

## Sind grüne M&M's wirklich grün?

### Chromatografie mit einem selbst konstruierten Low-Cost-Flash-Säulenchromatografen

Martin Wild, Regensburg

**Niveau:** Sek. I

**Dauer:** 2 Unterrichtsstunden

#### Bezug zu den KMK-Bildungsstandards

**Fachwissen:** Die Schülerinnen und Schüler beschreiben und unterscheiden Farbstoffe als Reinstoff und Stoffgemische anhand ihrer typischen Eigenschaften und beschreiben modellhaft den submikroskopischen Bau der in M&M's enthaltenen Lebensmittelfarbstoffe. Dazu nutzen sie ein bildlich metaphorisches Modell zur Deutung der Stoffeigenschaften auf Teilchenebene.

**Erkenntnisgewinnung:** Die Schülerinnen und Schüler erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mithilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind. Dazu führen sie eine qualitative und einfache quantitative experimentelle Untersuchung an M&M's durch und protokollieren diese. Dabei erheben sie während Konstruktion und Experiment relevante Daten, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen.

**Kommunikation:** Die Schülerinnen und Schüler beschreiben, veranschaulichen oder erklären den Aufbau eines Farbstoffgemisches sowie eines Chromatografen unter Verwendung von Fachsprache und mithilfe von Modellen und Darstellungen. Dazu dokumentieren sie den Verlauf und die Ergebnisse ihrer Arbeit situationsgerecht und adressatenbezogen, indem sie eigenständig planen, strukturieren, reflektieren und ihre Arbeit als Team präsentieren.

**Bewertung:** Die Schülerinnen und Schüler entwickeln aktuelle, lebensweltbezogene Fragestellungen, die unter Nutzung fachwissenschaftlicher Erkenntnisse der Chemie beantwortet werden können und binden chemische Sachverhalte in Problemzusammenhänge ein, entwickeln Lösungsstrategien zur Trennung des Farbstoffgemisches und wenden diese eigenständig an.

#### Der Beitrag enthält Materialien für:

- |                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| ✓ Offene Unterrichtsformen | ✓ Schülerversuche      |
| ✓ Vertretungsstunden       | ✓ Lehrerversuche       |
| ✓ Alltagschemikalien       | ✓ Low-Cost-Apparaturen |

### Hintergrundinformation

Im Chemie-Anfangsunterricht ist der Teilbereich „Vom Stoffgemisch zum Reinstoff“ ein wichtiger Unterrichtsinhalt, der sich fast vollständig am Beispiel der Chromatografie erarbeiten lässt. Der Teilbereich eröffnet neben dem Vertiefen der Arbeitstechniken und der Modellvorstellungen bezüglich Stoff- und Teilchenebene ebenso Möglichkeiten zur Vermittlung von Bewertungskompetenz bezüglich des Einsatzes von Lebensmittelfarben zur Beeinflussung des Verbrauchers oder dem Gefährdungspotenzial von Lebensmittelzusätzen, wie z. B. der kontrovers diskutierten Stoffgruppe der Azofarbstoffe.

Die Chromatografie als Trennverfahren ist dabei aus der modernen Analytik und präparativen Synthese nicht wegzudenken. Verschiedene Varianten der Chromatografie wie Dünnschicht-, Papier- oder Gaschromatografie ebenso wie moderne HPLC werden sowohl in der Lebensmittelindustrie, in der Doping-Analytik als auch in der Phar-

I/A

mazie sowie zur Isolierung von Reinstoffen und zu deren Identifizierung eingesetzt. Die Einteilung erfolgt nach Art des Trennprinzips (Adsorptions-, Verteilungs-, Ionen-Austausch-, Affinitätschromatografie) oder nach verwendeten Phasen (Flüssig- oder Gaschromatografie) mit ihren jeweiligen Unterarten. Wegen der Komplexität der verschiedenen Typen soll dem Schüler\* lediglich die (Flash-)Säulenchromatografie als ein Beispiel erläutert werden, bei der ein Stoffgemisch aufgrund verschieden starker Wechselwirkungen zwischen einer stationären und einer mobilen Phase (unter Anwendung von geringem Druck, meist 2–25 bar) in seine Reinstoffe getrennt werden kann. Dabei nutzen die Schüler die druck- und temperaturabhängige Kenneigenschaft „Adsorption“, grenzen den Begriff von Absorption ab und beschreiben die Vorgänge innerhalb der Säule auf Stoff- und Teilchenebene. Im Laufe des Schuljahres lassen sich die Kenntnisse anschließend noch zusätzlich durch Dünnschicht- und Gaschromatografie erweitern.

### Hinweise zur Didaktik und Methodik

Die gesamte Unterrichtsstunde ist nach dem forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren aufgebaut. Die Schüler sollen in der Stunde weiter ihr problemorientiertes Denken verbessern, indem sie selbstständig Probleme erkennen, Hypothesen zur Problemlösung aufstellen und diese in eigens geplanten Experimenten überprüfen. Der Lehrer tritt während des Unterrichts in weiten Teilen in den Hintergrund, er leitet für den Schüler den Prozess ein, führt ihn weiter und erhält ihn. Dabei werden möglichst viele Aktivitäten auf Schülerseite verlagert. Dennoch folgt die gesamte Stunde einer festen Strukturierung durch die Lenkung des Lehrers, sodass es auch für leistungsschwächere Schüler jederzeit möglich ist, dem Unterricht und damit dem Erkenntnisprozess zu folgen.

#### Unterrichtsphase I: Motivation

Zu Beginn der Stunde wird durch einen Traum einer Person namens Stefan eine fiktive Titelseite des Wissenschaftsmagazins „Science“ mit zwei Themen präsentiert (**M 1**) (vgl. auch Powerpoint-Präsentation auf CD 50). Der blaue Farbstoff in bunten Schokolinsen wie M&M's hätte Auswirkungen auf Aufmerksamkeit und Konzentration, der gelbe Farbstoff hingegen besitze einschläfernde Eigenschaften. Mithilfe der Inhaltsanalyse von M&M's erschließen sich die Schüler, dass dies bisher nicht aufgefallen sei, da niemand gezielt nur blaue M&M's gegessen hat und sich der Effekt von blauen und gelben M&M's gegenseitig auslöscht. Durch das Rahmenmotiv, die Konzentrationsfähigkeit erhöhen zu können, steigt für den Schüler die Motivation, gezielt den blauen Farbstoff in Reinform zu isolieren. Das zweite Thema der Titelseite (ein neues Trennverfahren) dient lediglich als stummer Impuls und wird zu Stundenbeginn nicht weiter besprochen. Der Einstieg „Science-Magazin“ ist rein fiktional, in Anbetracht der Tatsache, dass bis zum Jahre 2009 in blauen M&M's ein Farbstoff verwendet wurde, der tatsächlich Rückenverletzungen zu lindern imstande war, aber durchaus im Rahmen des Vertretbaren. Die Rezeptur der Schokolinsen wurde neben dem Grund der Kennzeichnungspflicht von Azofarbstoffen (siehe Literatur, Seite 5) auch aufgrund der zu starken Färbewirkung auf Textilien und Zunge auf Brillantblau FCF umgestellt, sodass es nicht möglich ist, die Studie als Einstieg zu verwenden. Für den Schüler wird durch das Hervorheben des Traumelementes aber betont, dass es sich nicht um eine reale Begebenheit handelt und z. B. nicht jeder gelbe Stoff einschläfernd wirkt. Dies sollte bei der Betreuung der Schüler während des Experimentes in den Gesprächen noch mehrmals verdeutlicht werden, um Fehlvorstellungen zu vermeiden.

#### Unterrichtsphase II: Problemgewinnung

*Die Schüler benennen die Farbe der grünen M&M's als ein Gemisch aus mindestens zwei Farbstoffen, indem sie die Inhaltsstoffe analysieren.*

\* Im weiteren Verlauf der UE wird aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit nur „Schüler“ verwendet. Schülerinnen sind genauso gemeint.

I/A

**M 1 Was für ein Traum: Blau fördert die Konzentration!?**

Stefan ist begeistert von Naturwissenschaften und liest regelmäßig Fachzeitschriften. Nun hat er sogar im Traum sein Lieblingsmagazin gesehen! Neue Erkenntnisse im weltweit bekannten Magazin „Science“ lassen anscheinend Rückschlüsse auf die Nutzung von Schokolinsen zur Steigerung der Konzentrationsförderung zu.\*



\* Es handelt sich um eine fiktive Titelseite.

## M 2 Volle Konzentration voraus!

„Mann, schon wieder so viel zum Lernen!“, beschwert sich Adam bei seinem Freund Stefan. „Es muss doch irgendetwas geben, womit wir unsere Konzentration steigern können, dann wäre die nächste Klassenarbeit garantiert kein Problem.“ Daraufhin erinnert sich Stefan an den Traum über seine Lieblingszeitschrift und die bunten Schokolinsen.

### Aufgaben

1. Begründe, weshalb die konzentrationsfördernde Wirkung von blauen M&M's bisher unentdeckt geblieben ist! Analysiere dazu die Titelseite aus Stefans Traum!
2. M&M's gibt es in vielen verschiedenen Farben. Benenne mithilfe der Zutatenliste die verwendeten Farbstoffe in M&M's und vergleiche deren Farben mit den Farben der Schokolinsen. Stellst du dabei Besonderheiten fest? Äußere Vermutungen zu deiner Analyse!



Foto: iStock

**Zutaten/Inhaltsstoffe:** Zucker, Kakaomasse, Magermilchpulver, Milchsüßholz und Milcheiweiß, Kakaobutter, Butterreinfett, pflanzliches Fett, Stärke, Emulgator (Sojalecithin), Glukosesirup, Farbstoffe (E100, E120, E133, E150a, E160e, E171), Dextrin, Überzugsmittel (Carnaubawachs), Aromen, Salz, pflanzliches Öl

Zum Vergleich: Einige häufig verwendete Lebensmittelfarbstoffe

E-Nummer	Name des Farbstoffes	Farbton
E100	Kurkumin	Gelb
E102	Tartrazin	Zitronengelb
E104	Chinolingelb	Gelb bis Gelbgrün
E120	Cochinille	Rot
E122	Azorubin	Rot
E131	Patentblau V	Blau
E133	Brillantblau FCF	Blau
E140	Chlorophylle/Chlorophylline	Grün
E142	Grün S	Grün
E160a-f	verschiedene Carotinoide	Gelb bis Orange
E162	Betenrot/Betanin	Rot
E171	Titandioxid	Weiß
E173	Aluminium	metallisch glänzend
E175	Gold	golden glänzend

„Nur blaue M&M's kann doch jeder essen. Wir brauchen mehr von diesem Farbstoff!“, folgert Stefan. „Ich weiß nur noch nicht, wie.“



3. Formuliere verschiedene Möglichkeiten, um noch mehr blauen Farbstoff aus M&M's gewinnen zu können.



## I/A

### M 3 Modernste Technik nachgebaut

Stefan und Adam wollen den blauen Farbstoff aus grünen M&M's möglichst rein gewinnen. Bei ihren Internetrecherchen entdecken sie ein vollautomatisches Gerät zur Trennung von Stoffgemischen, einen sogenannten Säulenchromatografen. Dieser nutzt als Trennmittel den Feststoff Kieselgel, der Stoffe unterschiedlich stark an seiner Oberfläche „festhält“.

#### Aufgaben

1. Beschrifte den vollautomatischen Säulenchromatografen mit den Namen der entsprechenden Bauteile und deren jeweiliger Funktion.

**Bauteile:** Pumpe, Fraktionensammler, Detektor, Glasgefäß („Säule“), Kieselgel, Gefäß mit Laufmittel, Gummischlauch

**Funktion:** Trennmittel, Farberkennung, Sammeln der getrennten Farbstoffe, Vorrat an Lösemittel zum „Transport“ von Farbstoffteilchen durch eine Säule, Ort der Trennung, Versorgung der Säule mit Laufmittel (2x)

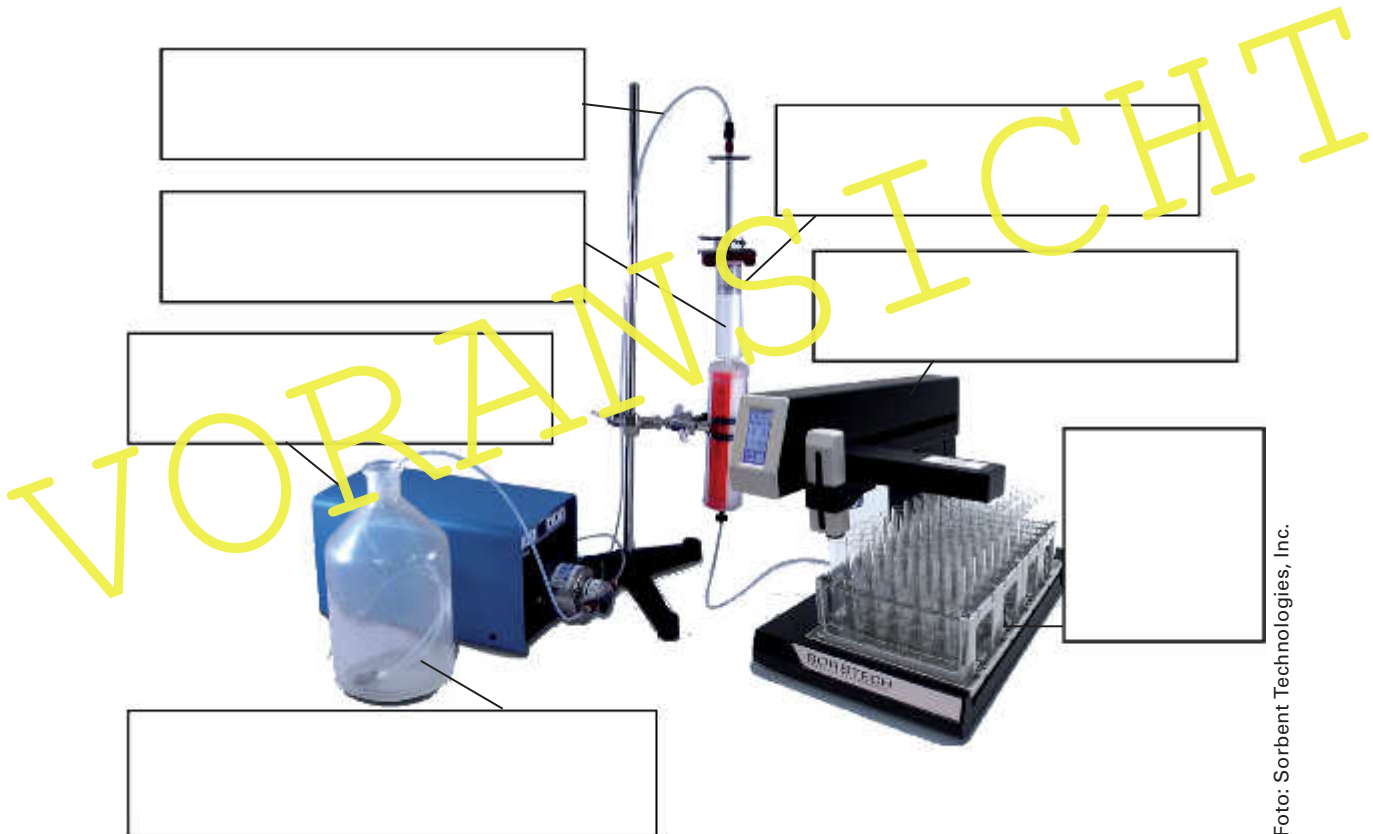


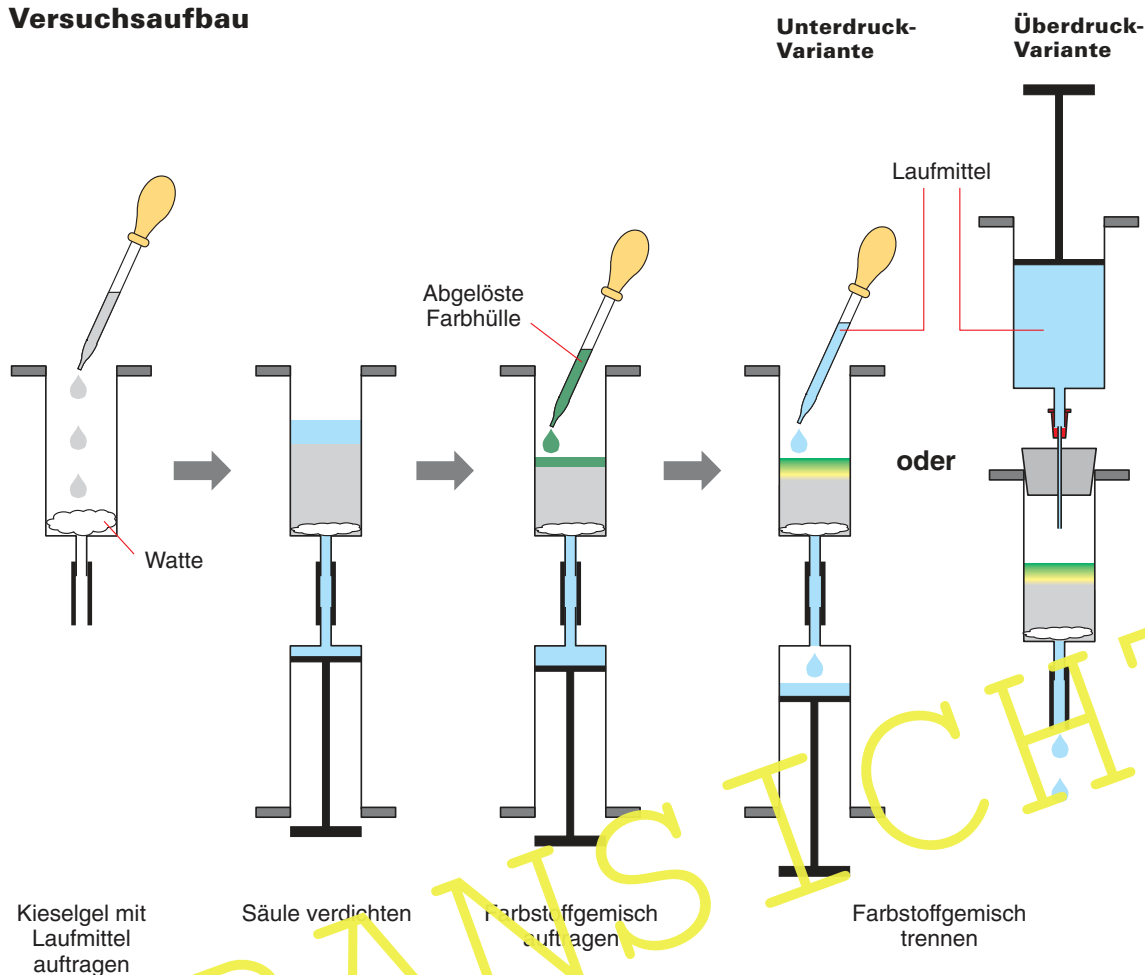
Foto: Sorbent Technologies, Inc.

2. Leider ist das Gerät viel zu teuer. Deshalb soll es kostengünstig nachgebaut werden. Konstruiere mit deinem Nachbarn eine Low-Cost-Apparatur zur Trennung des Farbstoffgemisches, indem du die vorgegebenen Materialien zum Nachbau eines Chromatografen passend einsetzt.



Foto: Martin Wild

I/A

**Versuchsaufbau****Versuchsdurchführung**Packen der Säule

Vom Lehrer vorbereitetes Kieselgel mit Laufmittel im Rollrandglas unter Rühren mit einem Spatel oder einer Pipette zu einem luftblasenfreien Gel verrühren (Kieselgel setzt sich sonst rasch am Boden ab). Den Boden einer 5-ml-Spritze mit Watte verschließen und zwei 3-ml-Pipetten aufgeschlammtes Kieselgel möglichst luftblasenfrei in die Spritze drücken.

Anschließend mit einem Stück Gummischlauch diese gefüllte Spritze mit einer leeren 5-ml-Spritze verbinden. So kann das Kieselgel durch Unterdruck komprimiert werden. Überschüssiges Laufmittel bis zur Oberkante des Kieselgels ebenfalls durch Unterdruck abziehen.

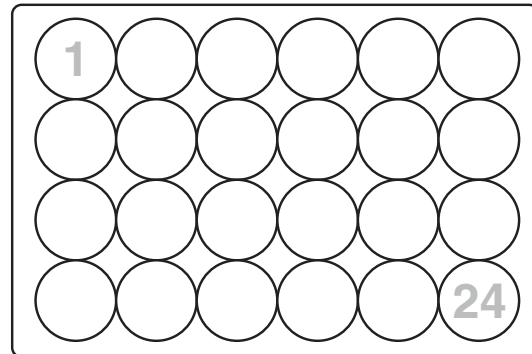
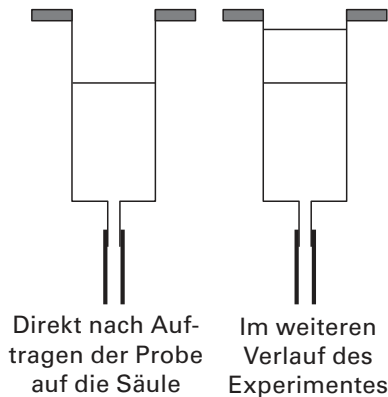
Ablösen des Farbstoffes von Schokolinsen

Eine grüne Schokolinse im Rollrandglas mit 4–6 Tropfen Laufmittel versetzen und durch Drehbewegungen das Farbstoffgemisch bis auf die weiße Zucker-/Titandioxid-schicht ablösen. Das M&M's mithilfe der Pinzette entfernen und verwerfen.

I/A

## M 5 Vom Stoffgemisch zum Reinstoff

Gewinnen des blauen Farbstoffes aus grünen Zucker-Drops durch Säulenchromatografie.

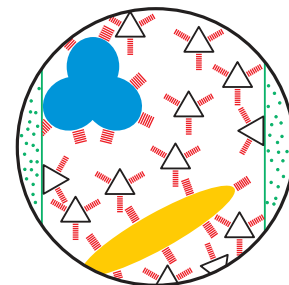


Zellkulturplatte

	Farbschicht eines grünen M&M's	sauberste Fraktion Nr. ____	sauberste Fraktion Nr. ____ nach Eindampfen
<b>Aggregatzustand der Bestandteile</b>		fest in flüssig	
<b>Stofftyp</b>	Gemenge		
<b>Vorstellung auf Teilchenebene</b>			

Verschiedene (Farb-)Stoffe eines (Farb-)Stoffgemisches lassen sich aufgrund ihrer unterschiedlich starken \_\_\_\_\_ (lat. anhaften) an ein Trägermaterial (= \_\_\_\_\_ Phase) und der unterschiedlichen Löslichkeit im Laufmittel (= \_\_\_\_\_ Phase) voneinander trennen. Stoffe mit starker \_\_\_\_\_

- 5 an Kieselgel benötigen \_\_\_\_\_ Zeit, um von der \_\_\_\_\_ Phase durch die Säule transportiert zu werden. Stoffteilchen verschiedener (Farb-)Stoffe lassen sich somit wegen unterschiedlich starker \_\_\_\_\_ (s. Abb: Dicke der Striche) gegenüber den Teilchen des Trennmaterials (in der Abb. ist nur die Oberfläche dargestellt) und des \_\_\_\_\_ trennen. Die Größe der Teilchen spielt bei der Tren-
- 10 nung meist ebenfalls eine Rolle. Durch \_\_\_\_\_ des Laufmittels bei der aufgefangenen farbstoffhaltigen Fraktion kann der (Farb-)Stoff als \_\_\_\_\_ gewonnen werden. Dabei nutzt man die unterschiedliche \_\_\_\_\_ von Wasser und Farbstoff aus. Zur besseren \_\_\_\_\_ der Substanzen
- 15 kann mehrmals nacheinander chromatografiert werden, um die \_\_\_\_\_ der Stoffe zu erhöhen. Reinstoffe besitzen im Gegensatz zu \_\_\_\_\_ charakteristische Eigenschaften, während die Eigenschaften eines Stoffgemisches stark vom \_\_\_\_\_
- 20 abhängen.

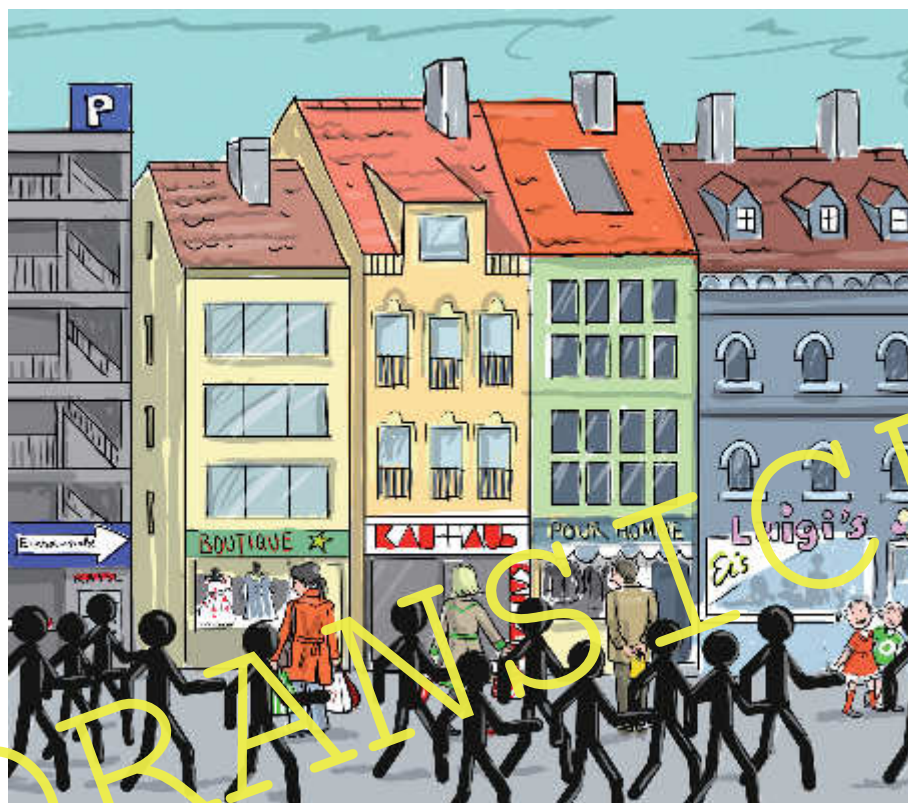


- Farbstoffteilchen des blauen Farbstoffs
- Farbstoffteilchen des gelben Farbstoffs
- Wasserteilchen
- verschieden starke Anziehungskräfte

## M 6 Farbstoffteilchen in der Fußgängerzone

Die Vorgänge auf Teilchenebene in einer Säule sind relativ komplex. Ihr könnt sie in etwa mit einer geschäftigen Fußgängerzone vergleichen.

Stellt euch vor, eine 5-köpfige Familie möchte am Samstagnachmittag zur besten Einkaufszeit in die Fußgängerzone. Im Parkhaus vereinbaren alle, dass man sich später in Luigi's Eisdiele trifft.



Zeichnung: nach einer Idee von Martin Wild

In der Fußgängerzone herrscht reger Personenverkehr, alles in eine Richtung. Die beiden kleinen Kinder interessieren sich nicht für Boutiquen und laufen mit der Menschenmenge sofort in Richtung Eisdiele.

Die ältere Tochter hingegen wird von den Modeläden regelrecht angezogen und verschwindet ab und an in den Tiefen der Läden.

Etwas schneller kommt der Vater voran, er verbringt nicht gar so viel Zeit in den Geschäften, diese haben einfach eine geringere Anziehung auf ihn. Wer fehlt? Die Mutter! Ausgerüstet mit der Haushaltskasse kommt sie nicht sehr weit, die Boutiquen haben einfach eine zu hohe Anziehungskraft auf sie. Sie wird als Letzte in der Eisdiele ankommen.

### Aufgaben

Übertrag die Geschehnisse in der Fußgängerzone auf euren Versuch, indem ihr die Tabelle in eurem Heft entsprechend erweitert!

Metapher aus der Fußgängerzone	entspricht im Experiment
Parkhaus	„Startlinie“ beim Auftropfen des Gemisches




**Für Profis:** Wie schnell würde im Vergleich dazu ein Elefant, stellvertretend für ein sehr großes Teilchen, an das Ende der Fußgängerzone gelangen?



## Erläuterungen und Lösungen

I/A

### Erläuterungen (M 2)

Folie 4 („Gedankengänge“) aus der Powerpoint-Präsentation (siehe  **CD 50**) fasst die Ergebnisse der Aufgaben bildlich zusammen und kann zur Auswertung herangezogen werden.

### Lösungen (M 2)

**Zu 1.:** Der gelbe Farbstoff soll die Konzentration senken, der blaue Farbstoff dagegen die Konzentration steigern. Die Wirkung von gelben und blauen M&M's würde sich somit gegenseitig aufheben. Da bisher niemand isoliert nur eine Farbe gegessen hat, konnte es nicht auffallen, denn geschmacklich sind alle Zuckerlinsen gleich.

**Zu 2.:** Folgende Farbstoffe sind in M&M's enthalten:

Auffällig ist, dass es zwar braune und grüne M&M's gibt, diese Farbtöne aber nicht als Farbstoffe enthalten sind. Diese müssen also ein Farbstoffgemisch aus mindestens zwei verschiedenen Farbstoffen sein.

E-Nummer	Name des Farbstoffes	Farbton
E100	Kurkumin	Gelb
E120	Cochenille	Rot
E133	Brillantblau FCF	Blau
E160a, 160e	verschiedene Carotinoide	Gelb bis Orange
E171	Titandioxid	Weiss

**Zu 3.:** Der Farbstoff von grünen M&M's enthält vermutlich ca. 50 % blauen und 50 % gelben Farbstoff. Durch Auftrennen des Gemisches kann zusätzlicher Farbstoff gewonnen werden. Zur Trennung kann möglicherweise die Papierchromatografie als auch das neue Trennverfahren von der Titelseite M 1 (Säulenchromatografie) verwendet werden.

### Lösungen (M 3)

**Zu 1.:**

