoff durch Mikroorganismen, so genannte Gärungsbakterien, erzeugt¹² und das Indican wird in Indoxyl und Glucose aufgespalten. Danach wird die nun gelbe Flüssigkeit in tiefer stehende Bassins oder Holzbottiche (sog. Schlagküpen) abgelassen und durch Schaufelräder oder Schlägen mit Stöcken Luft hinzugefügt, um das gelbe, wasserlösliche Indoxyl zum Farbstoff zu oxidieren (siehe Grafik auf folgender Seite). Er wurde getrocknet und danach zu Blöcken verarbeitet. Der heute im Handel erhältliche natürliche Indigo stammt meist aus Indien.

⁹ www.seilnacht.com

¹⁰ Schweppe: S. 289.

¹¹ Schweppe: S. 289.

¹² Schweppe: S. 282.



aus der Waidpflanze (*Isatis tinctoria* L.):¹³

Die ursprünglich aus Asien stammende Färber-Waidpflanze verbreitete sich schnell schon in der Antike in ganz Mitteleuropa und Ägypten. In ihr liegt das Farbstoffvorprodukt Isatan B vor.



Abb. 2 Waidpflanze aus: Roth, Kormann, Scheppe: S. 83.

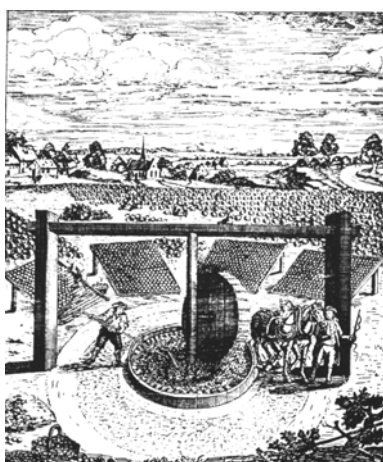


Abb. 3 Waidmühle mit im Hintergrund trocknenden Waidballen

aus: Scheppe, S. 296

Die Blätter der zweijährigen Pflanze werden im zweiten Jahr nach der Aussaat im Juni geerntet.

Durch eine enzymatische Hydrolyse muss das Isatan B in Indoxyl und Glucose, d.h. dem Indican 106, überführt werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Gärung: In früheren Zeiten wurden die Blätter eingesammelt und in einer Nassmühle zu einem Brei zermahlen (s. Abb. 3). Das Ergebnis wurde zu Haufen von ca. einem Meter Höhe aufgeschüttet und kam allmählich

¹³ Scheppe: S. 295.

zur Gärung. Nach etwa zwei Wochen wurden die Haufen untereinander gearbeitet und zu Ballen geformt (so genannte Waidkugel oder Blaukörner) und zum Trocknen gelegt (s. Abb. 3).

Bei einer zweiten, länger andauernden Gärung mit Urin wurde das Indican in den Waidkugeln zur Leukoform oder Weißerindigo (s. Färben von Textilien) reduziert und dann in den Färbehäusern mit Hilfe von Urin und Pottasche bei 60° verrührt. Nach drei Tagen entstand die „Küpe“, welche zum Färben geeignet war.

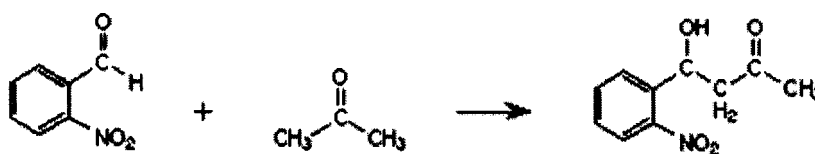


Abb. 4 Indigofärbevorgang (Kupferstich)
aus: Denecke: S. 7.

Weitere Namen von Pflanzen, aus denen ebenso Indigo gewonnen wurde, sind Färberorleander, Färberknöterich, Färberschwalbenwurz, Garapflanze, Wilder Indigo und Färberhülse.

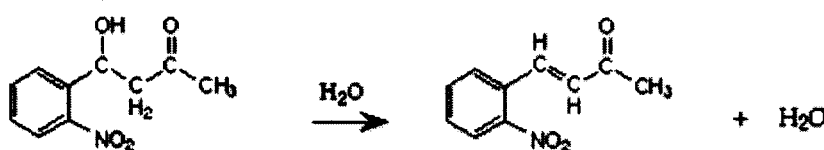
3.2 Synthetischer Indigo

Das Verfahren, mit dem Adolf von Baeyer 1880 die erste Indigosynthese gelang, d.h. die Strukturaufklärung des Indigos, wird hier im Folgenden beschrieben: Der erste Schritt besteht aus der Reaktion von **ortho-Nitrobenzaldehyd** mit **Aceton**.



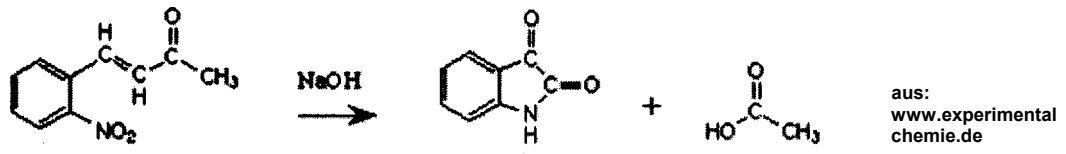
aus:
www.experimentalchemie.de

Durch die katalytische Wirkung der Zugabe von **Wasser** bewirkt, dass sich unter Abspaltung eines Wassermoleküls eine Doppelbindung ausbildet:

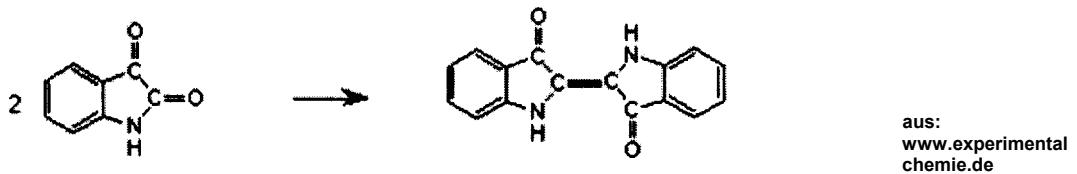


aus:
www.experimentalchemie.de

Im dritten Schritt wird **Natronlauge** zugeben und unter Abspaltung von **Essigsäure** wird **Isatin** gebildet:



Zwei Moleküle **Isatin** verbinden sich dann zu einem **Indigo-Molekül**:



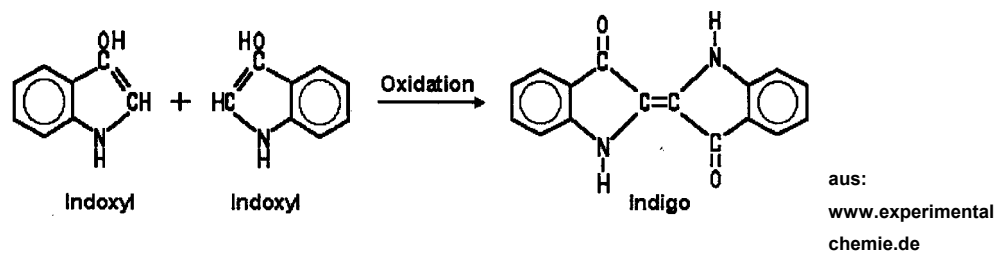
Heumann-Synthese:

Die 1890 von Heumann entwickelte Synthese sollte die technische Großfabrikation von synthetischem Indigo ermöglichen, so dass 1897 die BASF mit dieser beginnen konnte.

Bei der „1. Heumann-Synthese“ wird Anilin als Ausgangsstoff in einer Kondensationsreaktion zu Indoxyl umgewandelt. Dieses oxidiert man dann mit Sauerstoff in alkalischer Lösung zu Indigo.

Bei der „2. Heumann-Synthese“ (wie es die BASF anwendet), ist Phenylglycin-o-carbonsäure Ausgangsstoff zur Indoxylherstellung.

Wie oben bereits bei der Gewinnung des Farbstoffes beschrieben (s. Seite 7-8), bilden zwei Indoxyl-Moleküle ein Indigo-Molekül.



4. Verwendung

Schon im Altertum wurde Indigo nicht nur zum Färben von Textilien sondern auch als Künstlerpigment verwendet.

Zahlreiche Quellschriften belegen, dass Indigo im Mittelalter auch in der Buch- und Tafelmalerei Verwendung fand. Indigo wurde häufig bei der Herstellung von Mischpigmenten und -farbstoffen eingesetzt. In der ‚*Mappae Clavicula*‘ zum Beispiel wird Waid als Zusatz für ein blaues Mischpigment und bei ‚*Lazur*‘-Rezepten genannt.

Indigo kommt auch in Gemälden aus allen Epochen der europäischen Staffelmalerie vor, allerdings wesentlich seltener als Azurit und Ultramarin. Nach der Mitte des 18. Jahrhunderts wurde Indigo meistens durch Preußischblau (oder auch Berlinerblau genannt) ersetzt.¹⁴

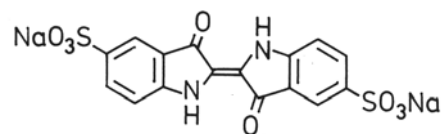
Ende der 1960er Jahre wurde das Indigogeschäft durch die Mode belebt, die die ‚Blue-Jeans‘ wieder modern machte – ein Trend, der sich bis heute hält.

Ein Beispiel für die weltweite Verbreitung der Verwendung des Indigofarbstoffes ist das Maya-Blau. In den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts gelang es die Zusammensetzung dieser Farbe aufzuklären, sie kommt in Wandmalereien und auf Tongefäßen der alten Maya-Kultur¹⁵ häufig vor. Der Farbstoff besteht aus dem mit Indigo angefärbten Tonmineral Beidellit. Der Indigo ist im Maya-Blau so fest an den Ton gebunden, dass mikrochemische Nachweismethoden für Indigo versagen.¹⁶

Seit 1740 wird ein Farbstoff mit dem Namen Indigokarmin oder ‚Sächsischblau‘ gehandelt, der aus Naturindigo und konzentrierter Schwefelsäure hergestellt wird. Dieser ist im Gegensatz zum Indigo wasserlöslich und lässt sich direkt zum Färben verwenden, aber dadurch ist er weniger licht- und waschecht.

Indigokarmin

(Indigo-5,5'-disulfonsäure, Na.Salz)



¹⁴ Schweppe: S. 302.

¹⁵ Die Maya sind ein indianisches Volk aus dem Norden Zentralamerikas (Mexiko, Guatemala, Belize, etc.), dessen früheste Funde schon auf 2000 v. Chr. datiert werden können. Sie entwickelten eine differenzierte Hochkultur (Bilderschrift, etc.). Im 16. Jahrhundert wurden sie durch die Verfolgung durch die Weißen, Hungersnöte und Seuchen stark dezimiert, können sich aber bis heute als ethnische Gruppe behaupten.

¹⁶ Kühn in Reclams Handbuch: S. 40.

Bindemittel- und Pigmentverträglichkeit

Indigo ist mit allen Pigmenten verträglich und zudem ölfest. Am häufigsten wird er wegen seiner Feinheit in Aquarell und Tempera angewandt, seltener in Öl. In Ölbindemitteln erscheint reiner Indigo nahezu schwarz. Durch die Zugabe von Bleiweiß erhält man eine blaue, deckende Malfarbe.

Für Wandmalereien wurde er nicht verwendet, da seine Lichtbeständigkeit hierzu nicht ausreicht. Dagegen aber öfters zum Einfärben von Stuck, wobei aber meist ein deutliches Ausbleichen an den dem Licht ausgesetzten Stellen erkennbar ist. Gegen Säuren und Alkalien ist er unempfindlich.

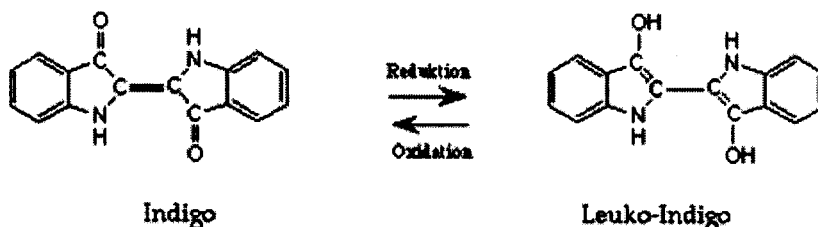
Der künstliche Indigo ist reiner und lichtbeständiger als das Naturprodukt.¹⁷

Bei der Lichtechtheit äußert sich die Literatur zwiespältig: Dr. Helmut Schweppe und Thomas Seilnacht bescheinigen dem Farbstoff eine gute Lichtbeständigkeit¹⁸, dagegen schreiben Hans-Peter Schramm und Bernd Hering von einer unbefriedigenden Lichtechtheit¹⁹. Hermann Kühn beschreibt in Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken²⁰, dass Indigo zwar am Licht verblasst, aber langsamer als andere Naturfarbstoffe.

Färben von Textilien

Wasserunlösliche Farbstoffe wie Indigo, müssen zum Färben und Bedrucken von Textilien zunächst durch eine Reduktion wasserlöslich und anschließend durch eine Oxidation wieder wasserunlöslich gemacht werden.

Zu diesem Zweck wandelt man bei einem Verküpfungsvorgang Indigo mit Hilfe von Natriumdithionit zum löslichen, hellgelben „Leuko-Indigo“ (Indigoweiß) um:



aus:
www.experimentalchemie.de

¹⁷ Schramm, Hering: S. 59.

¹⁸ Schweppe: S. ... und www.seilnacht.com

¹⁹ Schramm, Hering: S. 59.

²⁰ Kühn: S. 39.

Nimmt man die Textilien wieder aus der „Küpe“ und hängt sie an die frische Luft, oxidiert der gelbliche Leuko-Indigo wieder zurück zum Farbstoff Indigoblau.



Abb. 5 zum Trocknen aufgehängte mit Indigo gefärbte Wolle
aus: Roth, Kormann, Schweppe, S. 79.

5. Nachweismethoden

5.1 Mikrochemischer Nachweis

Die folgenden chemischen Testverfahren sind keine sicheren Nachweismethoden für Indigo, sie geben lediglich einen Hinweis auf diesen Farbstoff.²¹

Sublimationstest

„Dieser Test ist zweifellos der älteste von allen, wird er doch schon von Plinius in seiner ‚*Historia Naturalis*‘ erwähnt, [...]. Indigo sublimiert beim Erwärmen ab etwa 230° rotviolett und schlägt sich beim Abkühlen in charakteristischen blauen Kristallnadeln nieder, die unter Auflichtmikroskop gut erkennbar sind.“²²

Salpetersäuretest

Bei einer Pigmentprobe zerdrückt man eine geringe Menge Indigo auf einem Filterpapier (aufliegend auf einer harten Unterlage) und tropft einen Tropfen konzentrierter Salpetersäure (d=1,4) darauf.

Liegt der Farbstoff vor, bildet sich auf dem Filterpapier ein gelber Fleck mit grünem Rand. Die Salpetersäure hat das Indigo in das gelbe Isatin 109 oxidiert und das Grün ist eine Mischzone aus dem gelben Isatin und dem noch vorhandenen blauen Indigofarbstoff.

„Der Salpetersäuretest gelingt nicht, wenn Indigo als Künstlerpigment in einer Zubereitung mit Tonmineralien (Attapulgit) vorliegt, wie beispielsweise im ‚*Maya-Blau*‘ [(...)].

²¹ www.archaeometrielabor.com

²² Schweppe: S. 294.

Da außer Indigo auch andere Küpenfarbstoffe beim Behandeln mit Salpetersäure nach gelb umschlagen, wie z.B. Indathrenblau [...], legt man den mit Salpetersäure auf Filterpapier erhaltenen Fleck in eine salzsaure Lösung von Zinn-II-chlorid (10g SnCl₂, 50 ml konz. HCl, 50 ml H₂O), wobei im Falle von Indigo der Fleck erhalten bleibt, während bei dem genannten Indathrenblau-Typ der ursprüngliche blaue Farbton mit Zinn-II-chlorid zurückkehrt.²³

Natriumdithionit-Test (nach Hofenk de Graaff)

Eine kleine Probe eines vermuteten Indigofarbstoffes wird in einem Reagenzglas mit einigen Tropfen Lösung aus 50g Natriumhydroxid und 50g Natriumdithionit in einem Liter Wasser eine Zeit lang geschüttelt oder eine Minuten erwärmt und die Lösung sowie die Probe werden gelb. Nun ist der Indigo in seine reduzierte Form dem Leukoindigo (Indigoweiß) übergegangen. Dann gibt man einige Tropfen Essigsäureethylester in das Reagenzglas und schüttelt. Wenn Indigo vorhanden ist, dann färbt sich die obere Essigesterschicht hell-blau.

Dieser Test ist recht genau, da kein anderer blauer oder violetter Naturfarbstoff die gleiche Reaktion aufweist.

Wenn man die blaue Essigester-Schicht abtrennt und sie mit Wasser neutralisiert, kann man sie für Dünnschichtchromatographische Vergleiche (s. Punkt 5.3) oder für die Anfertigung eines FTIR-Spektrums (s. Punkt 5.4) verwenden.²⁴

²³ Schweppe: S. 294.

²⁴ Schweppe: S. 294.

5.2 Mikroskopischer Nachweis (PLM)

Bei der mikroskopischen Untersuchung mit dem Polarisationsmikroskop (PLM) ist kein sicherer Nachweis möglich!²⁵

Das Indigopigment weist einen Brechungsindex von $n < 1.66$ auf und ist anisotrop. Die blauschwarzen Aggregate enthalten feinste doppelbrechende Partikel mit paralleler Auslöschung (am deutlichsten mit stärkstem Ölimmersionsobjektiv zu erkennen).²⁶

Kann rötlich-braun wirken mit dem Chelsea-Filter,²⁷ was vermutlich am Anteil des Indigorubins liegt. Der Indigofarbstoff sieht zudem mikroskopisch dem Berliner Blau (Preußischblau) sehr ähnlich.

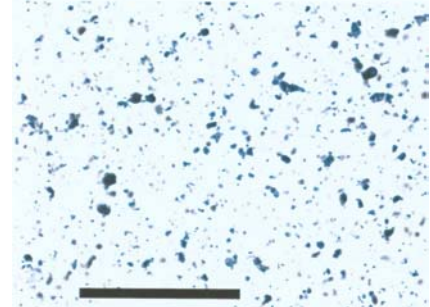


Abb. 6 Mikroskopaufnahme,

Balken = 50 μm in natura

aus: Wülfert: S. 346

5.3 Chromatografische Nachweisverfahren

Durch den Fachchemiker kann eine einfache und spezifische Nachweisreaktion nach Hofenk de Graaff erfolgen, indem man die beim Natriumdithionit-Test (s. Punkt 4.1) angefertigte, abfiltrierte Lösung (Leukoindigo in Ethylacetat; s. Punkt 3) auf eine geeignete Cellulose-Platte (z.B. von Polygram Cel AC-30, Macherey & Nagel, Düren) bringt und den charakteristischen chromatografischen Verlauf beobachtet (Indigo bildet einen blauen Flecken mit dem R_f -Wert²⁸ = c. 0.5. Einige Indigoarten weisen zwei Flecken auf, bei dem es sich bei dem einen um den blauen des Indigo und bei dem anderen um einen violetten Fleck vermutlich des Indirubins handelt mit einem R_f -Wert = c. 0.55.)²⁹

²⁵ www.archaeometrielabor.com

²⁶ Wülfert: S. 237.

²⁷ Mactaggart.

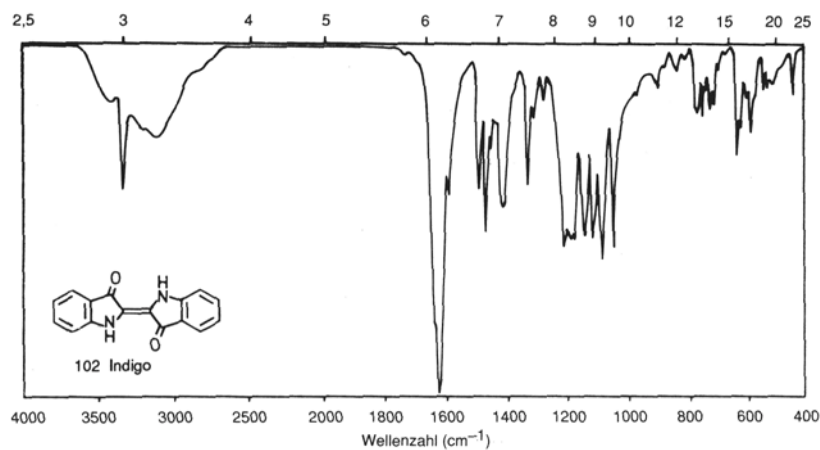
²⁸ Der R_f -Wert gibt das Verhältnis der einzelnen Komponenten zur Laufmittelfront an. Dieser ist bei gleich bleibenden Untersuchungsbedingungen charakteristisch für eine bestimmte Substanz.

aus: Matteini/Moles: S. 103.

²⁹ Hofenk de Graaff: S. 54-55.

5.4 IR-Spektroskopie

Die sicherste Nachweismethode für Indigo ist die Anfertigung eines IR-Spektrums einer zuvor gereinigten Materialprobe (möglichst frei von Bindemittel, Zusatzstoffen, etc.). Hierdurch erhält man eine Bandenliste und kann diese mit der charakteristischen Bandenliste des Indigofarbstoffes (Referenzspektrum) vergleichen.



IR-SPEKTRUM				MIT 39 BANDEN							
4000.7-399.2 1/CM				KBR-PRESSLING							
RES.= 2				INTENS.(100%)= 0.7755							
1.	3449.2	255	16	14.	1173.5	93	55	27.	719.3	10	12
2.	3370.1	40	41	15.	1162.9	21	55	28.	703.9	10	18
3.	3162.8	364	26	16.	1129.1	40	54	29.	699.1	11	16
4.	1620.9	45	100	17.	1101.2	30	55	30.	689.4	10	16
5.	1584.3	31	42	18.	1067.4	32	61	31.	675.0	9	6
6.	1484.0	17	41	19.	1029.8	17	58	32.	611.3	12	31
7.	1460.9	13	53	20.	1011.5	40	26	33.	598.8	14	23
8.	1443.5	24	29	21.	951.7	41	13	34.	580.5	17	14
9.	1402.0	40	46	22.	878.4	17	11	35.	563.1	21	24
10.	1319.1	15	39	23.	813.8	21	6	36.	521.7	10	12
11.	1298.9	17	20	24.	789.7	17	3	37.	508.2	8	11
12.	1265.1	19	15	25.	745.4	23	19	38.	494.7	56	10
13.	1199.5	37	57	26.	729.0	11	20	39.	421.4	6	13

Abb. 7 FTIR-Spektrum (Referenzspektrum) von Indigo rein BASF aus: Scheppe, S. 702/703.

Literaturnachweis

Dedecke, Sabine: Blaue Pflanzenfarbstoffe – Rezepturen zur Gewinnung und Verwendung in Quellenschriften von der Antike bis zum Beginn der Neuzeit, unveröffentlichte Facharbeit im Fach Werkstoffgeschichte, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde, 1995.

Hofenk de Graaff, Judith H. : A simple method for the identification of indigo, in: Studies of conservation, Band 19, 1974, S. 54-55.

Matteini, Mauro und Moles, Arcangelo: Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden in der Restaurierung, Callwey Verlag, München 1990.

Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken: Kühn, Hermann; Roosen-Runge, Heinz; Straub, Rolf E. und Koller, Manfred: Band 1 Farbmittel, Buchmalerei, Tafel- und Leinwandmalerei, Philipp Reclam jun., Stuttgart 1997.

Roth, L.; Kormann, K. und Schweppe, H.: Färbepflanzen Pflanzenfarben, ecomed Fachverlag, Landsberg/Lech 1992.

Schramm, Hans-Peter und Hering, Bernd: Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung, Bücherei des Restaurators Band 1, Ravensburger Buchverlag/Ferdinand Enke Verlag, Weinsberg 1995.

Schweppe, Helmut: Handbuch der Naturfarbstoffe, Vorkommen Verwendung Nachweis, Nikol Verlagsgesellschaft, Hamburg 1993.

Wulfert, Stefan: Der Blick ins Bild, Bücherei des Restaurators Band 4, Ravensburger Buchverlag, Ravensburg 1999.

Internetquellen

[www. experimentalchemie.de](http://www.experimentalchemie.de)

www.omikron-online.de

www.seilnacht.com