

# Verbrecherjagd im naturwissenschaftlichen Unterricht

## Ein Funktionsmodell zur Papierchromatographie mit beispielhafter Einbettung in den Unterricht

Leonie Frey, Aline Schönbeck

RPTU Kaiserslautern Landau, Erwin-Schrödinger-Straße 52, 67663 Kaiserslautern, frey@rhrk.uni-kl.de

Die Chromatographie als chemische Analyseverfahren ist nicht nur für die Naturwissenschaften von hoher Relevanz, das Trennverfahren findet auch in den Bildungsplänen des naturwissenschaftlichen Schulunterrichts Erwähnung. Beim Verständnis der dem Trennverfahren zugrundeliegenden komplexen Vorgänge treten jedoch häufig Schwierigkeiten auf, die entsprechende Unterstützung erforderlich machen. Ein Funktionsmodell des chromatographischen Trennprinzips leistet zu diesem Zweck die Veranschaulichung relevanter Vorgänge und kann so die nachhaltige Konsolidierung von komplexem Fachwissen fördern. Im Rahmen dieses Beitrags werden Überlegungen zur Fertigung eines solchen Funktionsmodells dargelegt sowie eine beispielhafte Einbettung des Modells in den naturwissenschaftlichen Unterricht der 6. Jahrgangsstufe vorgestellt.

**Stichwörter:** Papierchromatographie, Funktionsmodell, Trennverfahren, Verbrecherjagd, Unterrichtsentwurf.

## 1 Modelle im naturwissenschaftlichen Unterricht

Der Einsatz von Modellen ist nicht nur im schulischen Kontext, sondern auch für die Wissenschaft von hoher Bedeutung; insbesondere ideelle Denkmodelle sind ein wesentlicher Bestandteil von wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen sowie Erklärungsansätzen (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Aber auch im schulischen Rahmen wird der Einsatz von Modellen gefordert: Die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden als SuS abgekürzt) sollen nach den Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss „Modelle sachgerecht nutzen“, „Sachverhalte mit Modellen erklären“ sowie „Modelle kritisch prüfen“ können (Kultusministerkonferenz [KMK], 2005, S. 17). Eine Definition des Modellbegriffs im Kontext des schulischen Einsatzes wurde von Meyer (1990, S. 4) vorgenommen. Nach Meyer versteht man unter Modellen „vereinfachte ideelle oder materielle Abbildungen der Wirklichkeit als Ganzes, eines Ausschnitts oder bestimmter Zusammenhänge der

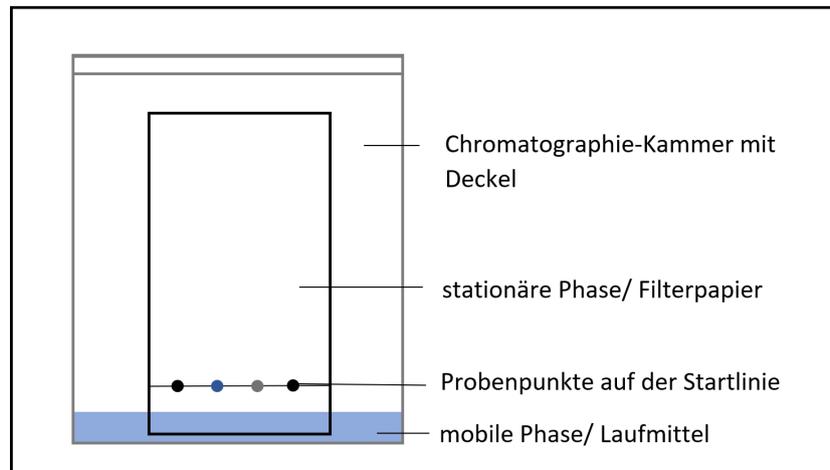
Wirklichkeit, die der Veranschaulichung wesentlicher Struktur- und Funktionsmerkmale originaler Objekte oder Vorgänge dienen“. Da jedoch nicht alle Eigenschaften eines Modells immer mit denen des Originals übereinstimmen, handelt es sich bei einem Modell nicht um eine exakte Kopie der Wirklichkeit, sondern vielmehr um eine theoretische Repräsentation dieser im Hinblick auf durch die Modellbildner vorab festgelegte Schwerpunkte (Stachowiak, 1980). Wie bereits in der Definition nach Meyer angeklungen, lassen sich materielle Modelle auf Basis der jeweils repräsentierten Eigenschaften des Originals in zwei Kategorien unterteilen: Merkmalsaffine Strukturmodelle ähneln dem Original unter möglichst vielen optischen und haptischen Gesichtspunkten mit dem Ziel, eine weitestgehend originalgetreue Abbildung der Morphologie oder Anatomie des zugrundeliegenden Originals zu erzeugen. Funktionsmodelle hingegen werden eingesetzt, um das Prinzip von Vorgängen und Prozessen zu verdeutlichen und weisen unter anderem durch den Einsatz von realitätsfremdem Material häufig nur entfernte Ähnlichkeiten zu dem zugrundeliegenden Realobjekt auf (Killermann et al., 2017). In naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern kommen Modelle häufig dann zum Einsatz, wenn das Realobjekt wie im Falle diverser lebender Organismen nicht verfügbar oder die Zugänglichkeit des Realobjekts eingeschränkt ist, wie es zum Beispiel bei der DNA aufgrund der unhandlichen Dimensionen der Fall ist (Terzer & Upmeyer zu Belzen, 2008; Meisert, 2008). Eingesetzt im Unterricht kann ein Modell verschiedene didaktische Funktionen erfüllen: Es kann zur Veranschaulichung von Strukturen oder Prozessen dienen (Anschauungsfunktion), Lernschwierigkeiten im Rahmen der denkökonomischen Funktion verringern, indem der Zugang zu komplexen Sachverhalten erleichtert wird oder die Problemfindung bzw. -eingrenzung durch seine heuristische Funktion erleichtern (Eschenhagen et al., 2006). Durch die Aktivierung alternativer Lernkanäle, zum Beispiel über haptische Zugänge, kann der Einsatz von materiellen Modellen darüber hinaus das längerfristige Behalten von Lerninhalten fördern (Leibold & Klautke, 1999). In welcher seiner vielfältigen Funktionen ein Modell im naturwissenschaftlichen Unterricht letztlich eingesetzt wird, hängt unter anderem von der Wahl des Kompetenzschwerpunktes und somit vom didaktischen Ziel der Lerneinheit ab: Ein Modell kann sowohl mit dem didaktischen Ziel der Erkenntnisgewinnung als auch der Erkenntnisvermittlung eingesetzt werden (Eschenhagen et al., 2006). Im Rahmen des Kompetenzschwerpunktes Erkenntnisgewinnung ist vor allem die Bedeutung von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess von Belang. Die Vermittlungsabsicht des Modelleinsatzes beläuft sich auf die Schulung der Modellkompetenz der Lernenden: Ein Modell wird als Werkzeug zur Generierung von Erkenntnissen verstanden und seine Tauglichkeit als Modell von einem bestimmten Original oder einer bestimmten Anwendung reflektiert (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Kommt ein Modell im Rahmen einer Lerneinheit mit dem Kompetenzschwerpunkt Fachwissen zum Einsatz, erfüllt dieses in erster Linie seine Anschauungs- sowie denkökonomische Funktion und kann in diesem Zusammenhang als Medium verstanden werden, welches zur Informationsübertragung eingesetzt wird (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Diese Art und Weise des Modelleinsatzes ist insbesondere zur erleichterten Vermittlung von Fachwissen im Rahmen komplexer, abstrakter Themen geeignet.

## 2 Das Trennprinzip der Papierchromatographie im Funktionsmodell

Die Chromatographie als chemisches Analyseverfahren ist von hoher Bedeutung für die Wissenschaft; insbesondere in der Biochemie oder der chemischen Synthese wird das Verfahren in verschiedenen Ausführungen routinemäßig verwendet, um die Reinheit von Substanzen zu prüfen oder den Fortschritt einer chemischen Reaktion zu überwachen. Die Grundlagen des chromatographischen Trennprinzips können auch im schulischen Kontext bereits in der Orientierungsstufe über den Schülerversuch der Papierchromatographie vermittelt werden. Der Begriff der Chromatographie ist im rheinland-pfälzischen Lehrplan für die Orientierungsstufe zwar nicht explizit erwähnt, das Trennverfahren eignet sich jedoch gut, um durch das Erklären des Trennprinzips auf Teilchenebene das Basiskonzept *Stoff-Teilchen-Materie* weiterzuentwickeln (Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur, 2010). Da das Trennprinzip einer Chromatographie insbesondere für jüngere SuS durch den hohen Abstraktionsgrad jedoch recht komplex ist, ist mit mehr oder weniger starken Verständnisschwierigkeiten zu rechnen. Um die Vermittlung der abstrakten Zusammenhänge zu erleichtern, eignet sich auch an dieser Stelle der Einsatz eines Modells. Überlegungen zur Fertigung eines solchen Modells sowie ein konkretes unterrichtspraktisches Einsatzbeispiel werden im Folgenden gegeben, nachdem die benötigten fachlichen Grundlagen dargelegt wurden.

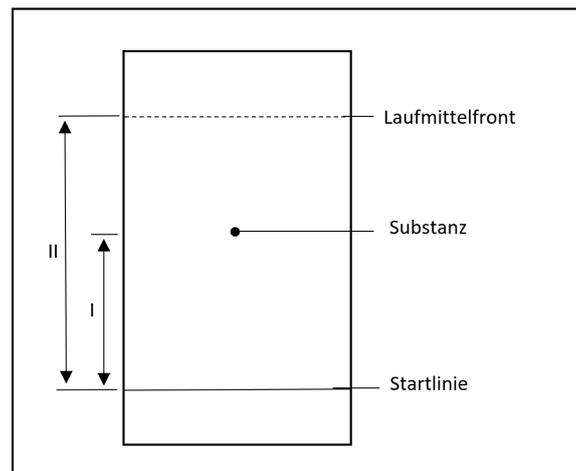
### 2.1 Sachinformation: Papierchromatographie

Der Begriff der Chromatographie (griechisch „Farbschreibung“) beschreibt eine Vielzahl von chemisch-physikalischen Trennverfahren, mit denen homogene Stoffgemische in ihre Bestandteile aufgetrennt werden können. Das Trennprinzip beruht dabei im Falle der Papierchromatographie auf der für die einzelnen Komponenten eines Stoffgemisches charakteristischen Verteilung zwischen zwei nicht mischbaren Phasen: Einer mobilen Phase und einer stationären Phase (Salzer et al., 2016). Bei der planaren Papierchromatographie handelt es sich um eine sogenannte Verteilungschromatographie (Salzer et al., 2016). Zur Entwicklung eines Chromatogramms wird spezielles Chromatographie-Papier aus Baumwollcellulose eingesetzt, welches mit einem Wasserfilm benetzt ist (Spektrum Akademischer Verlag, 1998a). Der entstehende Cellulose-Wasser-Komplex stellt die stationäre Phase dar, beim verwendeten Laufmittel handelt es sich um die mobile Phase (Oschatz & Taubert, 2018). Die zu analysierende Probe wird in Form kleiner Probenpunkte auf die im Vorfeld markierte Startlinie auf der stationären Phase aufgetragen. Wird nun in einem geeigneten Gefäß, wie zum Beispiel einer Chromatographie-Kammer, ein Laufmittel hinzugegeben, durchfließt dieses angetrieben durch Kapillarkräfte allmählich die stationäre Phase (Spektrum Akademischer Verlag, 1998a; Wiehoczek, 2004a). Es ist zu beachten, dass sich die Startlinie auf der stationären Phase zu Beginn der Chromatographie oberhalb des Füllstandes des Laufmittels befinden muss (vgl. Abb. 1).



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Entwicklung eines Chromatogramms. Die Entwicklung kann mittels eines rechteckigen Filterpapiers in einer Chromatographie-Kammer oder in einem anderen geeigneten Gefäß erfolgen. Üblich ist besonders im schulischen Kontext jedoch auch die Verwendung eines Rundfilters in einer Petrischale. Abbildungsquelle: Eigene Darstellung.

Die Bestandteile des Analyten lösen sich im Laufmittel und werden in Fließrichtung durch die stationäre Phase mittransportiert. Für jeden Bestandteil des Analyten stellt sich dabei wiederholt ein Verteilungsgleichgewicht zwischen der stationären und der mobilen Phase ein, welches auf der unterschiedlichen Löslichkeit des Probenbestandteils in den beiden Phasen beruht (Wiechoczek, 2004a; ETH Zürich, 2019). Probenbestandteile, die an der stationären Phase haften, werden dabei wiederholt von nachfließendem Laufmittel gelöst und weitergetragen (Wiechoczek, 2004a). Je nach Lage des Verteilungsgleichgewichtes erfahren die Bestandteile des Analyten somit eine unterschiedlich starke Retention. Unter der Retentionszeit versteht man die Verlangsamung der Probenbestandteile im Vergleich zur Fließgeschwindigkeit des Laufmittels, verursacht durch eine erhöhte Aufenthaltszeit in der stationären Phase (Engelhardt, 1977). Diese für die einzelnen Probenbestandteile charakteristische Retention bewirkt die Auftrennung der Substanzprobe: Probenbestandteile, welche gut im Laufmittel löslich sind, erfahren eine schwächere Retention und laufen näher an der Laufmittelfront durch das Filterpapier als solche Bestandteile, die länger an der stationären Phase verweilen. Das spezifische Laufverhalten der Bestandteile des Analyten kann durch sogenannte  $R_f$ -Werte charakterisiert werden. Der  $R_f$ -Wert errechnet sich durch das Verhältnis der Laufstrecke des zu analysierenden Probenbestandteils I zu der des Laufmittels II (Spektrum Akademischer Verlag, 1998b) (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Chromatogramm mit Laufstrecken des Probenbestandteils (I) sowie des Laufmittels (II). Um den Abstand des Probenbestandteils zur Startlinie zu ermitteln, wird der Mittelpunkt der entsprechenden Bande verwendet. Der  $R_f$ -Wert ergibt sich aus dem Verhältnis von I zu II (Spektrum Akademischer Verlag, 1998b). Abbildungsquelle: Eigene Darstellung.

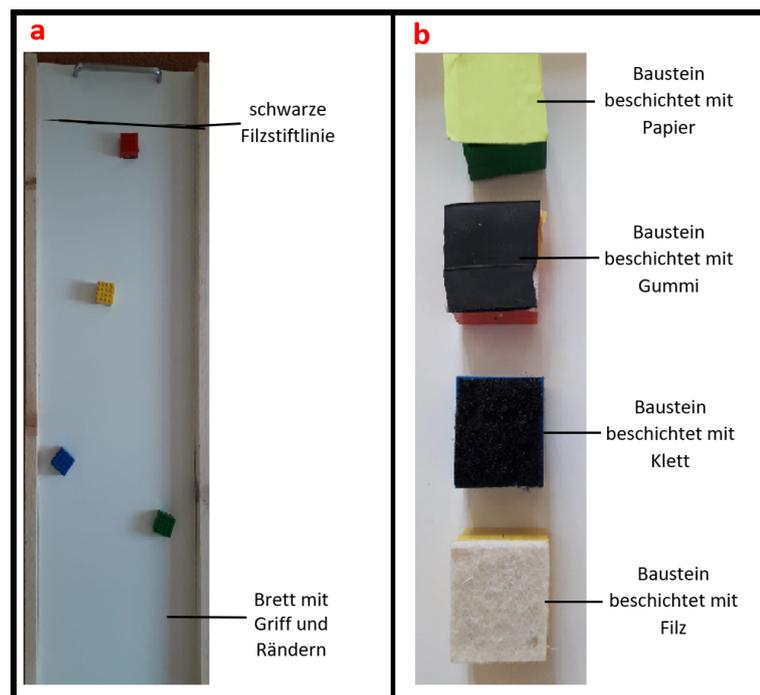
Der  $R_f$ -Wert ist bei gleichbleibender mobiler und stationärer Phase substanzspezifisch. Reproduzierbar ist der Wert allerdings nur, wenn bei den zu vergleichenden Versuchsansätzen die stationäre und mobile Phase sowie die Temperatur, die Konzentration und die Sättigung der verwendeten Chromatographie-Kammer mit dem Laufmittel immer genau gleich sind. Durch die Angabe dieses  $R_f$ -Wertes bei spezifischem Laufmittel kann eine Substanz in einem Stoffgemisch identifiziert und beschrieben werden (Wiechoczek, 2004b; TU Dresden, 2019). Ein Anwendungsbeispiel der Papierchromatographie im schulischen Kontext ist die Auftrennung der Farbbestandteile von schwarzen Filzstiften. Als mobile Phase wird üblicherweise Wasser oder Ethanol verwendet. Die Auftrennung erfolgt analog zu den bereits beschriebenen Verteilungsprozessen. Aus dem Chromatogramm wird ersichtlich, dass die Filzstiftfarbe aus mehreren, verschiedenfarbigen Bestandteilen zusammengesetzt ist. Es handelt sich somit um ein homogenes Stoffgemisch. Der jeweilige Anteil eines Pigments ist dabei spezifisch für den Hersteller des Filzstiftes: So können die Chromatogramme verschiedener schwarzer Filzstifte ihrem Hersteller zugeordnet werden.

Die schwarze Filzstiftfarbe ergibt sich nur durch die Mischung von verschiedenen, farbigen Pigmenten. Dies ist mit dem Phänomen der subtraktiven Farbmischung zu erklären, nach dem jedes Farbpigment das Licht einer bestimmten Wellenlänge absorbiert und den Rest reflektiert (Spektrum Akademischer Verlag, 1998c). Der reflektierte Anteil des Lichtes ist dabei für den Farbeindruck verantwortlich. Werden mehrere Pigmente überlappender Spektralbereiche vermischt, kann der Eindruck von schwarzer Farbe entstehen, da so unter Umständen der gesamte Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts absorbiert wird. Die subtraktive Farbmischung, die auf die materielle Vermischung von Farbpigmenten bezogen ist, ist dabei von der additiven

Farbmischung von elektromagnetischer Strahlung (sog. Lichtmischung) abzugrenzen (Spektrum Akademischer Verlag, 1998c; Spektrum Akademischer Verlag, 2001).

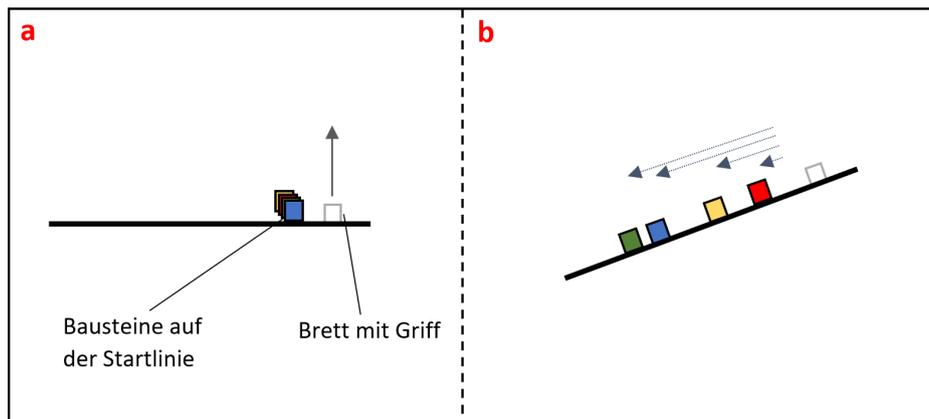
## 2.2 Überlegungen zur Fertigung eines Funktionsmodells

Nach Eschenhagen et al. (2006) gibt es drei Kriterien, die ein Modell erfüllen muss, um als Modell von einem Original funktional zu sein. Nach dem *Kriterium der Ähnlichkeit und Entsprechung* muss das Modell dem Original in den wesentlichen Eigenschaften entsprechen. Da es sich bei einem Modell zum Trennprinzip der Papierchromatographie um ein Funktionsmodell handelt, bezieht sich diese Ähnlichkeit weniger auf optische/ haptische Aspekte als vielmehr auf die dargestellten Vorgänge. Das Modell sollte dementsprechend die beim Original zu beobachtende Auftrennung der Filzstiftfarbe in die verschiedenen Farbbestandteile über die unterschiedlich starke Retention dieser darstellen. Nach dem *Kriterium der Einfachheit und Adäquatheit* sollten diese Eigenschaften durch das Modell adäquat und auf das Wesentliche reduziert abgebildet werden. In diesem Zusammenhang wurde auf die Darstellung komplexer Verteilungsgleichgewichte der Farbbestandteile zwischen der mobilen und stationären Phase basierend auf der jeweiligen Löslichkeit verzichtet. Um die Grundlagen des chromatographischen Trennprinzips zu vermitteln, wurde das Prinzip der Auftrennung auf die unterschiedlich starke Haftung der Probenbestandteile an der stationären Phase reduziert. Schlussendlich sollte das Modell nach dem *Kriterium der Exaktheit und Effektivität* exakt genug sein, um Vorhersagen über das Original zu erlauben. Dies ist gegeben, da das Modell wie auch das Original eine zuverlässige Auftrennung der Farbbestandteile in einem charakteristischen Muster gewährleistet. Abbildung 3 zeigt das fertige Funktionsmodell vom Trennprinzip der Papierchromatographie.



**Abbildung 3:** Funktionsmodell zum Trennprinzip der Papierchromatographie. Abbildung a zeigt das gesamte Modell, bestehend aus einem Brett mit Griff und Rändern sowie einer schwarzen Filzstiftlinie und vier verschiedenfarbigen Bausteinen, welche lose auf dem Brett aufliegen. Aus Abbildung b wird ersichtlich, dass die Bausteine an ihrer Unterseite mit verschiedenen Materialien beschichtet wurden. Abbildungsquelle: Eigene Darstellung.

Die stationäre Phase wird im Modell durch ein Brett mit Griff und Rändern dargestellt (vgl. Abb. 3 a). Form und Farbe des Bretts wurden dabei dem rechteckigen Zuschnitt einer Chromatographie-Platte bzw. eines Chromatographie-Papiers nachempfunden. Die Startlinie, die auf eine solche Chromatographie-Platte aufgetragen wird, wird durch eine schwarze Filzstiftlinie im oberen Bereich des Bretts repräsentiert. Die verschiedenfarbigen Bausteine stehen symbolisch für die verschiedenen Farbbestandteile der schwarzen Filzstiftfarbe; die unterschiedlich starke Wechselwirkung dieser mit der stationären Phase wird durch unterschiedliche Beschichtungen der Bausteine erzielt (vgl. Abb. 3 b). Um das Funktionsmodell zu verwenden, werden die Bausteine zunächst in einer Reihe auf der schwarzen Filzstiftlinie auf dem Brett angeordnet; die Beschichtung stellt dabei die Unterseite dar und liegt auf dem Brett auf (vgl. Abb. 4a). Anschließend wird das Brett an der kurzen Seite mit dem Griff einseitig so weit angehoben, bis die Bausteine durch die Schräglage des Bretts zu rutschen beginnen; dieses Anheben des Bretts symbolisiert das Voranschreiten der mobilen Phase (vgl. Abb. 4b).



**Abbildung 4:** Verwendung des Modells. Zunächst werden die Bausteine mit der Beschichtung nach unten auf der Startlinie des Bretts angeordnet. Anschließend wird das Brett einseitig am Griff so weit angehoben, bis die Bausteine zu rutschen beginnen. Je nach Beschichtung der Bausteine rutschen diese dabei unterschiedlich weit. Abbildungsquelle: Eigene Darstellung.

Durch die unterschiedlichen Beschichtungen der Bausteine haften diese jedoch unterschiedlich gut am Brett und rutschen dementsprechend unterschiedlich weit: Der mit Papier beschichtete Baustein rutscht am weitesten, gefolgt von jenem mit der Beschichtung aus Klett (Flauschband). Der mit Filz beschichtete Baustein rutscht nur wenige Zentimeter weit, während der vierte Baustein aufgrund seiner Gummibeschichtung fast auf der Startlinie verbleibt. Durch die unterschiedlichen Beschichtungen werden die Bausteine also bei Verwendung des Modells aus ihrer Startformation aufgetrennt. Ein typisches Ergebnis eines Modelldurchlaufs kann Abbildung 3 a entnommen werden. Bei der Wahl des für das Modell verwendeten Bretts sollte auf eine möglichst glatte Oberfläche geachtet werden, um das Herunterrutschen der Bausteine nicht zu behindern. Die Ränder am Brett verhindern, dass die Bausteine an den Seiten vom Brett herunterfallen, sind jedoch für die Funktionstüchtigkeit des Modells nicht zwangsläufig notwendig, ebenso wie der Griff, welcher lediglich das Anheben des Bretts erleichtert. Für die Beschichtung der Bausteine können verschiedenste Materialien gewählt werden, es ist lediglich darauf zu achten, dass sich die Haftung dieser am Brett hinreichend stark unterscheidet, damit die Bausteine auf dem Brett auch unterschiedlich weit rutschen.

Der Einsatz des vorgestellten Funktionsmodells zur Erklärung des chromatographischen Trennprinzips liefert also den Erklärungsansatz, dass die einzelnen Bestandteile der schwarzen Filzstiftfarbe durch unterschiedlich starke Haftung am Chromatographie-Papier aufgetrennt werden: Ein Farbbestandteil, welcher stark am Chromatographie-Papier haftet, wird im Verlauf der Chromatographie verlangsamt und verbleibt in der Nähe der Startlinie, während ein nur schwach haftender Farbbestandteil weniger stark verlangsamt wird und somit in der Nähe der Wasserfront verortet werden kann. Das Modell weist jedoch auch Grenzen auf: So können zwar die unterschiedlichen Farben dargestellt werden, aus denen die schwarze Filzstiftfarbe zusammengesetzt ist, jedoch nicht die resultierende schwarze Farbe selbst. Darüber hinaus fehlt

die Komponente Wasser in seiner materiellen Form vollständig; das Fortschreiten der Wasserfront wird durch das Kippen des Modells symbolisiert. Die Auftrennung im Funktionsmodell ist dementsprechend durch die Schwerkraft bedingt und verläuft von oben nach unten, während die Wasserfront bei der Papierchromatographie gegen die Schwerkraft durch das Filterpapier fließt und so zu einer Auftrennung der schwarzen Farbe führt.

Im Hinblick auf das große Potenzial des vorgestellten Funktionsmodells bezüglich dessen Anschauungs- sowie denkökonomischer Funktion bietet sich der Einsatz zur Erklärung des komplexen Trennprinzips im Rahmen einer Unterrichtsstunde mit dem Kompetenzschwerpunkt Fachwissen an. Die vereinfachte Darstellung des abstrakten Trennprinzips sowie die Möglichkeit, mit dem Modell in individuellem Tempo zu interagieren fördert ein erleichtertes Begreifen sowie die nachhaltige Konsolidierung des Fachwissens. Ein unterrichtspraktisches Beispiel für den Einsatz des Modells zur Erkenntnisvermittlung wird im Folgenden gegeben. Ist der Sachverhalt der Papierchromatographie bereits bekannt, kann ein Funktionsmodell dieser Art außerdem auch in einer Unterrichtsstunde mit dem Kompetenzschwerpunkt Erkenntnisgewinnung zur Schulung der Modellkompetenz der SuS eingesetzt werden, indem diese zum Beispiel ein ähnliches Funktionsmodell selbst erstellen.

### 3 Unterrichtspraktisches Beispiel: Verbrecherjagd im naturwissenschaftlichen Unterricht der 6. Jahrgangsstufe

#### 3.1 Lernziele und Kompetenzbereiche

##### 3.1.1 Groblernziel

Die Schülerinnen und Schüler können das Trennprinzip der Papierchromatographie auf der Teilchenebene erklären.

##### 3.1.2 Feinlernziele

Die Schülerinnen und Schüler...

1. ... können das Verfahren der Papierchromatographie als ein Verfahren zur Stofftrennung benennen. (kognitiv, Wissen)

2. ...können die Zusammensetzung der Farbe eines schwarzen Filzstiftes als ein Stoffgemisch mehrerer Farben beschreiben. (kognitiv, Wissen)
3. ...können die Komponenten eines Funktionsmodells zum Trennverfahren der Papierchromatographie mit den entsprechenden Aspekten des Originals analogisieren. (kognitiv, Verständnis)
4. ...können das Trennprinzip der Papierchromatographie über das unterschiedlich starke Haften der verschiedenen Farbbestandteile an dem Filterpapier unter Zuhilfenahme eines Funktionsmodells erklären. (kognitiv, Verständnis)

### 3.1.3 Kompetenzbereiche

Der Kompetenzschwerpunkt der geplanten Unterrichtsstunde zur Chromatographie von schwarzen Filzstiften liegt auf dem Kompetenzbereich *Fachwissen* mit dem Ziel der Vertiefung des Basiskonzeptes *Stoff-Teilchen-Materie* (KMK, 2005). Das zur Erarbeitung des Trennprinzips eingesetzte Funktionsmodell dient ebenfalls der Vermittlung von neuem Fachwissen.

## 3.2 Didaktische Überlegungen

### 3.2.1 Fachliche Voraussetzungen und mögliche Einbettung in die Unterrichtsreihe

Um das Trennprinzip der Papierchromatographie verstehen zu können, sollten die SuS bereits mit dem Stoff- sowie dem Teilchenbegriff vertraut sein und darüber hinaus wissen, dass unterschiedliche Stoffe unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Dass die Teilchen eines Reinstoffs alle gleich sind, wird ebenfalls als bekannt vorausgesetzt. Die Unterrichtsstunde zur Papierchromatographie kann in eine Unterrichtsreihe zur Stofftrennung eingebettet werden. Die SuS lernen innerhalb der Unterrichtsreihe zunächst den Begriff des Stoffgemisches kennen und damit auch, dass in einem Stoffgemisch unterschiedliche Teilchen vorliegen. Um ein Stoffgemisch nach den enthaltenen Reinstoffen auftrennen zu können, werden verschiedene Trennverfahren eingeführt, angewendet und auf der Teilchenebene erklärt (Zum Beispiel: Sedimentieren und Dekantieren, Sieben und Filtrieren, Magnetscheiden, Verdunsten und Eindampfen...). Nachfolgend ist dann die geplante Unterrichtsstunde zur Papierchromatographie anzusiedeln, wobei das Trennprinzip abermals auf Teilchenebene erklärt werden soll. Um die erlernten Trennverfahren anzuwenden und zu festigen, wäre anschließend die Behandlung der Reinigungs- und Trennprozesse in einer Kläranlage denkbar. Von den Trennverfahren in einer Kläranlage bietet sich abschließend der Übergang zu Hintergründen und Bedeutung der Mülltrennung im Alltag an.

Vorkenntnisse zum Trennprinzip der Papierchromatographie aus dem Alltag sind im Allgemeinen nicht zu erwarten. Denkbar ist jedoch, dass die Durchführung der Papierchromatographie und somit auch die Zusammensetzung der schwarzen Filzstiftfarbe aus verschiedenen Farben bereits aus einem anderen Kontext bekannt ist. Dass dabei auch das Trennprinzip thematisiert wurde, ist jedoch als eher unwahrscheinlich einzuschätzen. Die Zusammensetzung der schwarzen Filzstiftfarbe könnte darüber hinaus bereits durch das Waschwasser beim Malen mit Wasserfarben bekannt sein, welches sich durch das Vermischen verschiedener Farben immer dunkler und schließlich schwarz färbt. Von einer gedanklichen Durchdringung dieses Phänomens durch die SuS ist jedoch nicht auszugehen.

### 3.2.2 Vorgenommene Didaktische Reduktionen

Die Unterrichtsstunde ist für eine 6. Jahrgangsstufe vorgesehen, weshalb es genügt, lediglich die Grundlagen des Trennprinzips der Papierchromatographie zu beleuchten. Es werden *vertikale didaktische Reduktionen* vorgenommen, um den komplexen Stoff inhaltlich zu reduzieren und den Schwierigkeitsgrad zu verringern:

Auf die Verwendung der Fachbegriffe mobile und stationäre Phase, Analyt und Laufmittel wird vollständig verzichtet. An dieser Stelle genügt die Beschreibung, dass das Filterpapier das Wasser aufsaugt, wobei die Filzstiftfarbe gelöst und mit dem Wasser mittransportiert wird. Die zugrundeliegenden Kapillarkräfte werden ebenfalls vernachlässigt, da diese nicht notwendig sind, um das Trennprinzip der Chromatographie zu verstehen. Da Gleichgewichtsprozesse in der 6. Jahrgangsstufe noch nicht behandelt wurden, ist die Erklärung des Trennprinzips über das sich ständig neu einstellende Verteilungsgleichgewicht eines Probenbestandteils zwischen mobiler und stationärer Phase zu komplex. Die mehr oder weniger starke Retention eines Probenbestandteils durch eine entsprechend hohe oder niedrige Verweilzeit an der stationären Phase wird über das mehr oder weniger starke Haften des Probenbestandteils am Filterpapier erklärt. Ein Probenbestandteil, welcher stark am Filterpapier haftet, wird gegenüber der Fließgeschwindigkeit des Wassers verlangsamt und ist auf dem Chromatogramm in der Nähe der Startlinie zu verorten. Ein schwach am Filterpapier haftender Probenbestandteil wird hingegen kaum verlangsamt und befindet sich auf dem Chromatogramm in der Nähe der Wasserfront. Auf den Begriff der Retention und auf die Beschreibung dieser durch  $R_f$ -Werte wird ebenfalls verzichtet. Durch die Papierchromatographie soll die Farbe von schwarzen Filzstiften als ein Stoffgemisch aus mehreren Farben identifiziert werden. Da der Fokus der Stunde auf der Chromatographie als Trennverfahren liegt, wird das zugrundeliegende Konzept der subtraktiven Farbmischung vernachlässigt.

### 3.2.3 Didaktische Konzeption

Die Unterrichtsstunde wurde grundsätzlich problemorientiert angelegt. Es soll auf spielerische Art und Weise ein Stundenproblem aufgeworfen werden, welches durch den geplanten Versuch gelöst

werden kann. Dadurch soll das Anwenden des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges geübt werden. Der inhaltliche Schwerpunkt der geplanten Unterrichtsstunde liegt auf dem Kennenlernen des Trennprinzips der Papierchromatographie, indem das Trennverfahren angewendet wird, um ein Stundenproblem zu lösen. Zur Vermittlung des chromatographischen Trennprinzips hätte alternativ auch die Dünnschichtchromatographie als exemplarisches Beispiel des Trennverfahrens gewählt werden können. Da in diesem Fall jedoch zusätzlich die Funktion des Kiesegels geklärt werden müsste, enthielte die Durchführung und Auswertung einer Dünnschichtchromatographie im Vergleich zur Papierchromatographie mehr unbekannte Faktoren, die vom Verstehen des grundlegenden Trennprinzips ablenken könnten. Darüber hinaus lassen sich auch an der Papierchromatographie alle elementaren Vorgänge beispielhaft, fachgemäß und mit geringem Materialaufwand erarbeiten. Als Analyt wurden wasserlösliche schwarze Filzstifte verwendet. Alternativ hätte auch die Auftrennung von grünem Blattfarbstoff erfolgen können, das resultierende Chromatogramm wäre jedoch im Hinblick auf das zur Interpretation benötigte Fachwissen eher für eine Oberstufe geeignet. Darüber hinaus ist die Zusammensetzung von schwarzer Filzstiftfarbe aus mehreren bunten Farben womöglich überraschend und motivierend für die SuS.

Der Zugang zur Thematik erfolgt über eine fiktive Geschichte eines Bankräubers (Adamaszek, 2016), welcher beim Knacken des Banksafes den Code, geschrieben mit einem schwarzen Filzstift auf einem Stück Papier, am Tatort hinterließ. Es sind drei Verdächtige bekannt, die alle einen schwarzen Filzstift besitzen. Durch die Gemeinsamkeit des schwarzen Filzstifts bei allen Verdächtigen soll darauf übergeleitet werden, dass das Identifizieren des Täters möglich ist, wenn bekannt wäre, mit welchem der drei Filzstifte die am Tatort vorgefundene Zahlenkombination geschrieben wurde. Daher soll der Zugang die Frage aufwerfen, wie sich die Farbe der drei schwarzen Filzstifte voneinander unterscheidet. Es sind folgende Hypothesen denkbar, wobei Hypothese 1 und 2 durch genaues Betrachten der Filzstiftfarbe verworfen werden können:

- Die schwarzen Filzstifte unterscheiden sich durch den genauen Farbton.
- Die schwarzen Filzstifte unterscheiden sich durch die Liniendicke beim Schreiben.
- Die schwarzen Filzstifte unterscheiden sich durch die Inhaltsstoffe.

Unter Umständen könnten bei der Formulierung der Problemfrage und der Hypothesen Lernschwierigkeiten auftreten, wenn die SuS nicht auf die Idee kommen, dass die Farbe von schwarzen Filzstiften aus mehreren Komponenten zusammengesetzt sein könnte. In diesem Fall können die SuS durch einen gezielten Impuls in die richtige Richtung gelenkt werden. Der Impuls umfasst die am Tatort aufgefundene Zahlenkombination, die im Büro der Polizei an einer Stelle aus Versehen mit Wasser in Kontakt gekommen ist und als Folge dessen in mehreren Farben verlaufen ist. Dies soll die Schlussfolgerung erlauben, dass die schwarze Filzstiftfarbe aus mehreren Bestandteilen zusammengesetzt ist und liefert gleichzeitig Ansatzpunkte, von denen ausgehend eine Versuchsplanung angeleitet werden kann: Es soll ersichtlich werden, dass das

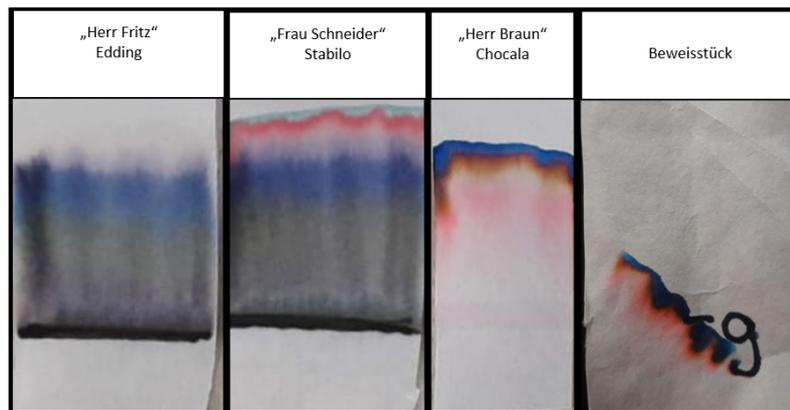
Beweisstück der Zahlenkombination auf dem Papier in verschiedene Farben verläuft, wenn es Wasser ausgesetzt wird. Äußern die SuS eine entsprechende Hypothese bereits ohne den gezielten Impuls, kann dieser nachfolgend auch als Anlass verwendet werden, nur die Hypothese der unterschiedlichen Inhaltsstoffe nachzuverfolgen und andere womöglich formulierte Hypothesen vorerst in den Hintergrund zu stellen. Alternativ wäre ein Einstieg über das Phänomen des schwarzen Wasserfarben-Waschwassers denkbar gewesen: Wird ein Pinsel beim Malen mit Wasserfarben des Öfteren ausgewaschen, wird das Waschwasser mit der Zeit schwarz, auch wenn kein Schwarz verwendet wurde. Auch wenn der Alltagsbezug des alternativen Einstiegs als höher eingeschätzt wird, wirkt der Einstieg über die fiktive Geschichte des Bankraubs vermutlich motivierender, da dieser eine direkte Aufgabe impliziert, welche über die Anwendung der Chromatographie lösbar ist. Dies schult spielerisch das problemlösende Denken der SuS und weckt womöglich die Neugierde, der Problematik auf den Grund zu gehen und den Täter zu identifizieren. Daher wurde der alternative Einstieg wieder verworfen.

Das Beweisstück der Zahlenkombination, welches durch den Kontakt mit Wasser versehentlich in verschiedene Farben verlaufen ist, ermöglicht einen direkten Übergang zur gedanklichen Planung des nachfolgenden Versuchs durch die SuS. Über die Nachfrage, ob sich das Farbmuster von allen drei Filzstiften nach dem Verlaufen unterscheiden könnte, sollen die SuS die Idee äußern, dass man die Chromatogramme der drei schwarzen Filzstifte mit der verlaufenen Zahlenkombination am Tatort vergleichen könnte, um den Täter zu identifizieren. Da es für diesen Ansatz notwendig ist, ein Chromatogramm von allen drei schwarzen Filzstiften durch den Kontakt mit Wasser zu erstellen, kann die Lehrkraft direkt zur Durchführung des Versuchs überleiten. Der geplante Versuch übernimmt im Rahmen der Erarbeitungsphase 1 anschließend eine problemlösende Funktion. Die Durchführung der Untersuchung selbst erfolgt anschließend jedoch angeleitet, da zu viele Einflussfaktoren das Gelingen der Chromatographie beeinflussen, wenn sie nicht bedacht werden. Dazu gehört zum Beispiel die Füllhöhe des Wassers in Kombination mit der Höhe der aufgezeichneten Startlinie oder die Dicke der aufgetragenen Filzstiftproben. Durch eine detailliertere Anleitung werden diesbezügliche Probleme vermieden. Bei der Auftrennung der Filzstiftfarben ergibt sich dann ein für den Filzstifthersteller charakteristisches Chromatogramm: Das Farbmuster der Auftrennung von den drei schwarzen Filzstiften unterscheidet sich jeweils deutlich voneinander, während zwischen dem Farbmuster von Herr Brauns Stift und dem Farbmuster des Beweisstücks Ähnlichkeiten festzustellen sind. In jedem Fall wird jedoch deutlich, dass es sich bei der schwarzen Filzstiftfarbe um ein homogenes Stoffgemisch handelt, welches durch das Trennverfahren der Papierchromatographie in seine Bestandteile aufgetrennt werden kann, was im Rahmen der Sicherung 1 fixiert wird.

Über die Frage, wie das Trennprinzip der Papierchromatographie auf der Teilchenebene zu erklären ist, wird auf die Erarbeitungsphase 2 übergeleitet: Das Verstehen und Erklären des zugrundeliegenden Trennprinzips auf der Teilchenebene ist für eine 6. Jahrgangsstufe recht komplex und kann unter Umständen zu Lernschwierigkeiten führen. Daher ergibt sich die Notwendigkeit, den Lerninhalt in eine anschauliche, leicht verständliche Darstellungsform zu

überführen. Das in diesem Kontext entwickelte Funktionsmodell des Trennprinzips veranschaulicht die Auftrennung des Stoffgemischs über die unterschiedlich starke Haftung der Probenbestandteile am Filterpapier. Dies wird durch Bausteine mit variierender Oberflächenbeschaffenheit symbolisiert, welche durch unterschiedlich starke Haftung am Modelluntergrund unterschiedlich schnell am gekippten Modell herunterrutschen. Um diesen Erklärungsansatz auf die Realität der Papierchromatographie anwenden zu können, muss zunächst die Verbindung zwischen den Modellkomponenten und den realen Strukturen, die durch diese Komponenten dargestellt werden sollen, geschaffen werden. Die SuS sollen erkennen, dass das Brett mit der schwarzen Linie das Filterpapier mit der Startlinie symbolisiert, während die Bestandteile der Filzstiftfarbe durch unterschiedlich gefärbte Bausteine dargestellt werden. Die mit dem Modell durchgeführte Kippbewegung, welche zum Rutschen der Bausteine führt, soll die aufsteigende Wasserfront simulieren. Durch näheres Betrachten der Bausteine sollen die SuS feststellen können, dass die je nach Oberflächenbeschaffenheit unterschiedlich starke Haftung der Bausteine am Brett dazu führt, dass diese schneller oder langsamer am Modell herunterrutschen. Die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit wird durch eine Beschichtung mit unterschiedlichen Materialien dargestellt. Die so gewonnen Erkenntnisse können anschließend wieder auf den realen Vorgang der Papierchromatographie übertragen werden, sodass das am Modell erlernte Trennprinzip der Papierchromatographie auf der Teilchenebene im Rahmen der Sicherung 2 gesichert werden kann. Die SuS sollen dabei behalten, dass die verschiedenen Farbbestandteile eines schwarzen Filzstifts unterschiedlich stark am Filterpapier haften. Wenn das Wasser am Filterpapier „hochwandert“, werden die unterschiedlichen Teilchen (Farbbestandteile) unterschiedlich schnell mitgetragen. Farbbestandteile, welche nur schwach am Filterpapier haften, werden sehr viel schneller mitgetragen als solche Teilchen, die sehr stark am Filterpapier haften.

Nach erfolgter Sicherung wird der Rückbezug zum Stundeneinstieg hergestellt und die Hypothesen durch die SuS revidiert. Da der Stundenfokus nur auf einer Hypothese lag, können die SuS womöglich nicht alle Hypothesen fundiert beurteilen. Bei genügend Zeit können die übrigen Hypothesen unter Umständen noch geprüft werden: Beim Bemalen eines Filterpapiers mit allen drei Filzstiften wird ersichtlich, dass bezüglich des genauen Farbtons oder der Liniendicke kein Unterschied zwischen den drei Stiften erkennbar ist. Der Täter des Bankraubs kann schlussendlich durch den Vergleich der Chromatogramme aus der Erarbeitungsphase 1 mit dem Beweisstück der verlaufenen Zahlenkombination ermittelt werden. Erfahrungsgemäß ergibt sich bei den drei gewählten Filzstiften ein Farbmuster, von denen sich eines sehr eindeutig dem Farbmuster auf dem Beweisstück und somit dem Täter (Herr Braun) zuordnen lässt (vgl. Abb. 5). Es ist zu beachten, dass der Unterschied der Chromatogramme bei anderen Filzstiftherstellern womöglich nicht so eindeutig ausfällt, dies ist vorab zu testen.



**Abbildung 5:** Chromatogramme im Vergleich. Gezeigt sind die Chromatogramme der Filzstifte der drei Verdächtigen sowie das Beweisstück. Der Filzstift von Herr Braun lässt sich eindeutig dem Beweisstück zuordnen. Abbildungsquelle: Eigene Darstellung.

### 3.3 Methodische Überlegungen

Der Einstieg erfolgt durch die Präsentation eines Zeitungsartikels über den Bankraub (vgl. Kapitel 4 ‚Zeitungsartikel‘) mittels für alle sichtbarer Powerpoint-Präsentation. Dieser vermittelt die für den Einstieg relevanten Informationen. Der Zeitungsartikel soll durch einen oder eine der SuS für die Klasse laut vorgelesen werden, um die SuS direkt zu Beginn zu aktivieren. Dem Artikel liegt das Beweismaterial vom Tatort (vgl. Kapitel 4 ‚Beweismaterial‘) bei, welches durch die Lehrkraft präsentiert wird: Die drei schwarzen Filzstifte der Verdächtigen (Informationen zu den Herstellern und den jeweiligen Bezugsquellen können Kapitel 4 entnommen werden), die mit dem jeweiligen Namen beschriftet wurden, und der Zettel mit der zur Tat verwendeten Zahlenkombination. Der Zeitungsartikel in Kombination mit dem restlichen Beweismaterial soll anschließend zur Problemfrage der Stunde führen. Da die Problemfrage leitend für den weiteren Stundenverlauf ist, sollen die Formulierung der Problemfrage sowie die anschließende Hypothesenbildung im Unterrichtsgespräch stattfinden. Dies ermöglicht die stärkere Lenkung des Unterrichtsgeschehens durch gezielte Impulse bei gleichzeitig hoher Schüleraktivität und gewährleistet, dass die zu Beginn formulierte Problemfrage zum geplanten Stundenverlauf führt. Problemfrage und Hypothesen werden so an einer Seitentafel notiert, dass sie im ganzen Stundenverlauf präsent bleiben und so den roten Faden der Stunde unterstützen können. Das weiterführende Beweismaterial, das als gezielter Impuls dient, um die Hypothese der unterschiedlichen Inhaltsstoffe der drei Filzstifte zu generieren bzw. das Untersuchen von ebendieser zu rechtfertigen, wird in Form eines Bildes präsentiert (vgl. Kapitel 4 ‚Beweisfoto‘). Dieses kann mittels Powerpoint-Präsentation gezeigt werden. Auf dem Bild wird die Auftrennung der schwarzen Filzstiftfarbe in mehrere bunte Farben gut sichtbar, die Einbindung des Beweisfotos erfolgt ebenfalls im Rahmen eines Unterrichtsgesprächs. So können die SuS bei Bedarf verbal zu den relevanten Aspekten des Beweisfotos gelenkt werden. Das Beweisfoto kann dabei vor der Hypothesenformulierung als

helfender Impuls präsentiert werden, oder nach der Hypothesenbildung, um die Fokussierung auf die Hypothese der unterschiedlichen Inhaltsstoffe zu rechtfertigen. Über die erwartete Hypothese, dass sich die Farben der schwarzen Filzstifte über ihre Bestandteile voneinander unterscheiden, wird durch die Lehrperson nun auf die Erarbeitungsphase übergeleitet. Die gedankliche Planung des Vorgehens erfolgt im Unterrichtsgespräch. Sind alle SuS gedanklich auf einer Ebene, wird der Arbeitsauftrag zur Stofftrennung in einem kurzen Lehrervortrag instruiert. Zu dem Lerngegenstand der Chromatographie, welcher selbst ein praktisches Analyseverfahren darstellt, ist ein entsprechend guter experimenteller Zugang gegeben. Auch die Identifizierung der Bestandteile der schwarzen Filzstiftfarbe impliziert praktisches Arbeiten, weshalb sich die Durchführung eines Versuches grundsätzlich gut anbietet. Für die Erarbeitungsphase 1 werden die Tische mit den Versuchsmaterialien im Vorhinein so vorbereitet, dass direkt mit der praktischen Arbeit begonnen werden kann. Für jede Kleingruppe aus zwei SuS werden folgende Materialien benötigt: Ein Becherglas mit etwas Wasser, zwei rechteckige Filterpapierstücke, zwei Holzspieße und die Filzstifte der Verdächtigen. Es bietet sich an, die Filzstifte der Verdächtigen je nach Klassenstärke in mehrfacher Ausführung bereitzustellen. Die rechteckige Form der vorbereiteten Filterpapierstreifen sind der Form einer herkömmlichen Chromatographie aus dem Labor nachempfunden, um den Bezug zum wissenschaftlichen Arbeiten zu stärken.

Die Versuchsdurchführung erfolgt anhand der Instruktionen auf dem Arbeitsblatt (vgl. Kapitel 4 ‚Arbeitsblatt‘) in Partnerarbeit, um schwächeren SuS die Möglichkeit der Absicherung durch Kommunikation mit ihrem Sitznachbar zu geben. Da die Kosten der Versuchsmaterialien recht gering sind, kann jedoch jedem der SuS ein Filterpapier ausgeteilt werden. Dies gewährleistet, dass jeder der SuS jeden Erkenntnisschritt selbst erleben kann und bietet trotzdem die Möglichkeit, eventuelle Probleme mit dem Partner gemeinsam zu lösen. Darüber hinaus entsteht so für jeden der SuS ein Chromatogramm, welches im Rahmen der Sicherungsphase ins Heft geklebt werden kann. Alternativ zur Durchführung eines Versuches hätte auch auf ein Demonstrationsexperiment oder den Einsatz audiovisueller Medien zurückgegriffen werden. Aufgrund des geringen Zeitbedarfs des Versuchs und der geringen Gefährlichkeit bietet sich jedoch die Ermöglichung einer Primärerfahrung durch praktisches Arbeiten und die Anwendung der fachgemäßen Arbeitsweise des Experimentierens an. Um den SuS Raum zu selbstständigen Denken und Handeln zu gewähren, soll die Lehrkraft während dieser Erarbeitungsphase eine eher zurückgezogene, aber dennoch aufmerksame Rolle einnehmen. So kann bei eventuell auftretenden Problemen schnell helfend eingegriffen werden. Die anschließende Besprechung der Versuchsbeobachtungen im Rahmen der Sicherung 1 erfolgt im Unterrichtsgespräch. Die ersten Ergebnisse werden im Verlauf des Unterrichtsgesprächs in Form eines Tafelbildes (vgl. Kapitel 4 ‚Tafelbild Teil 1‘) festgehalten. Das Tafelbild wird Schritt für Schritt entwickelt und im späteren Verlauf der Stunde noch durch das chromatographische Trennprinzip ergänzt.

Die Erarbeitung des Trennprinzips auf der Teilchenebene erfolgt im Unterrichtsgespräch anhand des Funktionsmodells. Dabei interagiert einer oder eine der SuS zunächst nach Anleitung mit dem Modell und demonstriert so dessen Funktionsweise. Die Analogisierung der Modellstrukturen mit

der Realität erfolgt anschließend im Unterrichtsgespräch; die Lehrkraft fordert dabei Schritt für Schritt den Vergleich der Modellstrukturen mit der Realität. Je nach Raumgröße kann das Modell an einem gut sichtbaren Ort platziert und verwendet werden. Ist so jedoch nicht garantiert, dass das Modell von allen gut gesehen wird, bietet sich eine Übertragung des Modells per Videokamera an eine Leinwand an. Alternativ wäre auch eine selbstständige Erarbeitung des Trennprinzips durch die SuS mit Hilfe des Funktionsmodells denkbar. Da für dieses Szenario allerdings sehr viele Modelle angefertigt werden müssten, was mit einem hohen Vorbereitungs- und Materialaufwand einhergeht, stellt die Erarbeitung an nur einem Funktionsmodell im Unterrichtsgespräch die realistischere Version für den Schulalltag dar. Darüber hinaus ist das Erklären des Trennprinzips auf der Teilchenebene mit Hilfe des Funktionsmodells recht komplex. Im Unterrichtsgespräch kann bei Bedarf direkt zur korrekten Analogisierung der Strukturen mit der Realität gelenkt werden. Dies gewährleistet das Erreichen der gesetzten Lernziele.

Nachdem die SuS die Funktionsweise des Modells erarbeitet haben, sollen die erlangten Erkenntnisse im Rahmen der Sicherungsphase 2 auf den Lerngegenstand der Chromatographie übertragen werden. Dafür wird im Unterrichtsgespräch aus den Parallelen zwischen dem Funktionsmodell und dem realen Sachverhalt eine Erklärung des chromatographischen Trennprinzips entwickelt. Das bereits begonnene Tafelbild wird um die entsprechenden Inhalte ergänzt (vgl. Kapitel 4, Tafelbild Teil 2'). Ist das Chromatogramm bereits getrocknet, können die SuS dieses zum Tafelbild ins Heft kleben. Der Rückbezug zum Einstieg erfolgt abermals im Unterrichtsgespräch. Die Identifizierung des Täters mit Hilfe der erzeugten Chromatogramme stellt den Ausstieg der Stunde dar.

### 3.4 Unterrichtsverlaufsplan

Phase	Inhalt	Unterrichts- /Sozialform	Medien und Material
Einstieg	Beweisstück der Zahlenkombination des Tresors, geschrieben mit schwarzem Filzstift, am Tatort eines Bankraubs aufgefunden. Drei Verdächtige mit jeweils einem schwarzen Filzstift sind bekannt.	Lehervortrag + SuS-Beiträge	Powerpoint: ,Zeitungsartikel', ,Beweismaterial'
	<i>Wie unterscheidet sich die Farbe der verschiedenen schwarzen Filzstifte voneinander?</i>	Unterrichtsgespräch	Tafel
	Mögliche Hypothesen: Über den genauen Farbton Über die Liniendicke/Handschrift Über die Inhaltsstoffe		

Phase	Inhalt	Unterrichts- /Sozialform	Medien und Material
	Bei Kontakt mit Wasser verläuft schwarze Filzstiftfarbe in bunten Farben	Unterrichtsgespräch	PPT: ‚Beweisfoto‘, ‚Beweisstück Zahlenkombination verlaufen‘
	Gedankliche Planung des Versuchs	Unterrichtsgespräch	
Erarbeitung g 1	Auftrennen der schwarzen Filzstiftfarbe der drei Verdächtigen in die Farbbestandteile mittels Papierchromatographie	SuS-Experiment in Partnerarbeit	Materialien für den Versuch, Arbeitsblatt
Sicherung 1	<i>Tafelbild Teil 1:</i> Die schwarze Farbe von Filzstiften ist ein Stoffgemisch aus mehreren Farben.  Die Papierchromatographie ist ein Verfahren zur Stofftrennung.	Unterrichtsgespräch	Tafelbild Teil 1, Chromatogramm, Arbeitsblatt
Erarbeitung g 2	Analogisierung der Modellstrukturen mit der Realität (Brett steht für Filterpapier, schwarze Linie steht für Startlinie, Bausteine mit unterschiedlicher Beschichtung stehen für die Farbbestandteile mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit, Anheben des Bretts steht für das Hochwandern des Wassers)	Unterrichtsgespräch	Funktionsmodell, ggf. Videokamera
Sicherung 2	<i>Tafelbild Teil 2:</i> Unterschiedliche Farbbestandteile haften unterschiedlich gut am Filterpapier: Teilchen, die schwach am Filterpapier haften werden schneller vom Wasser mitgetragen als Teilchen, die stark haften.	Unterrichtsgespräch	Tafelbild Teil 2, Chromatogramm
	Rückbezug zu Hypothesen, Identifizieren von Herr Braun als Täter	Unterrichtsgespräch	Chromatogramm des Versuchs, ‚Beweisstück‘

Phase	Inhalt	Unterrichts- /Sozialform	Medien und Material
			Zahlenkombination verlaufen', Tafel

## 3.5 Geplantes Tafelbild

### Tafelbild Teil 1:

Papierchromatographie von schwarzer Filzstiftfarbe Datum

Die Farbe eines schwarzen Filzstiftes ist ein Stoffgemisch aus verschiedenen Teilchen, das durch Papierchromatographie in seine Bestandteile aufgetrennt werden kann. Die Papierchromatographie ist also ein Verfahren zur Stofftrennung.



### Tafelbild Teil 2:

## Papierchromatographie von schwarzer Filzstiftfarbe

Datum

Die Farbe eines schwarzen Filzstiftes ist ein Stoffgemisch aus verschiedenen Teilchen, das durch Papierchromatographie in seine Bestandteile aufgetrennt werden kann. Die Papierchromatographie ist also ein Verfahren zur Stofftrennung.



Die verschiedenen Farbbestandteile der Farbe eines schwarzen Filzstiftes haften unterschiedlich stark am Filterpapier. Wenn das Wasser am Filterpapier „hochwandert“, werden die unterschiedlichen Teilchen (Farbbestandteile) deswegen unterschiedlich schnell mitgetragen. Farb-Teilchen, die nur sehr schwach am Filterpapier haften werden vom Wasser sehr viel schneller und weiter mitgetragen als solche Teilchen, die sehr stark am Filterpapier haften.

## 4 Literaturverzeichnis

- Adamaszek, P. (2016). *Dem Bankräuber auf der Spur*. SCHULEkonkret. [https://kinderlabor.ch/wp-content/uploads/2015/07/SCHULEkonkret\\_8\\_16\\_Kinderlabor.pdf](https://kinderlabor.ch/wp-content/uploads/2015/07/SCHULEkonkret_8_16_Kinderlabor.pdf). Abgerufen am 06.03.2022.
- Engelhardt, H. (1977). *Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie*. Springer-Verlag.
- Eschenhagen, D., Kattmann, U. & Rodi, D. (2006). *Fachdidaktik Biologie* (7. Auflage). Aulis Verlag.
- Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich (2019). *Grundlagen der Chromatographie*. analytik.ethz. [https://www.analytik.ethz.ch/praktika/phys\\_anal/EinfuehrungChromatographie.pdf](https://www.analytik.ethz.ch/praktika/phys_anal/EinfuehrungChromatographie.pdf). Abgerufen am 28.02.2022.
- Killermann, W., Hierung, P. & Starosta, B. (2018). *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik* (17. Auflage). Auer Verlag.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. Wolters Kluwer Deutschland GmbH.
- Leibold, K. & Klautke, S. (1999). Lerneffektivität des Einsatzes gegenständlicher Modelle in Biologieleistungskursen des Gymnasiums. In *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5(1), S. 3-23.
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. In *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 14(1) S. 243-261.
- Meyer, H. (1990). Modelle. In *Unterricht Biologie*, 160, S. 4 – 10.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur (2010). *Rahmenlehrplan Naturwissenschaften für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz*. Naturwissenschaften rlp.
- Oschatz, M. & Taubert, A. (2018). *Trennung von Kupfer, Nickel, Cobalt, Eisen, Mangan und Zink durch Papierchromatographie*. chem.uni-potsdam. <https://www.chem.uni-potsdam.de/groups/anorganik2018/Papierchromatographie.pdf>. Abgerufen am 28.02.2022.
- Salzer, R., Thiele, S. & Zuern, A. (2016). *Grundlagen der Chromatographie*. chemgapedia. [http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/3/anc/croma/chromatographie\\_grundlagen.vlu.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/3/anc/croma/chromatographie_grundlagen.vlu.html). Abgerufen am 24.02.2022.
- Spektrum Akademischer Verlag (1998a). *Papierchromatographie*. spektrum. <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/papierchromatographie/6705>. Abgerufen am 28.02.2022.
- Spektrum Akademischer Verlag (1998b). *Dünnschichtchromatographie*. spektrum. <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/duennschichtchromatographie/3511>. Abgerufen am 01.03.2022.

- Spektrum Akademischer Verlag (1998c). *Subtraktive Farbmischung*. spektrum. <https://www.spektrum.de/lexikon/kartographie-geomatik/subtraktive-farbmischung/4757>. Abgerufen am 28.02.2022.
- Spektrum Akademischer Verlag (2001). *Additive Farbmischung*. spektrum. <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/additive-farbmischung/130>. Abgerufen am 28.02.2022.
- Stachowiak, H. (1980). Der Weg zum Systematischen Neopragmatismus und das Konzept der Allgemeinen Modelltheorie. In H. Stachowiak, *Modelle und Modelldenken im Unterricht*. Klinkhardt. S. 9-49.
- Terzer, E. & Upmeier zu Belzen, A. (2008). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle – Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz. In *Zeitschrift für Didaktik Der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren Und Lernen*, 16 (1), S. 33–56.
- Technische Universität Dresden (TU Dresden) – Fachrichtung Chemie (2019). *Stofftrennung durch Chromatographie*. tu-dresden. <https://tu-dresden.de/mn/chemie/mc/mc2/ressourcen/dateien/vnt-61-praktikum/Versuch-5-Chromatographie.pdf?lang=de>. Abgerufen am 01.03.2022.
- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. In *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16(1), S. 41-57.
- Wiehoczek, D. (2004a). *Verteilungschromatographie*. chemieunterricht. <https://www.chemieunterricht.de/dc2/chromato/vchromat.htm>. Abgerufen am 28.02.2022.
- Wiehoczek, D. (2004b). *R<sub>f</sub>-Wert*. chemieunterricht. [https://www.chemieunterricht.de/dc2/chromato/rf-wert.htm#:~:text=Der%20Rf%2DWert%20\(R,Substanz%20zur%20Laufstrecke%20des%20Laufmittels](https://www.chemieunterricht.de/dc2/chromato/rf-wert.htm#:~:text=Der%20Rf%2DWert%20(R,Substanz%20zur%20Laufstrecke%20des%20Laufmittels). Abgerufen am 01.03.2022.