



## Gemischtrennung

### Einleitung

#### Um was geht es in diesem Praktikum?

In einem ersten Teil (CP 6) lernst du eine von drei anspruchsvolleren Trennmethode von Gemischen kennen. Die Versuche beanspruchen mehr oder weniger die ganze Doppelkation, sodass du ausnahmsweise die theoretischen Grundlagen zur Erklärung der Beobachtungen bzw. der Messwerte nachträglich erarbeiten musst. Dabei wirst du einfachere Trennmethode wie die Filtration oder die Sedimentation kennenlernen, welche du möglicherweise sogar zuhause schon einmal durchgeführt hast (z.B. Kaffee filtrieren).

Die Zuteilung der Versuche 1 bis 3 wird von der Lehrperson so organisiert, dass jeder Versuch mindestens von einer und maximal von zwei Gruppen durchgeführt wird.

In einem zweiten Teil (CP 7) präsentierst du deine Trennmethode der Klasse. Deine Präsentation soll mit geeigneten Computerprogrammen gestaltet werden (PowerPoint, Whiteboard, Kahoot u. a.) und 5–8 Minuten dauern. Zu Beginn des CP 7 stehen dir etwa 10 Minuten Vorbereitung zur Verfügung, um den Vortrag für dich nochmals durchzugehen. Die Präsentation muss also als Hausaufgabe angefertigt werden.

Es ist wichtig, dass du bereits im ersten Teil, während des Versuchs, Bilder von der Versuchsapparatur und den Produkten machst, damit du diese dann in deine Präsentation einbauen kannst. Inhaltlich sollten bei deinem Vortrag die Fragen zum entsprechenden Versuch abgedeckt werden.

Zur Versuchsdurchführung (Vorgehen) sind ausnahmsweise keine Notizen ins Laborjournal zu machen. Das Vorgehen muss jedoch im Rahmen des Vortrags geschildert werden.

Die Kriterien für die Bewertung des Vortrags finden sich auf der Website unter "Dateien" beim CP 6&7. Beim Vortrag sollten beide Laborgruppenmitglieder aktiv beteiligt sein, damit auch alle eine Note kriegen (Gewichtung 0.5). Es gibt keine Gruppennote, sondern eine individuelle Note, da gewisse Faktoren (Gestik, Lautstärke, Formulierungen etc.) bei verschiedenen Personen unterschiedlich bewertet werden können.

- |   |
|---|
| <p><b>Lernziele:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Du kannst eine der auf den folgenden Seiten aufgeführten Trennmethode durchführen und verstehst, wie diese Trennmethode genau funktioniert (CP 6).</li><li>• Du kannst anderen die von dir durchgeführte Trennmethode in einer kurzen Präsentation verständlich erklären. Dazu verwendest du geeignete Computerprogramme (CP 7).</li></ul> |
|---|



## Versuch 1: Extraktion von Fett aus Pommes-Chips

### Um was geht es in diesem Versuch?

Der Fettgehalt von Lebensmitteln wie Pommes-Chips kann bestimmt werden, indem das Fett mittels Extraktion aus den Stoffen herausgelöst wird. Dazu wird ein Lösungsmittel verwendet, in welchem Fett gut löslich ist, die anderen Bestandteile des Lebensmittels jedoch nicht.

- Lernziele:**
- Du kannst den Fettgehalt von fetthaltigen Lebensmitteln bestimmen.
  - Du verstehst das Prinzip der Soxhlet-Extraktion.

### Geräte / Material

#### Am Arbeitsplatz:

- Stativ mit 2 Muffen und 2 Klammern
- Laborlift und Holzbühne
- Schutzbrille
- Pinzette (gross)

#### Zentral in Kunststoffbox (2 x):

- Rundkolben (250 ml) mit Rundkork
- Mörser (sehr gross)
- Extraktionshülse
- Wattebausch
- Heizkalotte (mit Netzteil und stufenloser Heizregulation)
- Soxhlet-Extraktor
- Rückflusskühler mit 2 bereits montierten Wasserschläuchen
- Sammelgefäß 'Hexan aus Versuchen', 1-mal
- Rotavapor mit Wasserbad (70 °C), 1x hinten im Labor
- Pillenglas, Pastette

### Chemikalien

- Pommes-Chips (Nature)
- Hexan

**Sicherheit:** Hexan ist leicht entzündbar, gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken sowie möglicherweise fortpflanzungsgefährlich und darf nicht ins Wasser gelangen. Trage während des Versuchs eine Schutzbrille.

### Durchführung

- (1) Bestimme und notiere zuerst die Masse des leeren Rundkolbens und der Extraktionshülse (Waage 0.00 g benutzen).
- (2) Die Pommes-Chips werden mittels Mörser zerkleinert und in die Extraktionshülse gefüllt, bis diese halb voll ist.
- (3) Wäge nun die gefüllte Extraktionshülse und notiere die genaue Masse (also z. B. 5.87 g).  
Verschliesse nun die Extraktionshülse mit einem kleinen Wattestopfen.
- (4) (*Unter Abzug:*) Stelle eine Holzbühne auf die Stativplatte. Auf die Holzbühne kommt ein Laborlift (Hebebühne, "Laborboy") und darauf die Heizkalotte (vgl. Abb. rechts.)
- (5) *⚠* (*Abzug:*) Fülle den Rundkolben zu  $\frac{2}{3}$  mit Hexan und befestige diesen mit einer Klammer am Stativ.
- (6) Setze den Soxhlet-Extraktor auf den Kolben und befestige ihn mit einer weiteren Klammer am Stativ. Die Klammer soll beim oberen Schriff präzise zugreifen. Stelle die vorbereitete Extraktionshülse in den Extraktor. Setze den Rückflusskühler auf den Soxhlet-Extraktor und verbinde ihn am oberen Schriff mit dem Stativ. Achte darauf, dass die ganze Apparatur senkrecht steht.

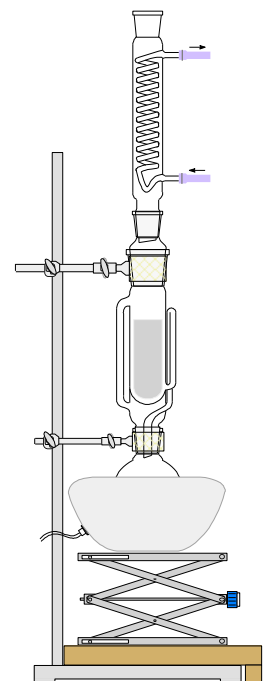


Abb. 1: Versuchsaufbau Soxhlet-Extraktion



- (7) Schliesse die Wasserschläuche an und lass das Kühlwasser fließen. Drehe dabei den Wasserhahn nicht zu stark auf. Es reicht, wenn das Wasser leicht plätschert.
- (8) Starte die Extraktion durch Inbetriebnahme der Heizkalotte (zusätzlich Schalter auf "max", Drehscheibe für die Heizleistung auf "10"). Am Netzteil mit dem Stecker ist auf die Reset-Taste zu drücken, sodass die Leuchtdiode am On-/Off-Schalter der Heizkalotte grün leuchtet.
- Die Extraktion dauert im Allgemeinen 3–4 Stunden, um das ganze Fett aus der Probe herauszulösen. Aus zeitlichen Gründen wirst du nur rund 20–30 Minuten lang extrahieren – beziehungsweise so lange, bis die Flüssigkeit im Soxhlet-Extraktor nicht mehr gelb ist.
- Lies unterdessen die Aufgaben 5–7 zum Versuch. Studiere anschliessend die Anleitung zum Rotationsverdampfer (an der Wand ganz hinten in der Ecke des Labors). Starte anschliessend bzw. wenn möglich mit dem Lösen der Aufgaben auf der Website.
- (9) Beende die Extraktion, indem du die Heizkalotte abstellst. Drehe den Laborlift hinunter und baue die Apparatur von oben nach unten ab.
- Achte darauf, dass das Lösungsmittel, welches sich noch in der Soxhlet-Apparatur bzw. Extraktionshülse (grosse Pinzette zum Entfernen verwenden) befindet, ebenfalls in den Rundkolben transferiert wird und dabei nicht auf die Haut gelangt.
- (10) (*Lehrperson rufen:*) Destilliere das Lösungsmittel im Rundkolben mit Hilfe des Rotationsverdampfers. Destilliere so lange bis kein Tropfen Hexan mehr kondensiert. Das Fett bleibt im Kolben zurück.
- (11) Wäge nun den Rundkolben mit dem Fett und notiere die genaue Masse (also z. B. 78.43 g).
- (12) Entsorgung/Aufräumen:
- Das abdestillierte Hexan kann von der nächsten Gruppe wiederverwendet werden. Es wird in die bereitgestellte Sammelflasche abgefüllt.
- Entferne das gesamte Kühlwasser aus dem Rückflusskühler. Der Rückflusskühler und der Soxhlet-Extraktor werden nicht mit Wasser gespült und wieder zurückgelegt. Sie bleiben zum Trocknen unter dem Abzug.
- Das Öl kann – zwecks Demonstration – in einem Pillenglas gesammelt werden oder in den Abfall entsorgt werden. Reinige den Rundkolben mit Spülmittel und heissem Wasser von Fett und stelle den Rundkolben in die Box für schmutzige Glaswaren.
- Reinige die Extraktionshülse. Die Nahrungsmittelreste und die Watte können im Abfall entsorgt werden (Abfalleimer in Abzug stellen). Die Extraktionshülse wird wieder zurückgelegt (Abzug).

## Aufgaben

*Die Aufgaben 1–4 und 8–9 sind allgemeiner Natur und finden sich auf der Website. Die Aufgaben 1–4 sollten vor dem Vortrag, die Aufgaben 8–9 nach dem Vortrag bearbeitet werden.*

*Die folgenden Fragen beziehen sich spezifisch auf den Versuch und sollten inhaltlich bei deinem Vortrag abgedeckt werden. Die Reihenfolge der Aufgaben im Laborjournal spielt keine Rolle.*

- (5) Zeichne die Versuchsapparatur auf. Fertige die Zeichnung grosszügig an, sodass der Weg und der jeweilige Aggregatzustand des Lösungsmittels eingezeichnet/beschriftet werden können.
- (6) Erkläre mithilfe deiner Zeichnung das Prinzip der Soxhlet-Extraktion.
- (7) Ermittle die Masse des extrahierten Fetts und berechne daraus den Fettgehalt des Nahrungsmittels in Prozent. Vergleiche deine Berechnung mit der Angabe auf der Nahrungsmittelverpackung.



## Versuch 2: Destillation von Rotwein

### Um was geht es in diesem Versuch?

Die Destillation ist eine wichtige Trennmethode zur Trennung von homogenen, flüssigen Gemischen. Die Komponenten eines Gemisches werden bei der Destillation aufgrund ihrer unterschiedlichen Siedepunkte getrennt. Man kann heute mit relativ geringem Aufwand Gemische destillativ trennen, deren Komponenten sich in ihrem Siedepunkt nur um wenige Grad Celsius unterscheiden. Mit einfachen Destillationsanlagen wird in der Regel keine vollständige Trennung erreicht, selbst wenn die Siedepunktunterschiede beträchtlich sind.

- |                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Lernziele:</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Du kannst den Alkohol aus einem leicht alkoholhaltigen Getränk abtrennen.</li><li>• Du kannst mit Hilfe eines Refraktometers den Alkoholgehalt von Flüssigkeiten bestimmen.</li><li>• Du verstehst das Prinzip der Destillation.</li></ul> |
|-------------------|--|

### Geräte / Material

#### Am Arbeitsplatz:

- Stativ mit 2 Muffen und 2 Klammern
- Laborlift, Holzbühne
- Siedesteinchen
- 6 Reagenzgläser (RG)
- Reagenzglasgestell

- Schutzbrille
- Spritzflasche mit Reinigungsalkohol

#### Zentral in Kunststoffbox (2 x):

- Rundkolben (250 ml) mit Rundkork
- Vigreux-Kolonne

- Destillationsbrücke (Einheit aus Aufsatz und Kühler)
- 2 Thermometer
- Heizkalotte (mit CH-Stecker u. stufenloser Heizreg.)
- Laborlift (zusätzlich)
- Folienstift, Massstab
- Refraktometer

### Chemikalien

- Rotwein

<b>Sicherheit:</b>	Trage während des Versuchs eine Schutzbrille.
--------------------	---

### Durchführung

- (1) Fülle den Rundkolben etwa zur Hälfte mit Rotwein. Gib zusätzlich 4 Siedesteinchen zum Wein. Befestige nun den Rundkolben mit einer Stativklammer am Stativ.
- (2) Baue die Apparatur gemäss Abb. 2 auf: Stelle auf die Stativplatte eine Holzbühne und darauf die Heizkalotte. Achte darauf, dass der Rundkolben gut in der Heizkalotte sitzt. Befestige die einzelnen Bauteile immer mit einer Klammer, bevor du das nächste Teil aufsetzt.
- (3) Schliesse die Wasserschläuche an und lass das Kühlwasser fließen. Drehe den Wasserhahn nicht zu stark auf. Es reicht, wenn das Wasser leicht plätschert.
- (4) Die Heizkalotte wird in Betrieb genommen (zusätzlich Schalter auf "max", Drehscheibe für Heizregulation auf "10").

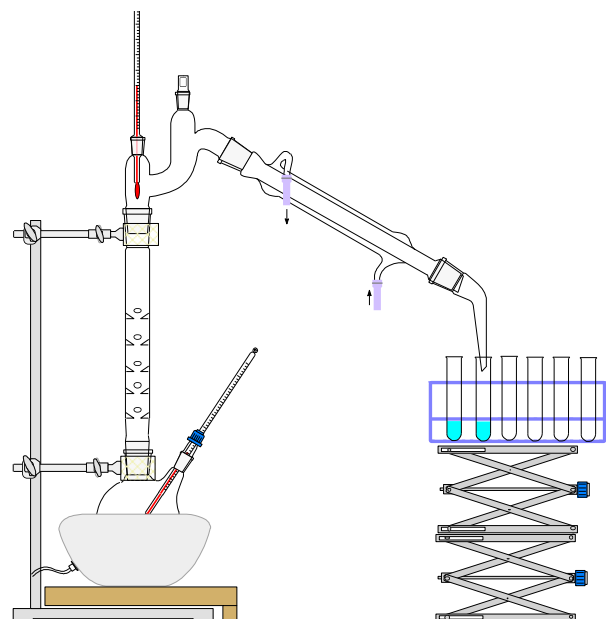


Abb. 2: Versuchsaufbau zur Destillation (Destillationsapparatur)



- (5) Benutze als Auffanggefäße (Vorlagen) für das Destillat sechs saubere, trockene RG. Nummeriere die RG und mache in 2 cm Höhe (Massstab) mit dem Folienstift eine Markierung. Wenn das Destillat (die Fraktion) jeweils die Markierung im RG erreicht hat, wird ein neues RG als Vorlage benutzt. Schiebe dazu das Reagenzglasgestell jeweils um eine Position (neues RG) weiter.

- (6) Halte bei jedem RG die Dampf- und Sumpftemperatur fest [vgl. Aufgabe (5)], wenn der erste Tropfen ins RG fällt. Die Sumpftemperatur wird im Rundkolben gemessen, die Dampftemperatur wird oben vor dem Kühler gemessen.

Lies auch die Aufgaben 6–7 zum Versuch. Bestimme mit dem Refraktometer den Brechungsindex der bereits gesammelten Fraktionen. Rufe die Lehrperson, damit diese dir erklären kann, wie das Refraktometer korrekt verwendet wird.

- (7) Entsorgung/Aufräumen:

Lass die Apparatur genügend abkühlen. Baue die Apparatur ab. Entferne dabei das gesamte Kühlwasser aus der Destillationsbrücke. Thermometer, Vigreux-Kolonne und Destillationsbrücke werden – ohne diese mit Wasser zu spülen – wieder zurückgelegt.

Der Inhalt des Rundkolbens und der RG kann in den Ausguss geschüttet werden. Die Siedesteine werden im Abfall entsorgt. Der Rundkolben wird mit dest. Wasser gespült und zurückgelegt. Die Beschriftung auf den RG kann mit einem Papier und Reinigungsalkohol (auf dem Gestell am Arbeitsplatz) entfernt werden. Die RG werden in die Plastikwanne für schmutziges Geschirr gelegt.

## Aufgaben

Die Aufgaben 1–4 und 8–9 sind allgemeiner Natur und finden sich auf der Website. Die Aufgaben 1–4 sollten vor dem Vortrag, die Aufgaben 8–9 nach dem Vortrag bearbeitet werden.

Die folgenden Fragen beziehen sich spezifisch auf den Versuch und sollten inhaltlich bei deinem Vortrag abgedeckt werden. Die Reihenfolge der Aufgaben im Laborjournal spielt keine Rolle.

- (5) Erstelle eine Tabelle mit den folgenden Rubriken, um die zu erhebenden Messwerte einzutragen:

Fraktion-Nr.	Dampftemperatur (°C)	Sumpftemperatur (°C)	Brechungsindex $n_D$	Ethanolgehalt (Vol.-%)
--------------	----------------------	----------------------	----------------------	------------------------

Mit den gemessenen Werten des Brechungsindex können – mithilfe der Tabelle 1 – die Alkoholgehalte der Fraktionen bestimmt werden.

Tab. 1: Umrechnungstabelle für Ethanol-Wasser-Gemische vom Brechungsindex zu Volumenprozent und Dichte

Vol.-% Ethanol	$n_D$	Dichte (g/ml)	Vol.-% Ethanol	$n_D$	Dichte (g/ml)	Vol.-% Ethanol	$n_D$	Dichte (g/ml)
0	1.3330	0.9982	24.3	1.3469	0.9687	69.5	1.3644	0.8818
2.5	1.3342	0.9945	28.8	1.3498	0.9632	73.1	1.3650	0.8724
5.0	1.3354	0.9910	33.3	1.3524	0.9571	76.7	1.3654	0.8629
7.6	1.3367	0.9878	37.6	1.3546	0.9504	80.2	1.3657	0.8533
10.0	1.3381	0.9847	41.9	1.3566	0.9431	83.7	1.3658	0.8436
11.3	1.3388	0.9833	46.0	1.3583	0.9352	87.0	1.3656	0.8335
12.5	1.3395	0.9819	50.2	1.3598	0.9269	90.4	1.3653	0.8232
13.7	1.3403	0.9805	54.2	1.3610	0.9183	93.6	1.3646	0.8125
14.9	1.3410	0.9792	58.1	1.3621	0.9095	96.9	1.3636	0.8013
16.0	1.3417	0.9778	62.0	1.3630	0.9004	98.4	1.3630	0.7954
19.6	1.3440	0.9739	65.7	1.3638	0.8911	100	1.3614	0.7893

- (6) Beschreibe und erkläre die Veränderung der gemessenen Alkoholgehalte der Fraktionen und vergleiche diese mit den Werten für die Sumpf- und Siedetemperatur. Am einfachsten geht dies, wenn du dazu ein Diagramm machst (x-Achse: Fraktionsnummer; y-Achse 1: Temperatur, y-Achse 2: Alkoholgehalt).

- (7) Erkläre das Prinzip der Destillation am konkreten Beispiel.



## Versuch 3: Extraktion und Dünnschichtchromatographie von Carotinoiden aus Karotten und Peperoni

### Um was geht es in diesem Versuch?

Paprikagewürz und Karotten haben eine charakteristische Rotfärbung, welche sie dank der sogenannten Carotinoide besitzen. In diesem Versuch wirst du ein Gemisch verschiedener Carotinoide in einzelne Komponenten auftrennen. Als Trennverfahren dient dazu die Chromatografie.

- |                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Lernziele:</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Du kannst ein Gemisch aus verschiedenen Farbstoffen (Carotinoide) in die einzelnen Farbstoffe auftrennen.</li><li>• Du verstehst das Funktionsprinzip der Dünnschicht-Chromatografie (DC).</li><li>• Du bist in der Lage, die <math>R_f</math>-Werte der einzelnen Farbstoffe zu ermitteln und verstehst die Bedeutung des <math>R_f</math>-Wertes.</li></ul> |
|-------------------|---|

### Geräte / Material

#### Am Arbeitsplatz:

- Spatel
- 2 Reagenzgläser (RG)
- Reagenzglasgestell
- Schutzbrille

#### Zentral in Kunststoffbox (2 x):

- Messer
- Mörser
- Schneidebrett
- Reibe
- Becherglas (100 ml)
- 2 Pastetten
- 2 Mikrokapillaren

- Kieselgel-Dünnschichtfolie (DC-Folie)
- DC-Glas
- Laborlift (zusätzlich)
- Massstab
- Sammelgefäß (500 ml) für Karotten/Paprika-Extrakte, zentral


### Chemikalien

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• 1/2 Karotte</li><li>• Paprikagewürzpulver</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Aceton</li><li>• Petrolether</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Laufmittel (10 Vol.-Teile Benzin mit Sdt. 100–140 °C / 1 Vol.-Teil 2-Propanol)</li></ul> |
|---|--|--|

<b>Sicherheit:</b>	Trage eine Schutzbrille und den Labormantel. Die verwendeten Lösungsmittel sind leichtentzündlich und reizend.
--------------------	--

### Durchführung

#### Extraktion der farbigen Stoffe aus Karotten

- (1) Schneide eine halbe Karotte in möglichst kleine Stücke oder zerkleinere sie mit der Reibe und zerstampfe die kleinen Stücke so gut es geht im Mörser.
- (2)  (Unter Abzug:) Gib den Karottenbrei anschliessend in ein Becherglas (100 ml), überschichte ihn mit wenig Aceton und verrühre alles gut. Eine Person kann nun mit Schritt 5 beginnen.
- (3) Befülle nach 5 min ein Reagenzglas 3 cm hoch mit dieser Lösung aus Schritt 2 (Massstab verwenden), gib dann mit einer Pastette 0.5 cm hoch Petrolether zu dieser Lösung und schüttle kräftig.
- (4) Gib anschliessend mit einer weiteren Pastette einige Tropfen destilliertes Wasser dazu und schüttle wieder kräftig.

Wiederhole diesen Vorgang solange, bis der Farbstoff aus dem Aceton in den Petrolether überführt ist und sich oben im Reagenzglas eine klare gelbe Phase gebildet hat.

#### Extraktion der farbigen Stoffe aus Paprikagewürzpulver

- (5) Gib zwei Spatelspitzen Paprikapulver in ein weiteres Reagenzglas und überschichte es mit wenig Aceton. Schüttle anschliessend gut, bis sich ein feuerroter Extrakt über dem Pulver gebildet hat.



### Untersuchung der Inhaltsstoffe mittels Dünnschichtchromatographie (DC)

- (6) Fülle das DC-Glas ca. 0.5 cm hoch mit dem Laufmittelgemisch (Benzin und 2-Propanol im Volumenverhältnis 10:1). Falls schon Laufmittel drin ist, ist zu kontrollieren, ob genügend Flüssigkeit vorhanden ist, Schliesse dann das Glas mit dem Deckel.
- (7) Zeichne 1.5 cm oberhalb des unteren Randes mit Bleistift und mit wenig Druck einen Strich auf eine DC-Folie. Achte dabei darauf, die Dünnschicht nicht zu verletzen.
- (8) (*Lehrperson rufen:*) Trage nun beide farbigen Extrakte je mit einer Mikrokapillare auf der gezeichneten Linie auf (Abb. 3). Dazu wird die Mikrokapillare kurz in die jeweiligen Extrakte (farbige Phase) getaucht und anschliessend senkrecht auf die DC-Platte gehalten.

Achte darauf, dass die dabei entstehenden Farbpunkte nicht zu gross werden. Dies kannst du beeinflussen, indem du die Kapillare nach einer kurzen Berührung der Platte wieder anhebst.

Wiederhole den Vorgang nach kurzem Zwischentrocknen, bis du einen deutlich erkennbaren Farbpunkt erhältst.

Stelle nun die Folie vorsichtig in das DC-Glas und verschliesse diese wieder (DC-Glas nicht mehr bewegen).

- (9) Nimm die Folie wieder aus dem DC-Glas heraus, wenn die Fließmittelfront ca. 1 cm unter dem oberen Rand der DC-Folie angekommen ist (nach ca. 10 min). Markiere die Laufmittelfront sorgfältig mit Bleistift.

Lies unterdessen die Aufgaben 5–7 zum Versuch. Starte anschliessend bzw. wenn möglich mit dem Lösen der Aufgaben auf der Website.

- (10) Entsorgung / Aufräumen:

(*Lehrperson rufen:*) Die Flüssigkeiten (Aceton/Petrolether-Gemisch) in den zwei RG werden in den Abfallbehälter für Lösungsmittel entsorgt. Der Karotten-Aceton-Brei und der Paprika-Aceton-Brei werden im bereitgestellten Sammelgefäss entsorgt.

Das Laufmittelgemisch bleibt, falls es immer noch farblos ist, im verschlossenen DC-Glas.

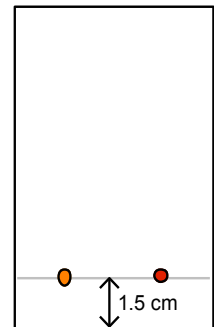


Abb. 3: Mit Farbstoffgemischen beladene DC-Folie

## Aufgaben

Die Aufgaben 1–4 und 8–9 sind allgemeiner Natur und finden sich auf der Website. Die Aufgaben 1–4 sollten vor dem Vortrag, die Aufgaben 8–9 nach dem Vortrag bearbeitet werden.

Die folgenden Fragen beziehen sich spezifisch auf den Versuch und sollten inhaltlich bei deinem Vortrag abgedeckt werden. Die Reihenfolge der Aufgaben im Laborjournal spielt keine Rolle.

- (5) Fotografiere das erhaltene Chromatogramm, speichere das Foto und drucke es aus, damit du dieses in dein Journal kleben kannst (Hausaufgabe) bzw. für den Vortrag verwenden kannst.
- (6) Ermittle die  $R_f$ -Werte der einzelnen Carotinoide. Einen kurzen Theorieinput zum  $R_f$ -Wert findest du unten.
- (7) Erkläre das Prinzip der Dünnschicht-Chromatographie am konkreten Beispiel.

Nachtrag: Der  $R_f$ -Wert:

Der Betrag, um den eine Verbindung auf dem DC-Plättchen gewandert ist, wird mit dem  $R_f$ -Wert beschrieben. Es gilt:

$$R_f = \frac{a}{f}$$

- a : effektive Laufstrecke (Startort – Substanzfleck)  
f : maximal mögliche Laufstrecke (entspricht der Strecke die das Fließmittel total zurückgelegt hat)

