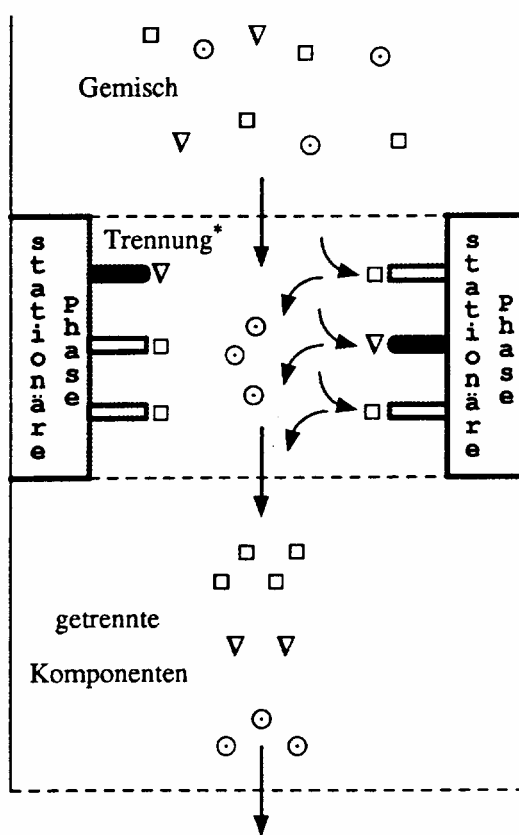


## 9. CHROMATOGRAPHIE

Die Chromatographie nimmt in der Analytik und präparativen Trennung von Gemischen einen hervorragenden Platz ein. Ohne sie wäre die Analyse und Isolierung von Naturstoffen gar nicht mehr denkbar. Die Chromatographie nutzt sehr kleine Unterschiede zwischen ähnlichen Stoffen zur Trennung, kommt mit extrem wenig Probenmaterial aus und ist leicht durchzuführen.

Das Prinzip beruht auf der multiplikativen Verteilung, d.h. an jeder Stelle der Laufstrecke stehen die zu trennenden Substanzen mit der mobilen und stationären Phase im Gleichgewicht. Die Wanderungsgeschwindigkeiten der Stoffe hängen daher von ihren Verteilungskoeffizienten ab. Je besser sich ein Stoff in der mobilen Phase löst, desto schneller wandert er.

Schema chromatographischer Verfahren



\* Unterschiedlich starke "Wechselwirkung" mit der stationären Phase führt zu unterschiedlichen Verweilzeiten der Komponenten

Je nachdem, welchen Aggregatzustand beide Phasen besitzen, unterscheidet man verschiedene Chromatographie-Verfahren. Nach der Art der Ausführung unterscheidet man Papier-, Dünnschicht-, Säulen- und Gas-Chromatographie.

mobile Phase	stationäre Phase	
	flüssig	Fest
flüssig	flüssig/flüssig Chromatographie (Verteilungs-Chromatographie)	flüssig/fest Chromatographie (Adsorptions-Chromatographie, Austausch-Chromatographie)
gasförmig	Gas/flüssig Chromatographie	Gas/fest Chromatographie
	(Gas-Chromatographie)	

## DÜNNSCHICHT-CHROMATOGRAPHIE

Die Dünnschicht-Chromatographie (DC) ist heute eine sehr häufig angewandte chromatographische Analyse-methode.

- Der apparative Aufwand ist gering.
- Die Trennleistung steht der aufwendigeren chromatographischen Methoden nur wenig nach.
- Bei der Dünnschicht-Chromatographie lassen sich noch Mengen  $< 1$  mg trennen. Die Nachweisgrenze einer Substanz beträgt 5 – 50  $\mu\text{g}$ .
- Die Entwicklungszeit für ein Dünnschicht-Chromatogramm ist kurz (ca. 1 h).
- Funktionelle Gruppen lassen sich auf der Dünnschicht-Platte mit spezifischen Sprühreagenzien nachweisen.

Die Dünnschicht-Chromatographie eignet sich deshalb vorzüglich für

- die Analyse von Gemischen,
- die Verfolgung von chemischen Reaktionen (Verbrauch von Edukten, Bildung von Produkten),
- die Reinheitskontrolle,
- die Ermittlung der Bedingungen für die präparative Säulen-Chromatographie.

Bei der Dünnschicht-Chromatographie ist die stationäre Phase meistens Kieselgel oder Aluminiumoxid und als dünne Schicht auf einer Aluminiumfolie aufgetragen. Für sehr polare Verbindungen verwendet man mikrokristalline Cellulose auf einer Plastikfolie oder einer Glasplatte. Am besten sind **DC-Platten mit "Konzentrierungszone"** (Merck), in der die aufgetragenen Substanzflecken vor dem Entwickeln zunächst auf der Startlinie zusammengezogen werden. Wenn eine Konzentrierungszone fehlt, zeichnet man mit einem *weichen* Bleistift eine Startlinie im Abstand von ca. 2.5 cm vom unteren Ende der Platte (ohne die Schicht zu verletzen!), auf der die Startpunkte im Abstand von ca. 2 cm markiert werden.

### Probenvorbereitung

Man stellt eine 0.1 - 1proz. Lösung des zu untersuchenden Gemischs her (1 – 10 mg/ml Lösungsmittel). Die Lösungen müssen so verdünnt sein, dass nichts kristallisiert oder ausfällt.

In der Konzentrierungszone, etwa 1.5 cm vom unteren und seitlichen Rand der DC-Platte entfernt, oder an den Startpunkten trägt man 5 – 20  $\mu\text{l}$  Lösung mit einer Glaskapillare auf, so dass der Fleckendurchmesser max. 5 mm beträgt. Das erreicht man dadurch, dass man die Lösung in kleinen Volumenanteilen aufträgt und danach trocknen lässt. Beim Auftragen mehrerer Proben sollte der Abstand der Startflecken 2 cm betragen. Achten Sie darauf, dass beim Auftragen die Schicht nicht verletzt wird.

Die Glaskapillaren stellt man sich selbst her. Man erhitzt die Mitte eines ca. 15 cm langen Glasrohrs in der Bunsenbrennerflamme bis zur Rotglut und zieht das Rohr rasch auf Armeslänge aus. Nach Abkühlen bricht man die dünne Kapillare auf die erforderliche Länge (Schutzbrille!). Man kann statt dessen auch Schmelzpunktröhrchen verwenden, die man in der Sparflamme des Bunsenbrenners zu einer Kapillare auszieht.

### Entwicklung des Chromatogramms

Man stellt die Platte in ein Gefäß, dessen Boden ca. 5 mm hoch mit Lösungsmittels bedeckt ist. Durch Kapillarkräfte steigt das Lösungsmittel in der trockenen Schicht auf und transportiert dabei die aufgetragenen Substanzen. Um dabei Störungen durch Verdunsten oder Konvektion zu vermeiden, benutzt man *dicht* schließende, nicht zu große Gefäße. Am besten eignen sich Einmachgläser mit Glasdeckel oder Gurkengläser mit Schraubverschluss. Zur besseren Sättigung der Gasphase stellt man ein großes Filterpapier an die Gefäßwand, an dem das Laufmittel hochsteigt und verdampft.

Als Laufmittel verwendet man Lösungsmittel verschiedener Polarität, entweder rein oder Gemische. Die Fließmittel können in einer eluotropen Reihe geordnet werden. Nach steigender Polarität sind hier im Praktikum verwendete Lösungsmittel aufgeführt:

Cyclohexan  
 Diethylether  
*tert*-Butylmethylether  
 Essigsäure-ethylester  
 Aceton  
 Ethanol  
 Essigsäure  
 Wasser

Für die Lösung jedes chromatographischen Problems ist die Wahl des Adsorbens und des Laufmittels entscheidend. Im allgemeinen kommt man mit Kieselgel oder Aluminiumoxid als stationärer Phase aus. Etwas schwieriger ist die Wahl des Fließmittels. Mit Hilfe der eluotropen Reihe probiert man das Lösungsmittel oder Lösungsmittel-Gemisch aus.

Die Entwicklung ist beendet, wenn das Laufmittel bis kurz unter den oberen Rand gestiegen ist. Man entnimmt die Platte, markiert mit einem Bleistift die Laufmittel-Front und lässt die DC-Platte im Abzug trocknen.

Die getrocknete Platte kann mit dem gleichen oder einem anderen Laufmittel erneut entwickelt werden. Damit kann man die Trennung verbessern oder eine bestimmte Komponente abtrennen.

### Sichtbarmachen der Substanzflecken des Chromatogramms

Nur selten, z.B. bei Farbstoffgemischen, kann man die Komponenten durch ihre Eigenfarbe erkennen. In allen übrigen Fällen muss man die Flecken anders nachweisen. Mit dem Nachweis kann man oft die Prüfung auf bestimmte funktionelle Gruppen verbinden. Folgende Methoden werden am häufigsten verwendet:

#### 1. Fluoreszenz bei UV-Bestrahlung

Manche Substanzen fluoreszieren bei UV-Bestrahlung (z.B. mit der Quecksilber-Niederdruck-Lampe,  $\lambda = 254 \text{ nm}$ ).

#### 2. Fluoreszenz-Löschung

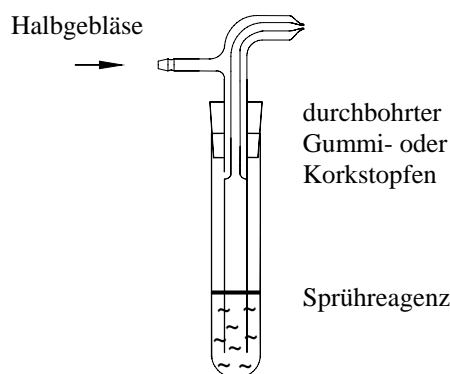
Praktisch alle DC-Platten sind mit Fluoreszenzindikatoren in der Beschichtung im Handel, die bei Bestrahlung mit der Hg-Lampe ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) fluoreszieren. Alle Substanzen des Chromatogramms, die in diesem UV-Bereich absorbieren, erscheinen dann als dunkle Flecken auf fluoreszierendem Untergrund, die man unter der Lampe mit einem weichen Bleistift umrandet.

#### 3. Bedampfen mit Iod

Die entwickelte DC-Platte wird in ein verschlossenes Gefäß mit einigen Jodkristallen gestellt. Nach kurzer Zeit färben sich die Substanzflecken intensiver braun als die Platte oder bleiben heller als die Platte. Da diese Anfärbung oft wieder verblasst, markiert man die Flecken mit Bleistift.

#### 4. Sprühreagenzien

Eine oft angewandte Methode, die farblose Substanzen auf dem Chromatogramm sichtbar macht und gleichzeitig Substanzklassen, funktionelle Gruppen oder bestimmte Substanzen nachzuweisen erlaubt, ist das Aufsprühen von Reagenz-lösungen. Dafür verwendet man sog. "Zerstäuber". Gut eignen sich käufliche Sprühdosen mit angehängtem Behälter für Anfärbe-Reagenzien. Das Aufsprühen muss in sehr feiner Verteilung erfolgen (Sprühen aus 20 – 30 cm Entfernung), da zu starkes Besprühen die Substanzflecken verwäscht.



Sprühen Sie nur im Abzug und schützen Sie diesen dabei vor den aggressiven Reagenzien! Verwenden Sie als "Sprühkabine" für DC-Platten einen Pappkarton (Öffnung nach vorne).

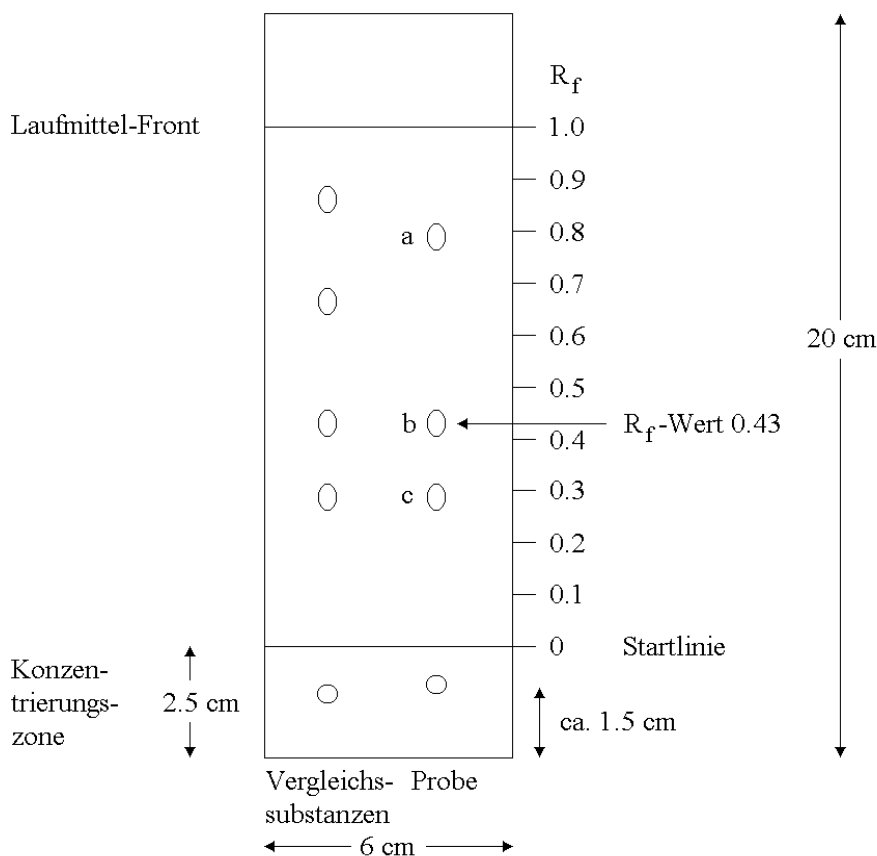
### Sprühreagenzien für bestimmte Verbindungsklassen

- *Säuren*: Zu einer 0.05proz. Lösung von Bromkresolgrün in Ethanol gibt man bis zum Umschlag nach blau verdünnte Natronlauge (0.1 M) und besprüht damit die DC-Platte. Säuren geben gelbe Flecken auf blauem Grund.
- *Aminosäuren, Peptide, primäre aromatische Amine*: In einem Gemisch aus 100 ml Butanol und 3 ml Essigsäure (Eisessig) löst man 0.3 g Ninhydrin unter Rühren und besprüht damit die DC-Platte. Beim Erwärmen mit einem Föhn oder einer elektrischen Heizplatte entsteht eine blaue bis braun-violette Färbung. Sprühdosen mit Ninhydrin-Lösung sind im Handel erhältlich.
- *Amine*: 4-Dimethylaminobenzaldehyd (Ehrlichs Reagenz) erzeugt gelbe bis violette Färbungen.
- *Aldehyde, Ketone*: Man besprüht mit einer Lösung von 2,4-Dinitrophenylhydrazin (500 mg) und konz. Schwefelsäure (2 ml) in Ethanol (100 ml). Man erhält langsam (schneller beim Erwärmen) rotorange Flecken auf gelbem Grund.
- *$\beta$ -Diketone,  $\beta$ -Ketoester, Phenole*: Man besprüht mit einer Lösung aus  $\text{FeCl}_3$  (1 g) in Ethanol (200 ml), Wasser (50 ml) und konz. Salzsäure (2 ml). Man beobachtet rote – violette Flecken [Bildung der Eisen(III)- Komplexe].

### Auswertung des Chromatogramms

Als Stoffkonstante, die hauptsächlich von mobiler und stationärer Phase, aber auch noch von anderen Faktoren abhängt, definiert man den sogenannten  $R_f$ -Wert (ratio of fronts).

$$R_f = \frac{\text{Laufstrecke der Substanz von der Startlinie aus}}{\text{Laufstrecke der Lösungsmittel-Front von der Startlinie aus}}$$



Die Trennleistung nimmt mit wachsenden  $R_f$ -Werten ab, da die Substanzflecken mit zunehmender Laufstrecke breiter werden. Bei schwierigen Trennproblemen variiert man die Bedingungen, bis  $R_f$ -Werte von 0.3 – 0.5 resultieren.

Die Trennleistung kann man erhöhen, wenn man die DC-Platte mit dem gleichen Laufmittel mehrmals entwickelt. Das ist ratsam, wenn die Substanzflecken einen  $R_f$ -Wert von 0.1 – 0.3 aufweisen.

Enthält die Probe Substanzen sehr unterschiedlicher Polarität, so entwickelt man zunächst die schwach polaren Substanzen und nach Trocknen die polaren Anteile mit einem stärker eluierenden Lösungsmittel (Stufenentwicklung).

$R_f$ -Werte geben Hinweise auf die Natur der Substanzen. Bei der Dünnschicht-Chromatographie auf Kieselgel ist eine Substanz mit größerem  $R_f$ -Wert weniger polar als eine Substanz mit kleinerem  $R_f$ -Wert.

Da der  $R_f$ -Wert von vielen Faktoren abhängt (Laufmittel, Adsorbens, Temperatur, Trennkammer, Sättigung des Kammerraums, Substanzmenge usw.), ist seine Reproduzierbarkeit gering, und die Identifizierung einer Substanz mit Hilfe des  $R_f$ -Werts aus der Literatur sehr problematisch. Daher ist es *unbedingt* nötig, im *gleichen* Chromatogramm authentische Vergleichssubstanzen mitlaufen zu lassen.

### Störungen und Fehler

Beobachtet man eine "Schwanzbildung" der Substanzflecken, hat man wahrscheinlich zu viel Substanz aufgetragen. Wenn auch geringere Mengen keine Besserung bewirken, muss man das Laufmittel und/oder die stationäre Phase wechseln.

Häufig wandern Laufmittel-Front und damit bei parallel aufgetragenen Proben auch die Substanzflecken nicht gleichmäßig. Das liegt meist daran, dass in der Kammer ungleiche Temperaturverhältnisse herrschen (z.B. durch Sonneneinstrahlung), dass die Kammeratmosphäre nicht mit Lösungsmitteldampf gesättigt ist oder die Kammer undicht ist. Wandert das Laufmittel nur an den Rändern der Schicht zu rasch, kann man diese auf ca. 1 mm Breite am Rand des Trägermaterials abschaben.

DC-Platten, die längere Zeit der Laborluft ausgesetzt waren, zeigen unter der UV-Lampe sehr nahe der Lösungsmittel-Front in der ganzen Breite der Platte eine Zone. Diese stammt von ubiquitären Weichmachern für PVC (z.B. "Dioctylphthalat"), die während des Lagerns der Platte aus der Laborluft adsorbiert werden.

## VERSUCH 9.1: DÜNNSCHICHT-CHROMATOGRAPHIE VON PFLANZENFARBSTOFFEN. TRENNUNG EINES SPINAT-EXTRAKTS

### Herstellung des Spinat-Extrakts (Achtung! Der Extrakt ist lichtempfindlich!)

Man zerkleinert 2 frische Spinatblätter und zerreibt die Stücke nach Zugabe von etwas gereinigtem Seesand und einer Spatelspitze  $\text{CaCO}_3$  in einer Reibschale. Man gibt 15 ml Aceton zu, verreibt und lässt im Eisbad 5 min *im Dunkeln* stehen. Man verreibt nochmals ca. 2 min und saugt in einem Büchner-Trichter ab.

### Dünnschicht-Chromatographie

Man trägt *sofort* den Extrakt in der Konzentrierungszone einer (4 x 20)cm Kieselgel-DC-Platte auf. Nach kurzem Trocknen (dazu legt man die Platte *mit der Schicht nach unten* auf eine saubere Unterlage, am besten schwarzen Karton) stellt man die Platte in ein Chromatographie-Gefäß, das ein Gemisch von Ligroin (Sdp. 100 – 140 °C), 2-Propanol und Wasser im Volumenverhältnis 400 : 40 : 1 enthält. Man schließt das Gefäß, stellt es in einen *abgedunkelten Raum* (z.B. unter einen Pappkarton oder in den Schrank) und beobachtet gelegentlich den Verlauf der Chromatographie.

Hat die Lösungsmittel-Front fast den oberen Rand der DC-Platte erreicht (nach ca. 2 h), nimmt man die Platte heraus, markiert *sofort* mit einem Bleistift die Lösungsmittel-Front und die farbigen Flecken. Berechnen Sie die  $R_f$ -Werte.

Die Pflanzenfarbstoffe wandern in der Reihenfolge abnehmender  $R_f$ -Werte: Gelbrotes  $\beta$ -Carotin, Phäophytin a, blaugrünes Chlorophyll a, gelbgrünes Chlorophyll b, gelbes Xanthophyll. Unter der UV-Lampe sind noch weitere Flecken zu beobachten. *Die Farben verblassen rasch am Licht.*

## **VERSUCH 9.2: DÜNNSCHICHT-CHROMATOGRAPHIE VON PFLANZENFARBSTOFFEN. TRENNUNG EINES PAPRIKA-EXTRAKTS**

### **Herstellung des Paprika-Extrakts** (Achtung! Der Extrakt ist lichtempfindlich!)

In einem 50-ml-Erlenmeyer-Kolben rührt man im Dunkeln (z.B. unter einem Pappkarton oder im Schrank) 30 min möglichst *frisches* (frisch gekauftes) Paprika-Gewürzpulver (1 g) in Essigsäure-ethylester (5 ml) und saugt in einem Hirsch-Trichter ab.

**Dünnschicht-Chromatographie:** Siehe Versuch 9.1. Laufmittel Essigsäure-ethylester.

## **VERSUCH 9.3: TRENNUNG VON $\alpha$ -AMINOSÄUREN**

### **Herstellung der Vergleichslösungen**

Man löst die folgenden  $\alpha$ -Aminosäuren in jeweils 5 ml Wasser und gibt 5 ml Ethanol zu.

1. Leucin (13 mg)
2. Valin (12 mg)
3. Alanin (9 mg)
4. Arginin (17 mg)
5. Man mischt je 2.5 ml der Lösungen und erhält dadurch ein Gemisch der  $\alpha$ -Aminosäuren.

### **Dünnschicht-Chromatographie**

In Abständen von 2 cm trägt man in einer Reihe von links nach rechts das Gemisch der  $\alpha$ -Aminosäuren und die Lösungen der  $\alpha$ -Aminosäuren in der Konzentrierungszone einer (12 x 20)cm Kieselgel-DC-Platte auf und trocknet ca. 3 min mit einem Föhn. Verwenden Sie für jede Lösung eine neue Kapillare zum Auftragen! Man stellt die DC-Platte in einen Chromatographie-Trog, der ein Gemisch aus 1-Butanol, Essigsäure und Wasser im Volumenverhältnis 4 : 1 : 1 enthält. Man schließt den Trog und beobachtet gelegentlich den Verlauf der Chromatographie.

Hat die Lösungsmittel-Front fast den oberen Rand der DC-Platte erreicht (nach ca. 2 h), nimmt man die Platte heraus und markiert sofort mit einem Bleistift die Lösungsmittel-Front. Man lässt die entwickelte DC-Platte im Abzug trocknen oder trocknet sie mit einem Föhn.

Man besprüht die Platte kurz und vorsichtig mit Ninhydrin-Lösung (bei zu starkem Aufsprühen entstehen Flecken), trocknet und erwärmt mit einem Föhn. Nach ca. 1 min zeigen sich violette Flecken. Berechnen Sie die  $R_f$ -Werte.

## **VERSUCH 9.4: NACHWEIS VON FREIEN $\alpha$ -AMINOSÄUREN IN KARTOFFELN**

### **Herstellung des Kartoffel-Extrakts**

Man zerreibt eine geschälte Kartoffel mit einer Küchenreibe und saugt den Brei in einem Büchner-Trichter ab. Zu 3 ml Filtrat gibt man 10 ml Ethanol und fällt dadurch das Eiweiß. Man saugt in einem Hirsch-Trichter ab und engt das Filtrat am Rotationsverdampfer auf ca. 6 ml ein.

### **Herstellung der Vergleichslösungen**

Man löst die folgenden  $\alpha$ -Aminosäuren in jeweils 5 ml Wasser und gibt 5 ml Ethanol zu.

1. Lysin-monohydrochlorid (18 mg).
2. Glutaminsäure (15 mg).
3. Valin (12 mg).
4. Phenylalanin (17 mg).

5. Man mischt je 2.5 ml der Lösungen und erhält dadurch ein Gemisch der  $\alpha$ -Aminosäuren.

### Dünnschicht-Chromatographie

In Abständen von 2 cm trägt man in einer Reihe von links nach rechts das Gemisch der  $\alpha$ -Aminosäuren, den Kartoffel-Extrakt und die einzelnen  $\alpha$ -Aminosäuren in der Konzentrierungszone einer (14 x 20)cm Kieselgel-DC-Platte auf und trocknet ca. 3 min mit einem Föhn. Verwenden Sie für jede Lösung eine neue Kapillare zum Auftragen! Man stellt die DC-Platte in einen Chromatographie-Trog, der ein Gemisch aus Essigsäure-ethylester, Ethanol und 17proz. wässriger Ammoniak-Lösung im Volumenverhältnis 3 : 3 : 2 enthält. Man schließt den Trog und beobachtet gelegentlich den Verlauf der Chromatographie.

Hat die Lösungsmittel-Front fast den oberen Rand der DC-Platte erreicht (nach ca. 2 h), nimmt man die Platte heraus und markiert sofort mit einem Bleistift die Lösungsmittel-Front. Man lässt die entwickelte DC-Platte im Abzug trocknen oder trocknet sie mit einem Föhn.

Man besprüht die Platte kurz und vorsichtig mit Ninhydrin-Lösung (bei zu starkem Aufsprühen entstehen Flecken), trocknet und erwärmt mit einem Föhn. Nach ca. 1 min zeigen sich violette Flecken. Berechnen Sie die  $R_f$ -Werte und vergleichen Sie die Chromatogramme des Kartoffel-Extrakts, des  $\alpha$ -Aminosäure-Gemischs und der reinen  $\alpha$ -Aminosäuren.

### VERSUCH 9.5: DÜNNSCHICHT-CHROMATOGRAPHIE VON COFFEIN (Gef.-Symb. Xn, R: 20/22, S: 22-24-44)

#### Herstellung der Lösungen

1. Man löst Coffein (10 mg) in Essigsäure-ethylester (5 ml).
2. In einem kleinen Scheidetrichter extrahiert man 50 ml Cola-Getränk mit 15 ml Essigsäure-ethylester und verwirft die wässrige Phase.
3. In einem kleinen Scheidetrichter extrahiert man 50 ml Kaffee mit 15 ml Essigsäure-ethylester und verwirft die wässrige Phase.
4. Man zerkleinert eine Coffein-Tablette in einer Reibschale und gibt das Pulver in ein kleines Reagenzglas (10 x 1.5 cm). Nach Zugabe von konz. Ammoniak (3 ml) rührt man die Mischung mit einem kleinen Spatel. Man gibt Essigsäure-ethylester (1 ml) zu und extrahiert, indem man die Mischung nochmals mit dem Spatel kräftig rührt. Für die Dünnschicht-Chromatographie taucht man die Kapillare in die obere, organische Phase. Mit diesem Verfahren kann man auch andere Tabletten auf ihren Coffein-Gehalt untersuchen.

#### Dünnschicht-Chromatographie

In Abständen von 2 cm trägt man die Lösungen in der Konzentrierungszone einer (10 x 20)cm Kieselgel-DC-Platte auf und trocknet ca. 3 min mit einem Föhn. Verwenden Sie für jede Lösung eine neue Kapillare zum Auftragen! Man stellt die DC-Platte in ein Chromatographie-Gefäß, das ein Gemisch aus Essigsäure-ethylester und Aceton im Volumenverhältnis 1 : 1 enthält. Man schließt das Gefäß und beobachtet gelegentlich den Verlauf der Chromatographie.

Hat die Lösungsmittel-Front fast den oberen Rand der DC-Platte erreicht (nach ca. 2 h), nimmt man die Platte heraus und markiert *sofort* mit einem Bleistift die Lösungsmittel-Front. Lassen Sie die Platte im Abzug trocknen und machen Sie die Substanzflecken mit einer UV-Lampe oder mit Iod sichtbar.

### VERSUCH 9.6: DÜNNSCHICHT-CHROMATOGRAPHIE VON SYNTHETISCHEN FARBSTOFFEN

In Abständen von 2 cm trägt man Farben von vier verschiedenen Schreibutensilien (z.B. schwarze Tinte; schwarzer, grüner und roter Filzstift) in der Konzentrierungszone einer (10 x 20)cm Kieselgel-DC-Platte auf. Man stellt die DC-Platte in ein Chromatographie-Gefäß, das ein Gemisch aus 1-Butanol, Wasser und Essigsäure im Volumenverhältnis 5 : 2 : 1 enthält. Man schließt das Gefäß und beobachtet gelegentlich den Verlauf der Chromatographie.

Hat die Lösungsmittel-Front fast den oberen Rand der DC-Platte erreicht (nach ca. 2 h), nimmt man die Platte heraus und markiert *sofort* mit einem Bleistift die Lösungsmittel-Front. Lassen Sie die Platte im Abzug trocknen und vergleichen Sie die Zusammensetzung der Farben.

### Literatur zur Dünnschichtchromatographie

- 1) M. Lederer, E. Leipzig-Pagani; *J. Chem. Educ.* **1996**, 73, 974-976.  
„Thin-layer chromatography experiments that illustrate general problems in chromatography“
- 2) J. Anwar, S. A. Nagra, M. Nagi, *J. Chem. Educ.* **1996**, 73, 977-979.  
„Thin-layer chromatography: four simple activities for undergraduate students“
- 3) R. Curtright, J. A. Rynearson, J. Markwell, *J. Chem. Educ.* **1996**, 73, 306-309.  
„Anthocyanins – Model compounds for learning about more than pH“
- 4) H. J. Bader, H. Sommerfeld, *Praxis der Naturwissenschaften/Chemie* **1988**, 37 (3), 15-20.  
„Bestimmung von Farbstoffen in Getränke-Instant-Pulvern, Brausekonzentraten und Götterspeisen“
- 5) U. Schwarzmaier, *Der mathemat. und naturwiss. Unterricht* **1977**, 30, 91-98.  
„Die dünnschichtchromatographische Untersuchung von Naturstoffen in Unterricht und Schülerübungen nach der Objektträger-Methode“
- 6) J. W. Elder, J. Abbruzzese, J. Murray, M. Zielski, *J. Chem. Educ.* **1976**, 53, 43.  
„Separation of paprika pigments – An introductory tlc experiment“
- 7) P. Ronman, *J. Chem. Educ.* **1985**, 62, 540.  
„Improvements in the Separation of  $\beta$ -Carotene and Lycopene by Column Chromatography“
- 8) M. Shiraki, M. Yoshiura, K. Iriyama, *Chem. Lett.* **1978**, 103-104.  
„Rapid and easy separation of chlorophylls, their derivatives, and plant yellow pigments by thin-layer chromatography“
- 9) K. Iriyama, M. Shiraki, *Chem. Lett.* **1977**, 787-788.  
„Partial purification of chlorophyll extracted from spinach leaves before chromatographic separation and isolation“
- 10) H. H. Stein, J. Sherma, *J. Chem. Educ.* **1969**, 46, 476-483.  
„Modifications of Solution Chromatography illustrated with Chloroplast Pigments“
- 11) J. W. Pavlik, *J. Chem. Educ.* **1973**, 50, 134.  
„TLC Detection of Caffeine in Commercial Products“
- 12) R. H. Mitchell, W. A. Scott, P. R. West, *J. Chem. Educ.* **1974**, 51, 69.  
„The Extraction of Caffeine from Tea“
- 13) B. Olesen, D. Hopson, *J. Chem. Educ.* **1983**, 60, 232.  
„Identification of Unknown Black Inks by Thin-Layer Chromatography“
- 14) G. Wulff, *Chem. Unserer Zeit* **1968**, 159-166.  
„Dünnschichtchromatographie von Blütenfarbstoffen“
- 15) E. Pfeil, *Chem. Unserer Zeit* **1969**, 58-60.  
„Papierchromatographie von Tintenfarbstoffen“