

## Vorwort und Einführung

Das „Integrierte Organisch-Chemische Praktikum“ (I.O.C.-Praktikum)<sup>1)</sup> basiert auf dem von S. Hünig, G. Märkl und J. Sauer 1979 beim Verlag Chemie publizierten „Integrierten Organischen Praktikum“, das Buch wurde vom Verband der Chemischen Industrie 1980 mit dem Literaturpreis ausgezeichnet.

Während die klassischen organisch-chemischen Praktikumsbücher „Kochbücher“ sind, in denen ein detailliert beschriebenes Produkt dargestellt wird, stellte das „Integrierte Organische Praktikum“ einen Paradigmenwechsel dar. Die Philosophie des erstmals nicht nach Stoffklassen, sondern nach Reaktionstypen gegliederten Praktikums war **die Einführung in das organisch-chemische Arbeiten unter forschungsnahen Bedingungen schon im Grundpraktikum**. Was ist darunter zu verstehen? Man arbeitet wie bei Untersuchungen in wissenschaftlichem Neuland. Die Edukte liefern bei gegebener Stöchiometrie unter definierten Bedingungen Reaktionsprodukte, deren Struktur ebenso wie Ausbeuten, Schmelz- oder Siedepunkte nicht angegeben wurden. Die Forschungsnähe wurde dadurch unterstrichen, dass die zur Strukturbestimmung notwendigen **spektroskopischen Methoden** in die Versuche **integriert** wurden.

Erstmals wurden die Versuche in **Arbeitsabschnitte** gegliedert:

- Formelkopf
- Durchführung der Reaktion
- Isolierung und Reinigung
- Auswertung des Versuchs (spektroskopische und chemische Analytik)
- Versuchsergebnisse und Schlussfolgerungen

Seit dem Erscheinen des Integrierten Organischen Praktikums (1979) haben sich die Medien dramatisch verändert. Texte können unlimitiert auf CD-Rom gespeichert oder ins Internet gestellt werden. Das hier vorliegende I.O.C.-Praktikum<sup>1)</sup> wird demgemäß in zwei Versionen angeboten.

**I.O.C.-Praktikum als Ringbuch, Versuche auf CD-Rom (Verlag Lehmanns, Berlin)**  
**I.O.C.-Praktikum im Internet (<http://www.ioc-praktikum.de>)**

Am I.O.C.-Praktikum hat eine Gruppe um Sustmann (Essen) in Kooperation mit den oben genannten Autoren und mit finanzieller Unterstützung des BFU mitgearbeitet.

---

<sup>1)</sup> Für das „Integrierte Organisch-Chemische Praktikum“ wird in Folge das Kürzel „I.O.C.-Praktikum“ verwendet.

Das I.O.C.-Praktikum bietet nach den **Allgemeinen Hinweisen und Anleitungen** 154 Versuche in sieben Kapiteln mit 24 Unterkapiteln. Jedem Kapitel ist eine **Übersicht** mit Literatur vorangestellt. Die Unterkapitel mit den Praktikumsversuchen werden durch **Einführungen** mit Literatur eingeleitet.

In den **Übersichten** werden hauptsächlich die theoretischen und mechanistischen Aspekte behandelt, die **Einführungen** bieten einen Überblick über die wichtigsten Synthesemethoden.

Da es die Autoren für wichtig erachten, dass die Übersichten und Einführungen, die ein Grobraster der organischen Synthesechemie repräsentieren, allen Studierenden in geordneter Form zur Verfügung stehen, werden diese zusammen mit dem **Vorwort, Allgemeinen Hinweisen und Anleitungen, Standard-Reaktionsapparaturen**, einem **Musterversuch mit Muster-Betriebsanweisung**, einem **Musterprotokoll** und **Hinweisen zur Entsorgung** und zum **Recycling von Chemikalien- und Lösungsmittelabfällen** als Ringbuch angeboten, dem alle Versuche auf CD-Rom beigelegt sind („I.O.C.-Praktikum, Versuche auf CD-Rom“).

Die Übersichten und Einführungen – ergänzt durch **Vorlesungen, Seminare** und **Lehrbücher** – stellen eine gute Anleitung für das Studium der organischen Chemie dar.

Die umfangreichen **Literatursammlungen** mit Hinweisen auf Monographien, Übersichtsartikel und Originalarbeiten müssen nicht praktikumsbegleitend studiert werden, sie verleihen dem I.O.C.-Praktikum aber einen hilfreichen Nachschlagewert. Weitere Literatur wird bei den Versuchen auf CD-ROM und im Internet aufgeführt.

Die Versuche in den Unterkapiteln wurden – soweit möglich – unter didaktischen Prinzipien so zusammengestellt, dass die einzelnen Versuchsergebnisse zu einem reaktionsmechanistischen Gesamtbild führen.

Die elektronischen Medien erlauben problemlos die Überarbeitung bzw. die Neuaufnahme von Versuchen sowie die Aktualisierung und Ergänzung der Übersichten und Einführungen mit Literaturangaben. Diese Ergänzungen zum I.O.C.-Praktikum werden im Internet unter <http://www.ioc-praktikum.de> zur Verfügung gestellt.

### **Arbeitsmethoden in der organischen Chemie**

Voraussetzung für ein sicheres Experimentieren in der organischen Chemie ist die Beherrschung der wichtigsten apparativen Arbeitsmethoden. Als Begleitbuch und Ergänzung zum I.O.C.-Praktikum wurden deshalb die „**Arbeitsmethoden in der organischen Chemie**“ als Monographie ebenfalls mit Ringbindung (Verlag Lehmanns, Berlin, 2006) und im Internet (<http://www.ioc-praktikum.de>) publiziert. Folgende Methoden werden behandelt:

Kap. 1	Allgemeine Hinweise – Sicherheit im Labor
Kap. 2	Glasgeräte und Reaktionsapparaturen
Kap. 3	Charakterisierung organischer Verbindungen
Kap. 4	Destillation
Kap. 5	Filtration
Kap. 6	Umkristallisation
Kap. 7	Sublimation
Kap. 8	Extraktion
Kap. 9	Chromatographie
Kap. 10	Gase – Arbeiten unter Schutzgas und Feuchtigkeitsausschluss
Kap. 11	Trocknen von Lösungsmitteln
Kap. 12	Chemische Analytik organischer Verbindungen
Kap. 13	Spektroskopische Analytik organischer Verbindungen
Kap. 14	Dokumentation – Literatur – Literaturrecherchen

Die **Arbeitsmethoden** können vor dem eigentlichen Praktikum in einem 1–2-wöchigen **Ein-führungspraktikum** (das nur im Internet ausgewiesen wird) eingeübt werden. Sie bieten, über das I.O.C.-Praktikum hinausgehend, das grundlegende experimentelle Rüstzeug für präparatives Arbeiten in der organischen Chemie.

### Lernziele im neuen I.O.C.-Praktikum

Die Lernziele im neuen „I.O.C.-Praktikum“ sind eine Weiterentwicklung des „Integrierten Organischen Praktikums“ von 1979 hin zu einer modernen, zeitgemäßen und nachhaltigen experimentellen und theoretischen Ausbildung. Dies betrifft insbesondere neue synthetische Verfahren sowie Aspekte der Sicherheit und des Umweltschutzes.

Die wichtigsten **Lernziele** sind:

- Kenntnis des apparativen Instrumentariums für die Synthese im Normal-, Halbmikro- und Mikro-Maßstab:  
Die für die **Durchführung der Reaktionen** einzusetzenden Standard-Reaktionsapparaturen werden in den „**Arbeitsmethoden**“ neben ihrer graphischen Darstellung in Form standardisierter **Apparatesymbole** beschrieben. Diese bei den einzelnen Arbeitsvorschriften ebenfalls abgebildeten Apparatesymbole sind Hinweise für die benötigten Geräte und stellen einfache, visuelle Anleitungen für den Aufbau der Apparaturen dar.
- Wissen um die chemischen Reaktionen der wichtigsten Stoffklassen.
- Formulierung der zu den Reaktionsprodukten führenden Reaktionsmechanismen.
- Gezielter Einsatz spektroskopischer Methoden zur Strukturaufklärung: Die relevanten Spektren ( $^1\text{H}$ -NMR-,  $^{13}\text{C}$ -NMR, IR-, UV/VIS), die sich auch für ein Spektroskopie-Seminar eignen, werden abgebildet.

- Bei den „**Versuchsergebnissen**“ soll – auch unter Zugrundelegung von Vorlesungen und Seminaren – ein plausibler Reaktionsmechanismus formuliert werden, der zur vorgegebenen Struktur des Produkts führt und mit den spektroskopischen Befunden im Einklang steht. Das Gleiche gilt für „**Weitere denkbare Reaktionsprodukte**“.
- **Kenntnis der Gefahrenpotentiale** chemischer Verbindungen und sicherer Umgang mit Chemikalien.
- Grundregeln des **Umweltschutzes**, Formulierung von **Betriebsanweisungen**.
- **Entsorgung** von Chemikalienabfällen, Verringerung von „Chemiemüll“.

Die aus diesen Lernzielen gewonnenen Kenntnisse sind transferierbar und erlauben den Chemikern über das Praktikum hinaus generell, organische Synthesen sicher durchzuführen und die Strukturen unbekannter Produkte mit Hilfe spektroskopischer Methoden aufzuklären.

### **Vorschriften, Regeln und gesetzliche Vorgaben beim Umgang mit Chemikalien**

Um beim Umgang mit Chemikalien die Sicherheit der Menschen und den Schutz der Umwelt zu gewährleisten, ist das Erlernen einwandfreier Experimentiertechniken oberstes Gebot. Die später im Beruf arbeitenden Chemiker müssen sich dessen bewusst sein.

Der Gesetzgeber in der Bundesrepublik räumt dem Umweltschutz – und damit auch dem Schutz des Menschen vor Gefahrstoffen – einen hohen Stellenwert ein. Für das Arbeiten und den Umgang mit Chemikalien an Hochschulen gelten unter anderem folgende Regeln und Verordnungen in der jeweils gültigen Fassung:

- Chemikaliengesetz (ChemG)
- Gefahrstoff-Verordnung (GefStoffV)
- Sicherheitsregeln beim Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich (GUV-SR 2005)

Chemikalien mit den nachstehenden Toxizitäten sollten in einem Anfängerpraktikum generell nicht eingesetzt werden, da sie bereits bei einmaliger Exposition irreversible Schäden verursachen können:

- **Cancerogene** (tragen zur Bildung maligner Tumore bei)
- **Onkogene** (lösen das Wachstum von Tumoren aus)
- **Mutagene** (lösen Mutationen, also Veränderungen des Erbguts aus)
- **Teratogene** (wirken fruchtschädigend, Schädigung von Embryonen)

In diesem Praktikum wird auf das Arbeiten mit solchen Stoffen weitestgehend verzichtet.

Die Chemiestudierenden müssen sich überdies mit folgenden Symbolen und Sicherheitsvorschriften vertraut machen:

- **Gefahrensymbole**
- **R- und S-Sätze (Risk- und Safety-Sätze)**

Der sichere Umgang mit Chemikalien und umweltschonendes Experimentieren sind unverzichtbare Ausbildungsziele im Chemiestudium. Das hier vorgelegte I.O.C.-Praktikum trägt dem konsequent Rechnung.

### **Konsequenzen für den Umgang mit Chemikalien in einem organisch-chemischen Praktikum**

Die Grundstruktur und die Philosophie des „Integrierten Organischen Praktikums“ von 1979 bleiben erhalten. Als eine Konsequenz aus den Sicherheitsanforderungen, speziell in einem Anfängerpraktikum, wird aber die Struktur der Reaktionsprodukte wieder angegeben. Die Studierenden müssen in der Lage sein – soweit möglich – sich anhand der einschlägigen Literatur über die Gefahrstoff-Eigenschaften auch der Reaktionsprodukte zu informieren. Unabhängig davon müssen sie aber die angegebene Struktur durch geeignete spektroskopische und analytische Untersuchungen und die Formulierung eines plausiblen Reaktionsmechanismus untermauern.

Dass auch die Ausbeuten und die Schmelz- und Siedepunkte der Reaktionsprodukte wieder angegeben werden, ändert nichts an der Philosophie des Praktikumskonzepts. Den Studierenden soll aber die Möglichkeit eröffnet werden, anhand dieser Angaben die Qualität ihrer Experimentierfertigkeit zu überprüfen.

### **Wie ist ein Praktikumsversuch vorzubereiten?**

- Vor Beginn eines Versuchs sind für alle eingesetzten Chemikalien und soweit möglich auch für das Reaktionsprodukt die entsprechenden Gefahrensymbole und die einschlägigen R- und S-Sätze zu ermitteln und in einer so genannten „**Betriebsanweisung**“ schriftlich zu dokumentieren.
- Die Entsorgung aller anfallenden Chemikalienabfälle ist ebenfalls vor Versuchsbeginn abzuklären.
- In einer Vorbesprechung mit dem Assistenten ist sicherzustellen, dass allen Aspekten der Sicherheit Rechnung getragen wird und die Reaktionsapparatur funktionstüchtig ist; erst dann darf der Versuch begonnen werden. Ein Beispiel für eine Betriebsanweisung findet sich bei den „Allgemeinen Hinweisen und Anleitungen“.

Im Vergleich zum „Integrierten Organischen Praktikum“ von 1979 ist die Durchführung der Versuche durch Hinweise auf den Gefahrstoffcharakter der eingesetzten Chemikalien, die Vermeidung gefährlicher Chemikalien und die Entsorgungsproblematik deutlich differenzierter geworden.

## Entsorgung von Chemikalienabfällen – Redestillation

Flüssige wie feste Chemikalien, die bei der Durchführung und Aufarbeitung der Versuche anfallen, müssen von Entsorgungsunternehmen unter hohen Kosten verbrannt werden.

Im vorliegenden Praktikum wurde aus Gründen der **Arbeitssicherheit** und der **Minimierung** der **Entsorgungsproblematik** die Zahl der eingesetzten **Lösungsmittel** deutlich reduziert. Es werden in der Regel nur solche Solventien eingesetzt, die nicht oder nur schwach toxisch sind:

*tert*-Butylmethylether

Cyclohexan

Ethanol

Ethylacetat

Diethylether (für Grignardreaktionen)

Tetrahydrofuran (für Hydroborierungen)

Mit der Beschränkung auf diese wenigen Lösungsmittel war ein beträchtlicher Arbeitsaufwand verbunden, da geprüft werden musste, ob ein Wechsel des Solvens den Ablauf der Reaktionen beeinträchtigt oder gar verhindert. Der hochentzündliche und zur Bildung von Peroxiden neigende Diethylether wurde z. B. weitgehend durch *tert*-Butylmethylether ersetzt.

Auf halogenierte Lösungsmittel, die generell als toxisch bis hochtoxisch eingestuft werden (Leberschäden!) und deren Entsorgung durch temperaturkontrolliertes Verbrennen besonders kostspielig ist (Gefahr der Dioxinbildung), wurde – bis auf wenige Ausnahmen – gänzlich verzichtet.

Von den im „Organisch-Chemischen Praktikum“ von 1979 aufgeführten 215 Versuchen musste wegen ihres erhöhten Gefahrstoffcharakters auf eine ganze Reihe verzichtet werden. Unter den 154 Versuchen im I.O.C.-Praktikum sind aber sowohl methodisch interessante und wichtige als auch umweltrelevante Versuche neu aufgenommen worden.

Um die Chemikalien-Problematik insgesamt zu verringern, wurden die Ansatzgrößen reduziert. Die Aufarbeitung und Reindarstellung der Reaktionsprodukte muss aber auch für den Anfänger noch problemlos möglich sein.

In den einzelnen Arbeitsschritten werden Vorschläge zur **Entsorgung der Chemikalienreste und –abfälle** angegeben. Insbesondere wird vorgeschlagen, welche Solventien getrennt gesammelt werden sollten, um sie nach einer entsprechenden Vorbehandlung der Redestillation und damit der Wiederverwendung zuführen zu können. Für das Recycling empfiehlt sich die Einrichtung eines **Destillationslabors im Halbtechnikumsmaßstab**.

### **An welche Studierenden wendet sich das I.O.C.-Praktikum?**

Das „I.O.C.-Praktikum“ ist für das **erste** organisch-chemische Praktikum (gewöhnlich im 4. Studiensemester) in der Ausbildung von Chemikern und Pharmazeuten gedacht. Mit der Bologna-Konferenz und den Folgekonferenzen wurde die europaweite Einführung konsekutiver Bachelor- und Masterstudiengänge beschlossen. In der Chemie sollen in einem 6-semesterigen Bachelorstudium für alle Chemiestudierenden gleichermaßen die Grundlagen in den Kernfächern gelehrt werden. Für das **Bachelorstudium** im erstem Praktikum der organischen Chemie empfiehlt sich das I.O.C.-Praktikum.

Bei grundsätzlich gleichen **Lernzielen** (siehe oben) ist es problemlos möglich, aus dem I.O.C.-Praktikum Praktika für **Nebenfach-Studierende** (Lehrämter, Biologen, Geologen, Chemieingenieure/FH u.a.) mit einem geringeren stofflichen Umfang „herauszuschneiden“.

### **Welchen Stellenwert hat das I.O.C.-Praktikum in der Chemieausbildung?**

Die organische Chemie entwickelt sich immer stärker hin zu hochkomplexen Systemen. Mit der **Biologischen Chemie** (Molekulare Biologie) und der **Medizinischen Chemie** haben sich neue Fachrichtungen entwickelt, die zunehmend gleichgewichtig neben den klassischen Kernfächern stehen. Wichtige Arbeitsgebiete aus diesen Gebieten, die immer größere Bedeutung erlangen, sind z. B. Gentechnik (Sequenzierung, DNA-Funktionen), Proteomik (Funktionen der exprimierten Proteine), Wirkstoffforschung, Biokatalyse (enzymkatalysierte, stereospezifische Synthesen), Enzymmodelle, Synthese und Modifizierung komplexer Biomoleküle, selbstorganisierende Systeme, Nanostrukturchemie, Festphasensynthese, kombinatorische Chemie.

Diese modernen Entwicklungen sind nicht denkbar, wenn die Chemiestudierenden die Grundoperationen der organisch-chemischen Synthese und die Moleküle, aus denen sich die komplexen Systeme aufbauen, nicht schon frühzeitig kennen gelernt haben. Das hier präsentierte I.O.C.-Praktikum dient dem Kennen lernen dieser Grundoperationen und der niedermolekularen Systeme als Voraussetzung für die Entwicklung der modernen organischen Chemie.

Die solide experimentelle Ausbildung war und ist ein Gütesiegel der deutschen Chemieabsolventen.

## Dank

An der experimentellen Überprüfung zahlreicher Versuche, bei denen die Solventien ausgetauscht werden mussten, ebenso wie neuer Versuche, waren Mitarbeiter und gute, engagierte Studierende mehrerer Jahrgänge in den organisch-chemischen Praktika in Essen, Regensburg und Würzburg beteiligt, ihnen gebührt unser ausdrücklicher Dank. Die Regensburger Autoren danken insbesondere Herrn Chemielaborant Döring für die Neubearbeitung und Überprüfung zahlreicher Versuche.

## Tabellarische Übersichten im Anhang

Die tabellarischen Übersichten im Anhang zum I.O.C.-Praktikum bieten Zusammenfassungen über folgende Aspekte des Praktikums:

- Behandelte Reaktionstypen
- Umwandlung von Verbindungsklassen
- Angewandte Arbeitsmethoden bei den einzelnen Versuchen

Nur auf der CD und im Internet werden folgende Übersichten aufgeführt:

- Auflistung der benötigten Chemikalien
- Auflistung der R- und S-Sätze (siehe auch "Arbeitsmethoden")
- Cancerogene, mutagene, teratogene und sensibilisierende Substanzen (siehe auch "Arbeitsmethoden")
- Empfehlungen für die im I.O.C.-Praktikum einzusetzenden Geräte am Arbeitsplatz (Platz-ausrüstung) und in der Saalausstattung. Apparateskizzen zum Bau von Geräten, die im Handel nicht erhältlich sind, stehen unter <http://www.ioc-praktikum.de>.