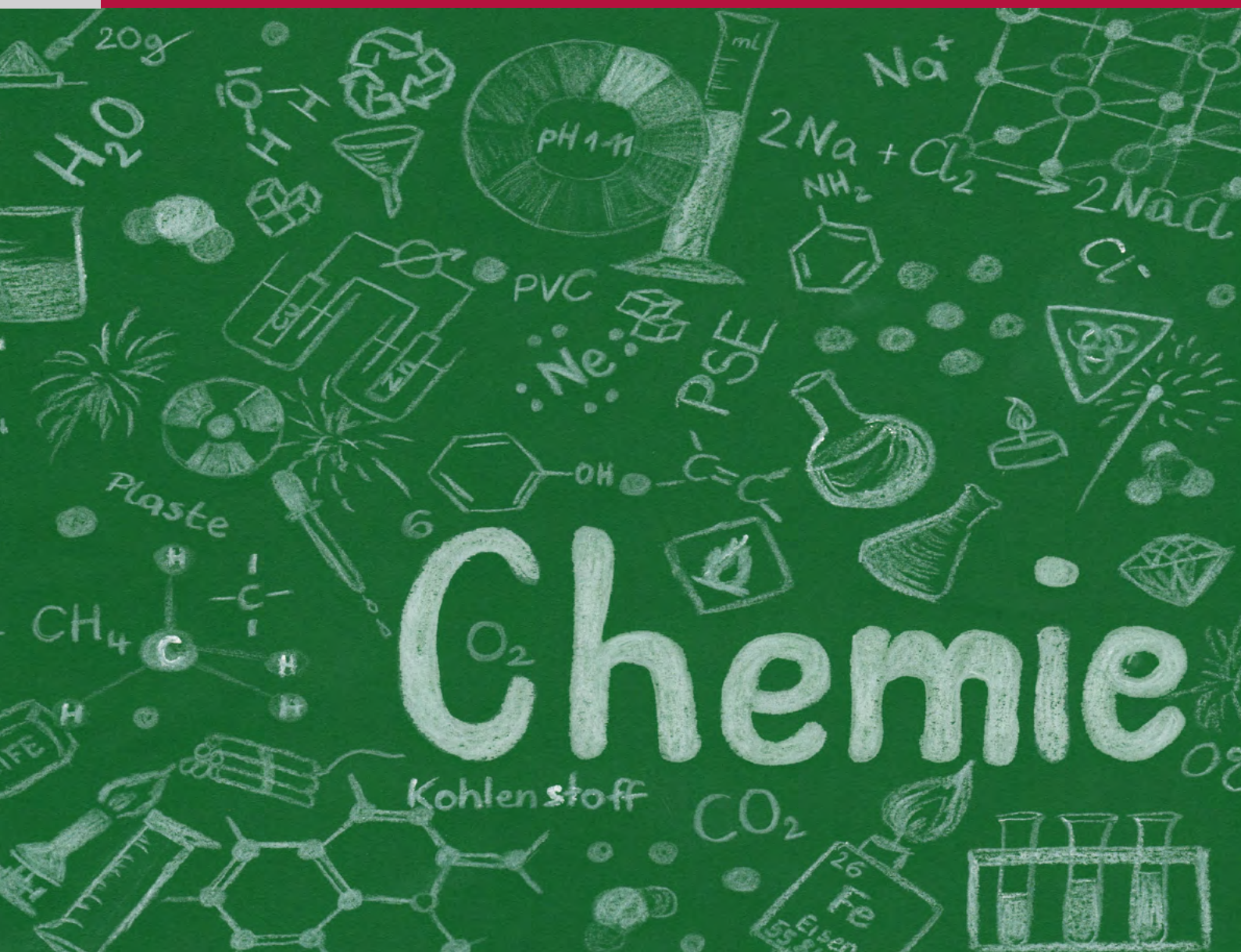




DEN STOFFEN AUF DER SPUR

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Chemie – Themenfeld 9



In den PL-Informationen werden Ergebnisse veröffentlicht, die von Lehrerinnen und Lehrern aller Schularten unter Einbeziehung weiterer Experten erarbeitet und auf der Grundlage der aktuellen pädagogischen oder fachdidaktischen Diskussion für den Unterricht oder die Schulentwicklung aufbereitet wurden. Mit ihnen werden Anregungen gegeben, wie Schulen bildungspolitische Vorgaben und aktuelle Entwicklungen umsetzen können.

Die PL-Informationen erscheinen unregelmäßig. Unser Materialangebot finden Sie im Internet auf dem Landesbildungsserver unter folgender Adresse:

<https://pl.bildung-rp.de/publikationen>

Die vorliegende Veröffentlichung wird gegen eine Schutzgebühr von 6,00 Euro zzgl. Versandkosten abgegeben. Bestellungen richten Sie bitte an das Pädagogische Landesinstitut:

bestellung@pl.rlp.de

IMPRESSUM

Herausgeber:

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz
Standort Bad Kreuznach
Röntgenstraße 32
55543 Bad Kreuznach
pl@pl.rlp.de

Redaktion:

Barbara Dolch, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Skriptbearbeitung:

Ute Nagelschmitt, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Titelbild:

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: Oktober 2018

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2018

ISSN 2190-9148

Soweit die vorliegende Handreichung Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Sollten dennoch in einigen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an das Pädagogische Landesinstitut Rheinland-Pfalz.

INHALT

1	Themenfeld 9: Den Stoffen auf der Spur	3
1.1	Vorüberlegungen	3
1.2	Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene	4
1.3	Konzept- und Kompetenzentwicklung	5
2	Vom Lehrplan zum kompetenzorientierten Unterricht	7
2.1	Die Stellung des Themenfeldes 9 im Lehrplan	7
2.2	Die Themenfeld-Doppelseite	10
2.3	Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung	12
2.4	Überblick über die Kontexte des Themenfeldes	16
2.5	Differenzierungsmöglichkeiten	21
3	Zu den Lerneinheiten	22
3.1	Lerneinheit 1: Kolorimetrie, Konzentration	23
3.2	Lerneinheit 2: Chromatografie	31
3.3	Lerneinheit 3: Maßanalyse, Konzentration	40
3.4	Lerneinheit 4: Messverfahren auswählen	48
4	Zusammenfassung	55
4.1	Üben und Vernetzen	55
4.2	Mögliche Unterrichtsgänge im Überblick	57
4.3	Liste der verfügbaren Muster-Gefährdungsbeurteilungen zum TF 9	61
	Literaturverzeichnis	62
	Autorinnen und Autoren	63

1 THEMENFELD 9: DEN STOFFEN AUF DER SPUR

1.1 Vorüberlegungen

Der aktuelle Lehrplan im Fach Chemie für die Klassen 7 bis 9/10 der weiterführenden Schulen des Landes Rheinland-Pfalz schließt konzeptionell an den Lehrplan des Faches Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe an.

Die drei Säulen des naturwissenschaftlichen Unterrichts Kompetenzen, Basiskonzepte und Kontexte bilden auch die Stützpfeiler des Chemieunterrichts und erfordern eine darauf aufbauende unterrichtliche Umsetzung.

Die „Aspekte der Chemie“, die sich aus ihrer Bedeutung für den Menschen ableiten, begründen den bildenden Charakter des Unterrichtsfaches Chemie und sind die Grundlage für die Themenfelder. Sie bieten eine Orientierung für die Auswahl der Kontexte.

In dieser Handreichung geht es um die Ausgestaltung des Unterrichts zum Themenfeld 9 „Den Stoffen auf der Spur“ gemäß der Intentionen des Lehrplans. Dazu werden die Themenfeld-Doppelseite vorgestellt und exemplarisch mögliche Kontexte und Lerneinheiten ausgeführt.

Die Leitfragen lauten: „Wie lese ich das Themenfeld?“, „Welche Stellung hat das Themenfeld im Gesamtlehrplan?“ und „Wie kann ich dieses Themenfeld den Lehrplananforderungen entsprechend konkret im Unterricht umsetzen?“

Da aus ökologischen und ökonomischen Gründen nur ein kleiner Teil der Materialien abgedruckt wird, gibt es die Möglichkeit, die gesamte Handreichung sowie die Materialien mit möglichen Lösungen über den folgenden Link herunterzuladen:

<https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/faecher/chemie/unterricht.html>

Diese Handreichung enthält eine Vielzahl von Abbildungen, die im Zweifarbdruk wenig aussagekräftig erscheinen. In der farbigen Online-Version auf dem Bildungsserver illustrieren sie die Thematik besser.

1.2 Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene

Ein wesentliches Merkmal des Faches Chemie ist der Wechsel zwischen der makroskopischen (Stoffebene) und der submikroskopischen Ebene (Teilchenebene). (Vgl. Lehrplan, S. 57-58.)

Auf der Stoffebene stehen Wässer aus dem Alltag der Schülerinnen und Schüler im Mittelpunkt. Dabei geht es um die Analyse von Inhaltsstoffen wässriger Lösungen, insbesondere der gelösten Salze. Schwerpunkt des Themenfeldes ist der Aspekt „Stoffe untersuchen“.

Das Spektrum untersuchter Wässer reicht von „Wasser als Lebensraum“ im Sinne von Aquarium, Teich, Fluss, bis zu „Wasser als Getränk“ im Sinne von Trinkwasser oder auch Mineralwasser. Hierzu gehören auch Behandlungsverfahren wie die Enthärtung mit einem Wasserfilter oder die gezielte Nutzung z. B. von Calcium oder Magnesium im Hinblick auf die Ernährung oder die Problematik des Nitratgehalts im Zusammenhang mit steigenden Gehalten im Grundwasser und der Zubereitung von Babynahrung. Die entsprechenden Deutungen auf der Teilchenebene sind in den früheren Themenfeldern schon angelegt und werden beim Konzentrationsbegriff und der Titration angewandt.

Die Darstellung chemischer Reaktionen in Formelgleichungen ist hier nur in Einzelfällen sinnvoll und steht nicht im Fokus des Themenfeldes. Sie bietet sich ggf. bei der Nutzung der Maßanalyse an, um quantitative Aussagen aus der Neutralisationsreaktion nachzuvollziehen.

1.3 Konzept- und Kompetenzentwicklung

Die thematischen Schwerpunkte im Lehrplan Chemie sind so gewählt, dass parallel die Kompetenzentwicklung und die Entwicklung der Basiskonzepte möglich sind (vgl. Lehrplan Kapitel 5.3, „Zur Arbeit mit dem Lehrplan Chemie“). Die im Themenfeld 9 angestrebte Kompetenzentwicklung der Schülerinnen und Schüler ist im Rahmen des Unterrichts verbindlich zu ermöglichen.

Alle Schülerinnen und Schüler bekommen Gelegenheit, einfache Experimente zu analytischen Verfahren zu planen, durchzuführen oder auszuwerten, um ihre Kompetenzen auf dem Gebiet der **Erkenntnisgewinnung** weiter zu entwickeln. Das Themenfeld 9 bietet hierbei Gelegenheit, moderne analytische Verfahren, ihre Funktionsweise und ihre Anwendungsmöglichkeiten zu erarbeiten.

Die Erklärung der Analyseverfahren führt zum Wechsel auf die Teilchenebene und zur Nutzung des **Basiskonzepts Teilchen-Materie/Stoff**. In den früheren Themenfeldern erworbenes Wissen wird angewandt, damit Schülerinnen und Schüler

- die Maßanalyse auf der Teilchenebene darstellen und
- Lösungen mit unterschiedlicher Farbintensität als verschieden konzentrierte Lösungen auf der Teilchenebene beschreiben können.

Die **Verschränkung zwischen Stoff- und Teilchenebene** wird erreicht, wenn Schülerinnen und Schüler Erklärungszusammenhänge zu Stoffeigenschaften (z. B. Farbintensität) oder Reaktionsverhalten (z. B. Neutralisation) ableiten können. Dabei wird das **Basiskonzept Struktur-Eigenschaft-Funktion** weiter genutzt und angewandt.

Chemische Reaktionen von sauren und alkalischen Lösungen bei der Maßanalyse und deren Deutung auf der Teilchenebene vertiefen das **Basiskonzept chemische Reaktion**. Das Donator-Akzeptor-Prinzip wird genutzt (Protonenübertragung bei der Neutralisation).

Ihre Kompetenzen im Bereich der **Kommunikation** entwickeln die Schülerinnen und Schüler in Themenfeld 9 weiter, indem sie Messwerte in verschiedenen Formen darstellen, Messverfahren erklären, Daten oder Begriffsdefinitionen recherchieren oder Sachverhalte beschreiben.

Sie nutzen ihr **Wissen** über analytische Verfahren, um Experimente zu einer Fragestellung beispielsweise aus den Bereichen Umwelt oder Ernährung zu planen.

Das Themenfeld sieht eine problemorientierte Auswertung von Wasseranalysen vor, bei der sowohl Messmethoden als auch das untersuchte Wasser **bewertet** werden. Damit wird das Verantwortungs- und Bewusstsein im Sinne der Nachhaltigkeit gefördert.

Aspekt	Themenfeld	TF	TMS	SEF	CR	E	Stoffebene	Teilchen-ebene
Was ist Stoff?	Chemikers Vorstellung von den Stoffen	1	■		■		Vielfalt der Stoffe	Atom, Massenerhaltung
Stoffe gewinnen	Von der Saline zum Kochsalz	2	■	■			Kochsalz (Salze)	Ionen, Ionenbindung
Stoffe nutzen	Heizen und Antreiben	3	■		■	■	Wasserstoff, Methan (u. a. Kohlenstoffverbindungen)	Moleküle, Elektronenpaarbindung
Stoffe gewinnen	Vom Erz zum Metall	4	■	■	■		Erze, Metalle	Metallbindung
Stoffe nutzen	Sauber und schön	5	■	■			Wasser, Kohlenwasserstoffe, Alkanole	Dipol, Elektronenpaarbindung
	Säuren und Laugen	6	■	■	■		Säuren und Laugen	Ionen, Donator-Akzeptor
Stoffe neu herstellen	Schöne neue Kunststoffwelt	7	■	■			Polymere	Makromoleküle
	Vom Reagenzglas zum Reaktor	8			■	■	Produkte der chem. Industrie (nach Wahl)	Je nach gewähltem Stoff
Stoffe untersuchen	Den Stoffen auf der Spur	9	■	■	■		Wässrige Lösungen	Ionen
Stoffe verantwortungsvoll handhaben	Gefährliche Stoffe	10		■	■	■	Explosivstoffe, Giftstoffe	Je nach gewähltem Stoff
	Stoffe im Fokus von Umwelt und Klima	11		■	■	■	Kohlenstoffkreislauf	Moleküle, Ionen
Mit Stoffen Zukunft gestalten	Mobile Energieträger	12	■		■	■	Metalle	Ionen, Donator-Akzeptor

Abb. 1: Entwicklung der Basiskonzepte

TF = Themenfeld

TMS = Teilchen-Materie/Stoff

SEF = Struktur-Eigenschaft-Funktion

CR = Chemische Reaktion

E = Energiekonzept

Gefüllte Felder bedeuten:

Das entsprechende Basiskonzept wird eingeführt bzw. (weiter)entwickelt.

Felder mit Kästchen bedeuten:

Das entsprechende Basiskonzept wird genutzt bzw. angewandt.

2 VOM LEHRPLAN ZUM KOMPETENZORIENTIERTEN UNTERRICHT

2.1 Die Stellung des Themenfeldes 9 im Lehrplan

Auf der Stoffebene:

Ein wichtiges Element des Lehrplans sind die Aspekte von Chemie. Jedes Themenfeld bedient unterschiedliche Aspekte. In diesem Themenfeld steht der Aspekt „Stoffe untersuchen“ im Mittelpunkt der Betrachtungen. Alle weiteren Aspekte werden je nach gewähltem Kontext unterschiedlich stark berührt. Der Wunsch, immer mehr und immer Genaueres über einzelne Stoffe wissen zu wollen, ist ein ganz anderer Aspekt als der der Gewinnung, der Nutzung oder der Herstellung von Stoffen, die bei den letzten Themenfeldern im Vordergrund standen.

Noch vor 200 Jahren nutzten Menschen das Wasser, wie es war. Das Auge entschied zwischen sauber und verschmutzt. Heute schaut man überall genauer hin. Je mehr die Zusammenhänge verstanden werden, desto stärker wird der Wunsch auch zu kontrollieren. Fragen nach der Qualität reichen von einfachen Entscheidungen (Ist das Glas oder Diamant?) bis zur Aufklärung komplexer Strukturen wie der DNA. Der Bedeutung der quantitativen Untersuchungen begegnet man z. B. bei der Frage nach dem Gehalt eines Metalls im Erz oder bei der Konzentration bestimmter Ionen im Mineralwasser.

Die Tatsache, dass man heute zum Teil einzelne Moleküle nachweisen kann, führt zu Betrachtungen von Grenzwerten.

Aus Alltag und Medien wissen Jugendliche, dass in vielen Zusammenhängen Stoffe untersucht werden, z. B. Umwelt, Lebensmittel und Getränke, Medizin, Kriminalistik ... Es geht um die Identifizierung von Stoffen, die Bestimmung des Gehaltes, die Reinheit oder die Zusammensetzung eines Gemisches. Entwicklung und Einsatz von analytischen Verfahren machen einen bedeutenden Anteil der Chemie aus. Die Verfahren reichen von einfachen Teststäbchen bis zu komplexen Analysen mit hohem technischem Aufwand.

In einem zeitgemäßen Chemieunterricht findet auch die moderne Analytik Eingang.

Die folgende Grafik verdeutlicht den Schwerpunkt im Themenfeld, der auf dem Aspekt „Stoffe nutzen“ liegt, und weist Möglichkeiten in Bezug auf die übrigen Aspekte aus.

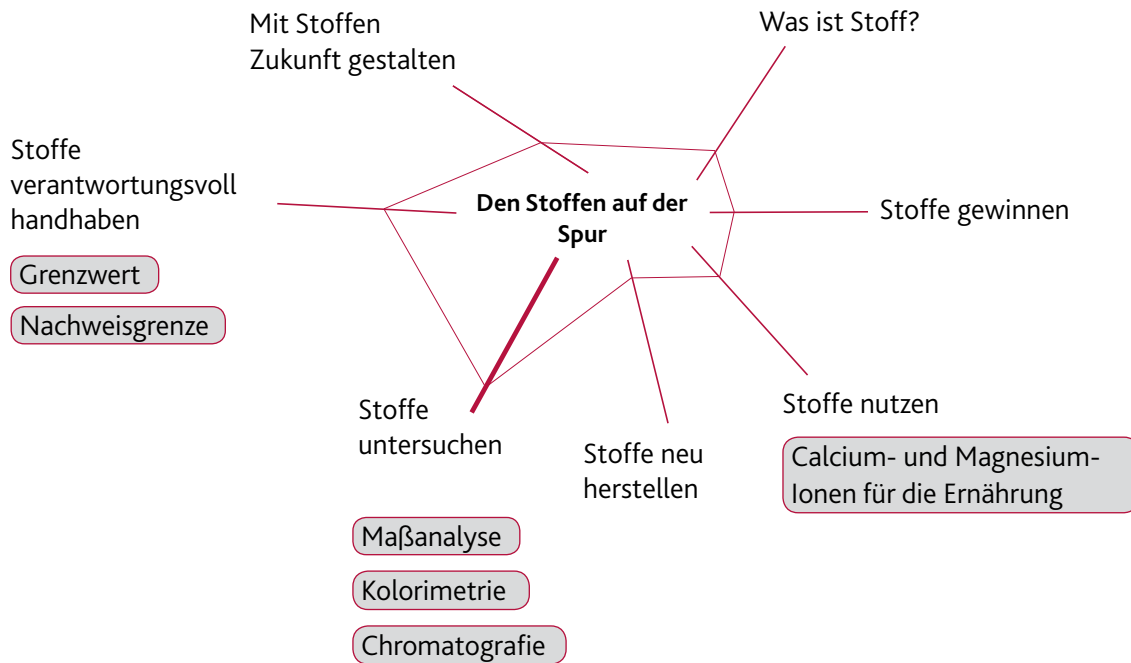


Abb. 2: Aspekte im Themenfeld 9

Auf der Teilchenebene:

In diesem Themenfeld stehen Ionen und deren Konzentration im Fokus. Damit werden die Kenntnisse über den Aufbau von Ionen und ihre Eigenschaften aufgegriffen und im Rahmen der Analytik angewandt.

Einige der zu betrachtenden Ionen sind zusammengesetzte Ionen, z. B. Nitrat-Ionen. Diese sind durch den höheren Abstraktionsgrad für Schülerinnen und Schüler eine Herausforderung, die die Lehrkraft im Blick haben sollte. Vorkenntnisse über Carbonat- und Hydrogencarbonat-Ionen können ggf. aus dem Themenfeld 6 (Säuren und Laugen) genutzt werden.

Die Handreichungen der Themenfelder 1-9 und ergänzende Onlinematerialien stehen zum Download bereit unter

<https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/faecher/chemie/unterricht.html>

2.2 Die Themenfeld-Doppelseite

TF 9: Den Stoffen auf der Spur	
<p>Aus Alltag und Medien wissen Jugendliche, dass in vielen Zusammenhängen Stoffe untersucht werden. In den Bereichen Umwelt, Lebensmittel und Getränke, Medizin oder Kriminalistik ist dies besonders gut verständlich. Es geht um die Identifizierung von Stoffen, die Bestimmung des Gehaltes, die Reinheit oder die Zusammensetzung eines Gemisches.</p> <p>Die Entwicklung und der Einsatz entsprechender qualitativer und quantitativer Untersuchungsverfahren machen einen bedeutenden Anteil der Chemie aus. Dabei reichen die Verfahren von einfachen Untersuchungen mit Teststäbchen bis zu komplexen Analysen mit hohem technischem Aufwand. Moderne Geräte können oft kleinste Konzentrationen von Stoffen nachweisen. In einem zeitgemäßen Chemie-Unterricht findet auch die moderne Analytik Eingang. Beim Umgang mit analytischen Fragestellungen wenden die Lernenden das bisher erworbene Fachwissen an und entwickeln ihre praktischen Fähigkeiten weiter. Außerdem befassen sie sich mit der Auswahl eines geeigneten Verfahrens in Abhängigkeit von der notwendigen Messgenauigkeit.</p> <p>Unter Schulbedingungen eignen sich (auf der Stoffebene) besonders Untersuchungen von Wasser, z. B. Aquarium, Gartenteich, Leitungswasser, Mineralwasser. Auf der Teilchenebene stehen Konzentrationsbestimmungen von Ionen im Mittelpunkt.</p>	
<p>Kompetenzen:</p> <p>Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> • wenden geeignete qualitative und quantitative Verfahren (z. B. Kolorimetrie, Maßanalyse) bei der Wasseranalytik an, • erfassen Prinzipien von qualitativen und quantitativen Testverfahren (z. B. Kolorimetrie, Maßanalyse) zur Wasseruntersuchung, • wenden das Wissen über Messverfahren und Messgenauigkeit (z. B. pH-Wert) in verschiedenen Zielsetzungen (z. B. zur Planung von Experimenten, zur kritischen Beurteilung von Angaben auf Etiketten, in Medien, ...) an, • wechseln Darstellungsformen bei Verwendung von Messwerten, Diagrammen, Tabellen, • verwenden Daten aus Wasseranalysen in verschiedenen Problemstellungen (z. B. Gesundheit, Umwelt). 	
<p>Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:</p> <p><i>Auf der Stoffebene:</i></p> <p>Verschiedene Stoffe können mit bestimmten, dazu passenden Verfahren identifiziert und quantitativ erfasst werden.</p> <p>Die Maßanalyse eignet sich für Stoffe, die mit einem anderen Stoff bekannter Konzentration gerade vollständig reagieren. (CR)</p> <p>Kolorimetrische Bestimmungen eignen sich für Stoffe, die farbig sind oder sich in farbige Stoffe überführen lassen. Chromatografische Verfahren nutzen unterschiedliche Löslichkeiten im Laufmittel und verschieden starke Adsorption an einer stationären Phase zur Trennung von Stoffgemischen. (SEF)</p> <p>Bei der Auswahl eines Analyseverfahrens für einen bestimmten Zweck sind Kriterien wie Messgenauigkeit und Nachweisgrenze zu beachten.</p>	<p>Fachbegriffe:</p> <p>Maßanalyse Konzentration</p> <p>Kolorimetrie Chromatographie Messgenauigkeit Nachweisgrenze</p> <p>Grenzwert</p>

Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:

```

    graph TD
      Center[Den Stoffen auf der Spur] --- GKG[Wasser-Trinkgewohnheiten in den Regionen Europas]
      Center --- GKG --- KA[Kriminalfälle und Analytik]
      Center --- GKG --- GUK[Geschichte und Kultur]
      Center --- TLG[Tägliches Leben und Gesundheit]
      Center --- TLG --- MVL[Mineralwasser versus Leitungswasser]
      Center --- TLG --- TLG --- ET[Das Etikett - Was sagen mir die Informationen?]
      Center --- TLG --- TLG --- UA[Untersuchungen am Aquarium, am Schulteich ...]
      Center --- UI[Technologie und Industrie]
      Center --- UI --- MWB[Mineralwasserbetrieb, Wasserwerk, chemisches Untersuchungsamt, ...]
      Center --- UI --- AK[Analysekoffer]
      Center --- UI --- PQL[Prozess-, Produkt- und Qualitätskontrolle in Betrieb und Lager]
      Center --- UV[Umwelt und Verantwortung]
      Center --- UV --- BFL[Baden in Flüssen und Seen]
      Center --- UV --- UV --- UUA[Vom Umgang mit Abwasser]
      Center --- UV --- UV --- STW[Sauberes Trinkwasser für alle]
  
```

Differenzierungsmöglichkeiten:

G: Ein Grundverständnis wird erreicht durch die Eingrenzung auf eine enge Fragestellung, z. B.: Ist der Schulteich oder das Aquarium „gesund“? Kann man Wasser aus dem Rhein aus chemischer Sicht trinken? Dabei werden Kenntnisse über Salze aufgegriffen. Die Funktionsweise der Untersuchungsverfahren kann auf eine anschauliche Beschreibung reduziert werden.

V: Vertiefungen sind möglich durch die abstraktere Betrachtung der Analyseverfahren, die mehr oder weniger selbstständige, intensivere Beschäftigung mit der praktisch-technischen Durchführung (z. B. Kalibrierung) oder der Erweiterung der Betrachtungen auf andere Stoffklassen (z. B. Zucker, Alkohol, organische Verschmutzungen). Mineralwässer bieten Anknüpfungsmöglichkeiten zur Bearbeitung von Elementfamilien und für stöchiometrische Betrachtungen.

Didaktisch-methodische Hinweise:

Die Bedeutung der modernen Analytik wird insbesondere bei einer Betriebserkundung vermittelt, z. B. in einem Mineralbrunnenbetrieb oder einer Einrichtung zur Gewässer- oder Lebensmittelüberwachung.

Bezüge:

<p>NaWi TF 7 Stoffgemisch</p>	<p>Biologie TF 4 Chromatographie von Chlorophyll TF 5 Trinkwasser, Abwasser TF 8 Doping TF 11 genetischer Fingerabdruck</p>
<p>Chemie TF 2 Ion, Salz, Lösung TF 6 Indikator, Neutralisation TF 10 Gefahrstoffe</p>	<p>Physik TF 2 Absorption, Farbigkeit TF 5 elektrische Ladung TF 11 Sensoren</p>

Abb. 3: Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Chemie“, S. 82-83

2.3 Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung

Das Themenfeld 9 wird, wie jedes Themenfeld des Chemielehrplans, in Form einer Themenfeld-Doppelseite dargestellt. In den einzelnen Rubriken finden sich neben den verbindlichen Teilen auf der linken Seite auch fakultative Elemente rechts.

Themenfeld-Titel		Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung
Intention		
Kompetenzen		Differenzierungsmöglichkeit
Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte	Fachbegriffe	
		Bezüge

Die Planung beginnt mit der Auswahl eines den Intentionen des Themenfeldes entsprechend geeigneten Kontextes. Anregungen dazu geben die Rubriken der Themenfeld-Doppelseite, aktuelle Ereignisse, Medienberichte, regionale Gegebenheiten, die Sammlung in der Schule oder besondere Interessen von Lehrkräften und der Lerngruppe. Ein Kontext ist dann geeignet, wenn er

- einen Ausschnitt aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler darstellt,
- die Intentionen des Themenfeldes transportieren kann,
- Anlass bietet, die Basiskonzepte zu bearbeiten,
- Aktivitäten für die vorgesehene Kompetenzentwicklung ermöglicht,
- in einem angemessenen Zeitrahmen zu bearbeiten ist.

Wichtig ist die Gestaltung der einführenden Lernsituation. Sie soll den Unterricht zügig in die Richtung der vorgesehenen fachlichen Inhalte führen, d. h. die Gedanken und Fragen von Schülerinnen und Schülern in diese Richtung lenken. Nicht alle Äußerungen und Fragen lassen sich sinnvoll in den Chemieunterricht integrieren. Hier steuert die Lehrkraft, um die Inhalte in Beziehung zu anderen Naturwissenschaften und zu gesellschaftlichen Belangen zu setzen und gleichzeitig ein Ausufern zu verhindern.

Konkrete einführende Lernsituationen können sein:

- Die Situation: „Wir sind ein Untersuchungslabor und bekommen Aufträge“ („Untersuchungsaufträge“ im Sinne von „Fällen“)
- Die Medien berichten über ein Ereignis, das wir genauer erforschen wollen.
- Wir wollen einen Schulteich oder ein Aquarium einrichten oder untersuchen.

Besonders interessant für den Chemieunterricht sind die Äußerungen und Fragen, die durch die Weiterentwicklung des konzeptionellen Verständnisses analytischer Verfahren erläutert, erklärt oder beantwortet werden können. Soweit wie möglich können Schülerinnen und Schüler an der Identifizierung der zu bearbeitenden Inhalte mitwirken.

Daraus ergibt sich die Motivation, diese Inhalte zu erarbeiten, d. h. Informationen zu beschaffen, zu experimentieren, Erklärungszusammenhänge herzustellen usw.

Konkret: Schülerinnen und Schüler können vorschlagen,

- herauszufinden, welche Stoffe man untersucht, um eine Aussage über die Qualität eines Wassers/Gewässers machen zu können.
- Wasser selbst zu untersuchen und die Untersuchungsmethoden zu erarbeiten.

Das Ergebnis der Planung kann eine Übersicht sein. Exemplarisch dargestellt ist der Zusammenhang zwischen möglichen Fragen aus dem Kontext heraus und dem fachlichen Inhalt des Themenfeldes.

Kontextfragen zur Erschließung	Fachlicher Inhalt
Welche Stoffe sucht man?	Bei Wasseruntersuchungen häufig: pH, Leitfähigkeit, Sauerstoff, CO ₂ , Nitrit, Nitrat, Ammonium, Phosphat, Chlorid, Sulfat, Eisen, Kupfer u.v.a.
Weshalb gerade diese Stoffe?	erwünschte und unerwünschte Stoffe, Verschmutzungen, Gesundheit
Wo kommen diese Stoffe her?	natürliche und technische Prozesse Biologie: Stoffwechselfvorgänge, Stoffkreisläufe in Ökosystemen
Welche Messwerte sind zu erwarten?	Grenzwerte
Welche Messwerte sind erlaubt?	Mineral- und Tafelwasserverordnung (MTVO)
Wie „messe“ ich diese Stoffe?	Kolorimetrie, Maßanalyse, Chromatografie
Wie funktionieren die Messmethoden?	Prinzipien von Analyseverfahren
Wer führt solche Untersuchungen durch?	Berufe im Labor: Technische Assistenten, Laboranten, Chemie-Ingenieur, Chemiker ...
...	

Bei der Gestaltung der Erarbeitungsphasen achtet die Lehrkraft auf den Zusammenhang zum Kontext, auf die Möglichkeit zur Kompetenzentwicklung für alle Schülerinnen und Schüler und nutzt die Differenzierungsvorschläge der Themenfeld-Doppelseite. Absprachen mit den Lehrkräften anderer Fächer werden durch die Rubrik „Bezüge“ erleichtert.

Kompetenzen

Die folgende Übersicht zeigt einige Zusammenhänge zwischen den unterrichtlichen Aktivitäten und den Kompetenzbereichen.

Die Schülerinnen und Schüler können ...		TF 9	Schülerinnen und Schüler ...
... naturwissenschaftliche Konzepte zur Problemlösung nutzen.	Umgang mit Fachwissen	■	... wenden geeignete qualitative und quantitative Verfahren bei der Wasseranalytik an.
... mit Geräten, Stoffen, Verfahren umgehen.		■	
... Fachwissen strukturieren und Erklärungszusammenhänge herstellen.		■	
... naturwissenschaftlich untersuchen, experimentieren.	Erkenntnisgewinnung	■	... wechseln Darstellungsformen bei Verwendung von Messwerten, Diagrammen, Tabellen.
... modellieren.			
... naturwissenschaftliche Erkenntnisse bzw. den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess reflektieren.		■	
... Informationen sachgerecht entnehmen.	Kommunikation	■	... erfassen Prinzipien von qualitativen und quantitativen Testverfahren zur Wasseruntersuchung.
... sach- und adressatengerecht präsentieren und dokumentieren.		■	
... naturwissenschaftlich argumentieren und diskutieren.			
... Bewertungskriterien festlegen und anwenden.	Bewertung		... wenden das Wissen über Messverfahren und Messgenauigkeit zur Planung von Experimenten an.
... Handlungsoptionen erkennen und aufzeigen.		■	
... Sachverhalte naturwissenschaftlich einordnen und (multiperspektivisch) bewerten.		■	
			... wenden das Wissen über Messverfahren und Messgenauigkeit an zur kritischen Beurteilung von Angaben auf Etiketten, in Medien.
			... verwenden Daten aus Wasseranalysen in verschiedenen Problemstellungen.

Abb. 4: Kompetenzentwicklung im Themenfeld 9

Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe

Da die Basiskonzepte in diesem Themenfeld eher genutzt als weiter entwickelt werden, spricht man hier besser von konzeptionellem Verständnis in Bezug auf analytische Verfahren.

- Verschiedene Stoffe können mit bestimmten, dazu passenden Verfahren identifiziert und quantitativ erfasst werden. (SEF)
- Bei der Auswahl eines Analyseverfahrens für einen bestimmten Zweck sind Kriterien wie Messgenauigkeit und Nachweisgrenze zu beachten. (SEF)

Drei verschiedene Verfahren sind vom Lehrplan vorgesehen:

- Die Maßanalyse eignet sich für Stoffe, die mit einem anderen Stoff bekannter Konzentration gerade vollständig reagieren. (CR)
- Kolorimetrische Bestimmungen eignen sich für Stoffe, die farbig sind oder sich in farbige Stoffe überführen lassen. (SEF)
- Chromatografische Verfahren nutzen unterschiedliche Löslichkeiten im Laufmittel und verschieden starke Adsorption an einer stationären Phase zur Trennung von Stoffgemischen. (SEF)

Wichtige Fachbegriffe zur Auswahl geeigneter Verfahren und zum Verständnis analysierter Daten sind Konzentration, Grenzwert, Nachweisgrenze und Messgenauigkeit. Sie sind im Kapitel 3 „Zu den Lerneinheiten“ erläutert.

Zusammentragen, Reflektieren, Anwenden

Zum Abschluss der Erarbeitung werden die Ergebnisse zusammengetragen und der Arbeitsprozess reflektiert.

Konkret: Schülerinnen und Schüler

- verfassen Antwortschreiben zu den „Fällen“, die das „Analytiklabor“ als Aufträge erhielt.
- schreiben einen Bericht über den Zustand eines Gewässers und informieren damit offizielle Stellen.
- berichten in der Schülerzeitung über das Schulaquarium.

Um Sicherheit und Selbstvertrauen zu gewinnen ist es wichtig, dass Schülerinnen und Schüler die neu gewonnenen Konzepte und Kompetenzen anwenden. Für diesen Schritt eignen sich angemessene Aufgaben (Kapitel 4.1 Üben und Vernetzen).

Konkret: Schülerinnen und Schüler können

- nach der exemplarischen Bearbeitung einzelner Fälle verallgemeinern, welche Parameter mit welchen Messverfahren zu analysieren sind.
- Messgeräte gezielt einsetzen, um Werte mit der notwendigen Genauigkeit zu ermitteln.

Im Rahmen der Dekontextualisierung wenden die Schülerinnen und Schüler ihr Wissen in neuen Zusammenhängen an und verankern es nachhaltig. Die Anwendung von Wissen erfolgt herausgelöst aus dem ursprünglichen Kontext und wird so zu Konzeptwissen.

Konkret:

Ausgehend von Kenntnissen über Gewässer als Lebensraum können Schülerinnen und Schüler Veröffentlichungen der Stadtwerke zur örtlichen Trinkwasserqualität sinnerfassend lesen und bewerten.

2.4 Überblick über die Kontexte des Themenfeldes

Die Umsetzung des Themenfeldes erfolgt mittels schülernaher, lebensweltlicher **Kontexte**. Jeder Kontext ist spezifisch gegliedert und in der Lage, die Intentionen des Themenfeldes umzusetzen. Die Vorgaben des Lehrplans im Bereich der Kompetenzen und der Konzepte lassen sich in **Lerneinheiten** gliedern. Dabei entstehen diese „Einheiten“ insbesondere durch die Zugehörigkeit zu einem bestimmten fachlichen Konzept.

In der praktischen unterrichtlichen Umsetzung ergibt sich, dass die Inhalte der hier vorgestellten Lerneinheiten nicht zwingend zeitlich aufeinanderfolgend behandelt werden müssen. Im Rahmen der Betrachtung verschiedener Kontexte kann es sinnvoll sein, die Inhalte der verschiedenen Lerneinheiten in einer veränderten und in Bezug auf den jeweiligen Kontext angepassten Reihenfolge zu unterrichten.

Die Grafik zeigt Zugangsmöglichkeiten zur Planung des Themenfeldes, ausgehend von verschiedenen Kontexten. Der gewählte Kontext beinhaltet, genau wie alle Alternativen, die ausgewiesenen Schwerpunkte der Konzeptentwicklung und Kompetenzentwicklung. Die rechts abzweigenden Felder stellen mögliche Vertiefungen dar. Im Sinne der Dekontextualisierung wird ein weiterer Kontext gewählt, um erworbene Kompetenzen und Konzepte anzuwenden und zu üben.

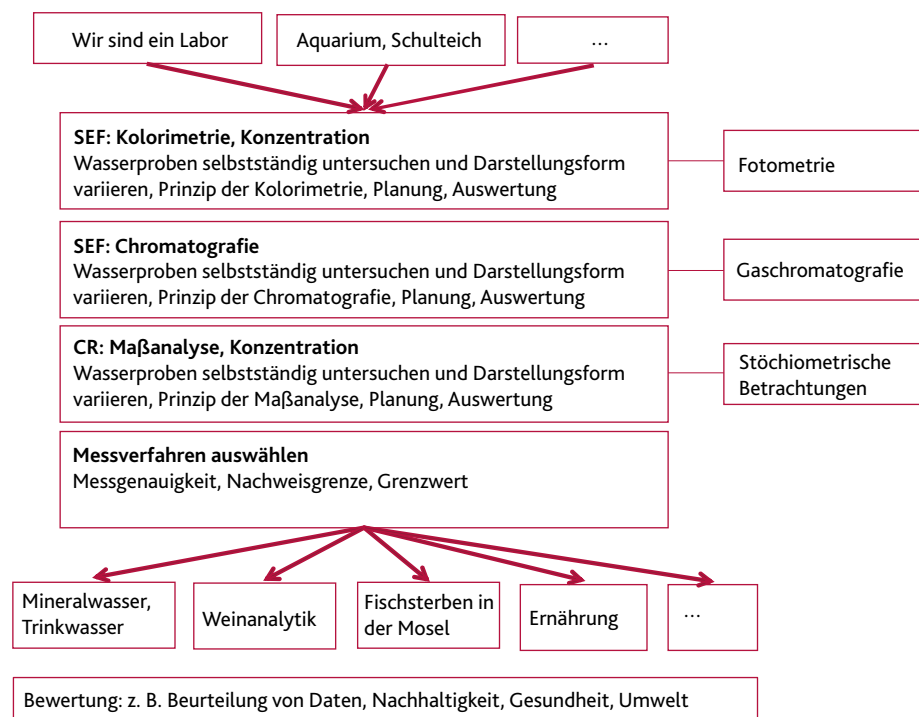


Abb. 5: Struktur des Themenfeldes 9

Stoffebene: Im Hinblick auf die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler und die experimentellen Möglichkeiten in der Schule eignet sich Wasser besonders als Untersuchungsobjekt. Der Bereich „Wasser zum Trinken“ kommt in Frage oder auch „Wasser als Lebensraum“.

Auf der Teilchenebene ergeben sich in beiden Bereichen Kontextfragen, die zur Konzentrationsbestimmung von Ionen führen.

Für die praktische Durchführung von Analysen erscheinen die Lebensräume ergiebiger, weil die Werte, die man dort messen kann, nicht schon vorher bekannt sind (wie z. B. Angaben auf einem Mineralwasseretikett). Aber auch im Bereich Trinkwasser bzw. Mineralwasser bieten sich viele Bezüge an. So lassen sich z. B. Grenzwerte im Zusammenhang mit „Wasser zum Trinken“ besser diskutieren.

Schülerinnen und Schüler sollen selbst Analysen durchführen und sich auch mit den Prinzipien der Testverfahren beschäftigen. Diese Kompetenzen werden genutzt, um Wasseranalysen problemorientiert auszuwerten und auch, um gezielt Experimente zu planen. Dazu gehört auch die Auswahl geeigneter Messverfahren und passender Geräte.

Kontext: Wir untersuchen/etablieren ein Aquarium

Ein Aquarium ist an manchen Schulen vorhanden oder lässt sich leicht, auch als Kurzzeitprojekt, realisieren. Es ist auch für den Biologieunterricht interessant, z. B. wenn es um Ökosysteme und deren nachhaltige Entwicklung oder auch um die Biologie der Fische geht.

Damit „spielt“ die Lerngruppe nicht das Labor, sondern sie „ist“ das Labor, wenn sie die Wasserqualität im eigenen Aquarium untersucht.

Es werden mehrere Faktoren mit einem Auftrag betrachtet, so dass man sich arbeitsteiliges Vorgehen bei der Durchführung der Messungen und bei der Informationsbeschaffung zu einzelnen Faktoren gut vorstellen kann. Evtl. bringen Schülerinnen und Schüler Vorkenntnisse z. B. zum Stickstoffkreislauf und zur Bedeutung von Stickstoffverbindungen im Aquarium aus dem Biologieunterricht mit.

In üblichen Wasseruntersuchungskoffern kommen Kolorimetrie und Maßanalyse in einfachen Varianten vor. Chromatografische Verfahren werden in der Wasseranalytik nur in professionellen Labors angewandt. Unterrichtlich wird es in diesem Kontext also nur um zwei Analyseverfahren gehen.

Es könnten sich folgende Arbeitsschritte ergeben:

Die Klasse soll herausfinden, ob das Wasser für die Fische „in Ordnung“ ist. Diese Situation kann aus einer Anfrage des Fachbereichs Biologie entstehen, von einer Schülerin/einem Schüler, die/der ein Aquarium hat usw.

Die erste Erkenntnis ist, dass man die Wasserqualität an bestimmten (messbaren) Parametern festmachen muss, um zu einer Aussage zu kommen. Auf der Suche nach geeigneten Parametern wird die Lerngruppe schnell auf Wasseruntersuchungskoffer oder -sets stoßen, die die Materialien zur Messung bestimmter Parameter bereitstellen.

Zur Ermittlung von Messwerten muss die Anleitung sinnerfassend gelesen und umgesetzt werden. Durch vergleichende Messungen mehrerer Gruppen werden mögliche Fehler aufgedeckt und diskutiert. Die gemessenen Werte werfen eine Reihe von Fragen auf: Was bedeuten diese Werte für die Wasserqualität? Welche Werte sind normal? Wie genau stimmen diese Werte? Warum sind die Werte z. B. zu hoch? Wie kann man sie verringern? Etwas weiter reicht die Frage nach der Funktionsweise der Messverfahren.

Unterrichtlich schließen sich die Recherche oder Information über einzelne Parameter und ihre Zusammenhänge an.

Darüber hinaus bietet sich die Gelegenheit, verschiedene Messverfahren zu einem Parameter hinsichtlich der Genauigkeit und weiterer Kriterien zu vergleichen, z. B. durch die Messung des pH-Werts mit verschiedenen Gerätschaften.

Abschließend ist den Schülerinnen und Schülern eine bewertende Aussage zu den gemessenen Werten möglich. Dabei wird die Bedeutung von Grenzwerten bei der Bewertung der gefundenen Messwerte wichtig. Für Aquarienwasser gibt es keine Grenzwerte. Dieser Begriff wird in einer anderen Problemfrage erarbeitet und definiert, z. B. im Zusammenhang mit Trink- oder Mineralwasser.

Die Begriffe Messbereich und Nachweisgrenze werden relevant, wenn Testmaterialien verwendet werden, die nicht speziell für die Untersuchung eines Aquariums entwickelt sind. Deutlich wird dies z. B. bei der Konzentration von Kupfer-Ionen, wenn eine Fischkrankheit (Samtkrankheit) mit Kupfersalzen behandelt wurde.

In der nächsten Phase werden die angewandten Verfahren der Maßanalyse und der Kolorimetrie erarbeitet und mit modellhaften Darstellungen veranschaulicht. Schülerinnen und Schüler lernen, wie es prinzipiell möglich ist, chemische Reaktionen für quantitative Untersuchungen zu nutzen. Darüber hinaus können sie dieses Wissen nutzen, um einer weiterführenden Frage nachzugehen. Sie können z. B. eine experimentelle Untersuchung zu der Frage planen, ob eine zu reichliche Futtergabe den Fischen schadet.

Die Untersuchung eines Aquariums lässt sich auch als Fall im Sinne des Kontextes „Wir sind ein Analytiklabor“ bearbeiten.

Kontext „Wir sind ein Analytiklabor“

Ziel ist es, Schülerinnen und Schüler in die Situation zu versetzen, als Klasse ein Analytiklabor zu simulieren und sich realen bzw. fiktiven Fällen zu widmen.

Aktuelle Diskussionen z. B. in den Medien oder regionale Bezüge zu Umweltuntersuchungen sind zu bevorzugen, da sie als authentische Kontexte meist höhere Motivation erzeugen. Über die Konstruktion der Fälle steuert die Lehrkraft den Unterricht: Die Komplexität der Aufgabe, die Anzahl der angefragten Parameter (Zeitaufwand), die Informationen zu den Untersuchungsmethoden usw.

Die Klasse bekommt Fälle von Betrieben oder Bürgern, die ein Problem mithilfe von Untersuchungen in einem Analytiklabor gelöst haben möchten. Jeder Fall hat etwas Exemplarisches (die angewandte Untersuchungsmethode) und ganz Spezielles (seine Eignung zur Kompetenz- oder Konzeptentwicklung).

Beispiele:

Untersuchungsauftrag: Ist unser Trinkwasser für Säuglingsnahrung geeignet?	
Methode: Kolorimetrie (LE 1)	Parameter: Nitrat-Gehalt
Beschreibung: Dieser „Fall“ ist geeignet, um	
exemplarisch	
<ul style="list-style-type: none"> • eine kolorimetrische Messung praktisch-technisch durchzuführen, • den Konzentrationsbegriff mithilfe der Farbintensität unbekannter Lösungen mit Lösungen bekannter Konzentrationen zu erarbeiten (halbquantitativ), • ein angemessen tiefes Verständnis für das Untersuchungsverfahren (Modellebene) zu erwerben, 	
speziell	
<ul style="list-style-type: none"> • bei der Auswahl von Test-Sets Messgenauigkeit, Messbereiche und Abstufung zu diskutieren, • bei der Bewertung der gefundenen Messwerte die Bedeutung von Grenzwerten als verhandel- und veränderbare politische Werte zu erkennen. 	

Untersuchungsauftrag: Nutzen EntkalkungsfILTER bei der Enthärtung unseres Wassers?	
Methode: Maßanalyse (LE 3)	Parameter: Gesamthärte
Beschreibung: Dieser „Fall“ ist geeignet, um	
exemplarisch	
<ul style="list-style-type: none"> • eine Maßanalyse mit einem Test-Set oder eine komplexometrische Titration praktisch-technisch durchzuführen, • den Konzentrationsbegriff und das Prinzip der quantitativen Analyse zu thematisieren (im allgemeinen Sinn einer 1:1-Reaktion relevanter Teilchen), 	
speziell	
<ul style="list-style-type: none"> • zur Entwicklung von Planungskompetenz den Untersuchungsauftrag zu erweitern: Ab welcher Nutzungshäufigkeit muss der Filter gewechselt werden? Welcher EntkalkungsfILTER ist „Testsieger“? 	

Die Erarbeitung der drei Verfahren (Kolorimetrie, Chromatografie, Maßanalyse) erscheint so anspruchsvoll, dass sie in der Regel lehrergesteuert nacheinander erfolgt.

Daran anschließend können Kleingruppen selbstständig verschiedene neue Fälle bearbeiten, die von der Lehrkraft vor dem Hintergrund der Leistungsfähigkeit gestaltet werden.

Im Vergleich zum Kontext Aquarium ist es hier sinnvoll, zunächst die Prinzipien des Untersuchungsverfahrens zu erarbeiten und erst im Anschluss den ausgewählten Parameter experimentell zu ermitteln.

Durch den „Fall“ angelegt, wird es bereits vor der konkreten Messung notwendig, die Bedeutung des zu messenden Stoffes zu erfassen, die Relevanz von Nachweisgrenzen und Messgenauigkeit zu berücksichtigen und ggf. auch Grenzwerte zu beachten. Die Klärung dieser Begriffe trägt dazu bei, bereits bei der Vorbereitung der Untersuchung die Anforderungen an ein auszuwählendes Messgerät bzw. Untersuchungsdesign zu klären. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse ist durch diese Vorbereitung zügig möglich.

In einigen Fällen wird die Kompetenz, eine experimentelle Untersuchung zu planen, weiterentwickelt (z. B. Wirksamkeit eines Wasserenthärters).

Die auf die „Untersuchung“ folgende abschließende Bewertung im „Antwortschreiben“ stellt eine sinnvoll eingebettete Ergebnissicherung dar. Ggf. wird auch eine vom Auftraggeber gewünschte Handlungsempfehlung ausgesprochen.

Mögliche Vertiefungen: Mit leistungsstarken Lerngruppen können Auswertungen auf der Basis der Stoffmengenkonzentration erfolgen. Vertiefend zur Kolorimetrie kann die Fotometrie angewandt werden. Ggf. können andere Stoffe (als die im Lehrplan ausgewiesenen Ionen) untersucht werden.

Dieses Unterrichtssetting besitzt die didaktisch-methodische Stärke, sehr flexibel in Bezug auf die Auswahl und Anzahl der Parameter, der Analyseverfahren, der Messgeräte und weitergehender Fragestellungen zu sein. Darüber hinaus ermöglicht dieser Unterrichtsgang, tagesaktuelle Themen aufzugreifen.

2.5 Differenzierungsmöglichkeiten

Die unter dieser Rubrik in der Lehrplan-Doppelseite gegebenen Hinweise beziehen sich sowohl auf unterschiedlich leistungsstarke Lerngruppen als auch auf das leistungsdifferenzierte Arbeiten innerhalb einer Lerngruppe. Der mit „G“ gekennzeichnete Abschnitt reduziert das Themengebiet auf ein grundlegendes Verständnis, der mit „V“ gekennzeichnete Abschnitt zeigt mögliche Vertiefungen und Erweiterungen, um leistungsstärkeren Schülerinnen und Schülern gerecht zu werden.

In jedem Kontext zum Themenfeld 9 passt die Lehrkraft den Unterricht in Bezug auf die Eindringtiefe an.

Grundverständnis: Weniger leistungsstarke Schülerinnen und Schüler erwerben Grundkenntnisse über Analytik in einem Kontext, der einfache Beispiele in den Fokus rückt (z. B. an einem „Fall“, bei dem es um den Nachweis von Nitrat-Ionen mit Teststäbchen geht). Die Funktionsweise der Untersuchungsverfahren wird auf eine einfache Beschreibung reduziert und möglichst mit zusätzlichen Materialien veranschaulicht.

Vertiefung: Vertiefungen sind möglich durch komplexere Kontexte, bei denen mehrere Faktoren zu betrachten sind. Sie erfordern die abstraktere Betrachtung der Analyseverfahren, die selbstständigere, intensivere Beschäftigung mit der praktisch-technischen Durchführung (z. B. Kalibrierung) oder eine Erweiterung der Betrachtungen auf andere Stoffklassen (z. B. Zucker, Alkohol, organische Verschmutzungen). Mineralwässer bieten Anknüpfungsmöglichkeiten zur Bearbeitung von Elementfamilien und für stöchiometrische Betrachtungen.

3 ZU DEN LERNEINHEITEN

Die im Kapitel 2.4 vorgeschlagenen Kontexte lassen sich in Lerneinheiten gliedern. Sie entstehen insbesondere durch die Zugehörigkeit zu einem fachlichen Konzept bzw. durch eine systematische, fachliche Betrachtung. In der unterrichtlichen Umsetzung ergibt sich, dass die Inhalte der hier vorgestellten Lerneinheiten nicht zwingend zeitlich aufeinanderfolgend behandelt werden müssen. Es kann sinnvoll sein, die Inhalte der verschiedenen Lerneinheiten in einer veränderten und in Bezug auf den jeweiligen Kontext angepassten Reihenfolge zu unterrichten.

Im Zentrum einer jeden Lerneinheit steht die Anwendung von Konzepten und Kompetenzen.

Lerneinheiten		Schwerpunkt der Konzeptentwicklung	Schwerpunkt der Kompetenzentwicklung
1	Kolorimetrie	Struktur-Eigenschaft-Funktion	Umgang mit Fachwissen Erkenntnisgewinnung Kommunikation
2	Chromatografie	Struktur-Eigenschaft-Funktion	Umgang mit Fachwissen Erkenntnisgewinnung Kommunikation
3	Maßanalyse	Chemische Reaktion	Umgang mit Fachwissen Erkenntnisgewinnung Kommunikation
4	Messverfahren auswählen, Messgenauigkeit, Nachweisgrenze, Grenzwert		Umgang mit Fachwissen Erkenntnisgewinnung Bewertung

Nach den im Lehrplan für das Themenfeld 9 festgelegten Schwerpunkten der Konzept- und Kompetenzentwicklung ergeben sich diese vier Lerneinheiten, die grundsätzlich auf jeden vorgeschlagenen Kontext anwendbar sind.

Die unterrichtliche Abfolge der Lerneinheiten richtet sich nach der Sachlogik in der Beantwortung der auftretenden Fragen und kann daher von der numerischen Folge abweichen.

Die Lerneinheit 4 ermöglicht zu Beginn der Unterrichtsreihe eine Problematisierung und provoziert die Sachfragen, die in der Erarbeitung von Fachwissen münden. Nach der Bearbeitung von fachlichen Inhalten können die gewählten und ähnlichen Fragen fachlich fundierter beantwortet werden (Grenzwert, erwarteter Messwertebereich, Ursachen und Folgen eines Messwertes sowie mögliche Gegenmaßnahmen). Die in den folgenden Tabellen vorgestellten Lerneinheiten enthalten jeweils entsprechende Materialien, mit denen sie umgesetzt werden können. Nach der Vorstellung der Lerneinheiten schließen sich zwei exemplarische Unterrichtsgänge (Kapitel 4.2) an.

3.1 Lerneinheit 1: Kolorimetrie, Konzentration

LE 1: Kolorimetrie, Konzentration		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept
Einführende Lernsituationen: Fälle wie z. B. Kupfer, Nitrat, Ammonium Wasser aus dem Schulteich, einem Fluss oder See, dem Schulaquarium soll untersucht werden Tagesaktueller Medienbericht zu Wasser und/oder Gewässern		
Schülerinnen und Schüler ...		
... wenden geeignete qualitative und quantitative Verfahren bei der Wasseranalytik an.	... führen kolorimetrische Wasseranalysen durch.	Kolorimetrie
... wechseln Darstellungsformen bei Verwendung von Messwerten, Diagrammen, Tabellen.	... stellen erhobene Messwerte tabellarisch und grafisch dar.	
... erfassen Prinzipien von qualitativen und quantitativen Testverfahren zur Wasseruntersuchung.	... erklären das Prinzip der Kolorimetrie. ... erstellen Skizzen zur Kolorimetrie (Versuchsaufbau).	Konzentration
Material/Medien		
Aquarium	Fälle	
LE1_LE3_ChemAnalyse_Karten	LE1_Kupfer_Fall	
LE1_LE3_Aq_JBL_Sollwerte und Messwerttabelle	LE1_Kupfer_Info und SV	
LE1_LE3_Aq_JBL_Messewerte verbessern	LE1_Nitrat_Fall	
LE1_LE3_Aq_App_ProScan_JBL_Anleitung	LE1_Nitrat_Info und SV	
	LE1_Ammonium_Fall	
	LE1_Ammonium_Info und SV	
LE1_LE3_Rezensionen Wasseruntersuchungskoffer		
LE1_Exp_Modell_Konzentration		
LE1_Von der Farbe zur Zahl		

- Ein Schwerpunkt in dieser Lerneinheit ist die praktisch-technische Kompetenz, eine kolorimetrische Messung mit einer wässrigen Lösung durchzuführen und einen Wert zu ermitteln.
- Dazu gehört auch eine Konzentrationsangabe. Bei käuflichen Testsätzen findet man häufig die Einheit mg/L, auf die Einheit mol/L wird meist verzichtet.
- Darüber hinaus geht es um ein angemessen tiefes Verständnis des Verfahrens der Kolorimetrie.

Eine Messung durchführen

Möglich sind einfache Untersuchungen mit Teststäbchen, halbquantitative kolorimetrische Methoden oder, vertiefend für besonders leistungsstarke Gruppen, Untersuchungen mit Schüler-Fotometern.

Bei der Auswahl eines Test-Sets muss der jeweilige Messbereich und die Abstufung beachtet werden. Für einige Anwendungen gibt es speziell entwickelte Test-Sets oder Wasseruntersuchungskoffer.

Messbereich:

0,5 – 50,0 mg/L

Abstufung:

0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 15 – 30 – 50



Abb. 6: Test-Set Nitrat von Tropic Marin

Eine interessante Variante eines Test-Sets stellen Teststäbchen dar, die mit einer App auf einem Smartphone oder Tablet ausgewertet werden. Im Onlinematerial sind eine kurze Anleitung und Fotos von der Durchführung für die App ProScan der Firma JBL GmbH & Co. KG verfügbar.



Abb. 7: Messung mit der App ProScan

Zur Wasseranalytik gibt es auf dem Markt vielfältige Produkte verschiedener Hersteller, die je nach Verfahren und Messgenauigkeit im Preis stark schwanken. Das Onlinematerial enthält eine kommentierte Zusammenstellung von schulrelevanten Untersuchungskoffern. Da es von der Firma JBL GmbH & Co. KG auch einen klassischen Wasseruntersuchungskoffer gibt, bietet sich ein Methodenvergleich für Schülergruppen an.

Methodenvergleich: Wasseruntersuchungskoffer und Teststäbchen mit App-Auswertung

Schülerinnen und Schüler sollten beide Methoden soweit beherrschen, dass mehrere Messungen des gleichen Wassers zu gleichen Ergebnissen führen. Damit stellen sie die Reproduzierbarkeit der gewonnenen Daten sicher. Dabei kann helfen,

- Informationstexte zu nutzen,
- dasselbe Teststäbchen mit drei verschiedenen Smartphones oder Tablets zu fotografieren,
- dasselbe Teststäbchen nach einer Minute (der vorgesehenen Zeit), nach zwei Minuten und nach zehn Minuten zu fotografieren (damit wird deutlich, dass die vorgesehene Zeit genau eingehalten werden muss),
- dasselbe Wasser dreimal mit den Lösungen im Koffer zu untersuchen.

Um beide Methoden vergleichen zu können, wird dasselbe Wasser...

- mit Teststäbchen und App und
- mit Lösungen aus dem Wasseruntersuchungskoffer untersucht.

Über den Vergleich der reinen Zahlenwerte hinaus entwickelt dieser Vergleich Bewertungskompetenz hinsichtlich der Messgenauigkeit. Für beide Methoden wird die Abstufung der Werte betrachtet. Weitere Vergleichskriterien können Zeitaufwand, Kosten, Abfallentsorgung u. a. sein.

Um sich zunächst mit den Grundlagen der Kolorimetrie vertraut zu machen, erscheinen Test-Kits mit Reagenzien geeigneter. Sollen nach der Erarbeitung des Prinzips der Kolorimetrie über einen längeren Zeitraum Untersuchungen durchgeführt werden, sparen die Teststäbchen mit App-Auswertung für die vielen Messungen Zeit und für die Reagenzien Kosten. Außerdem stellt die unterrichtliche Nutzung der App eine Bereicherung im Hinblick auf die digitale Bildung dar.

Die App ProScan der Firma JBL GmbH & Co. KG und der entsprechende Wasseruntersuchungskoffer werden vorgestellt und diskutiert in: Rodigast, K., Kallfelz, M.: Sieben auf einen Streich – Wasseranalyse auf AppWegen, Friedrich-Verlag, Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht 5-10, Heft 19 (2017), Seite 16-17.

Zum Konzentrationsbegriff

Auf der Stoffebene:

Der Konzentrationsbegriff ist möglicherweise aus dem TF 6 (Säuren und Laugen) bekannt. Wo eine Erarbeitung des Begriffs notwendig erscheint, erfolgt dies zunächst auf der Stoffebene. Dazu stellen Schülerinnen und Schüler farbige Lösungen unterschiedlicher Konzentration her und verändern Konzentrationen durch Zugabe von Lösungsmittel oder durch Zugabe des farbigen Stoffes.

Auf der Teilchenebene:

Zur Erklärung stellen Schülerinnen und Schülern dreidimensionale Modelle mit Holzperlen, Wattekugeln, Kieselsteinen u. a. her.



Abb. 8: Teilchenebene – Erhöhung der Konzentration durch Zugabe von farbigem Stoff



Abb. 9: Teilchenebene – Erniedrigung der Konzentration durch Zugabe von Lösungsmittel

Auch ein 3D-Modell mit Standzylindern ist geeignet. Nachteilig ist, dass manche der Kugeln verdeckt sind und nur schwer nachgezählt werden können.

Die nachfolgenden zweidimensionalen Darstellungen lassen sich leicht in verschiedene Aufgabenstellungen integrieren, z. B. Bilder nach steigender Konzentration ordnen, Stoff- und Teilchenebene zuordnen, eine Legende erstellen usw. (siehe Onlinematerial). Das Berechnen von „Konzentrationen“ an Kugeln ist hier nicht zielführend. Die beiden Modellbildreihen der Stoff- und Teilchenebene sind nur qualitativ analog.

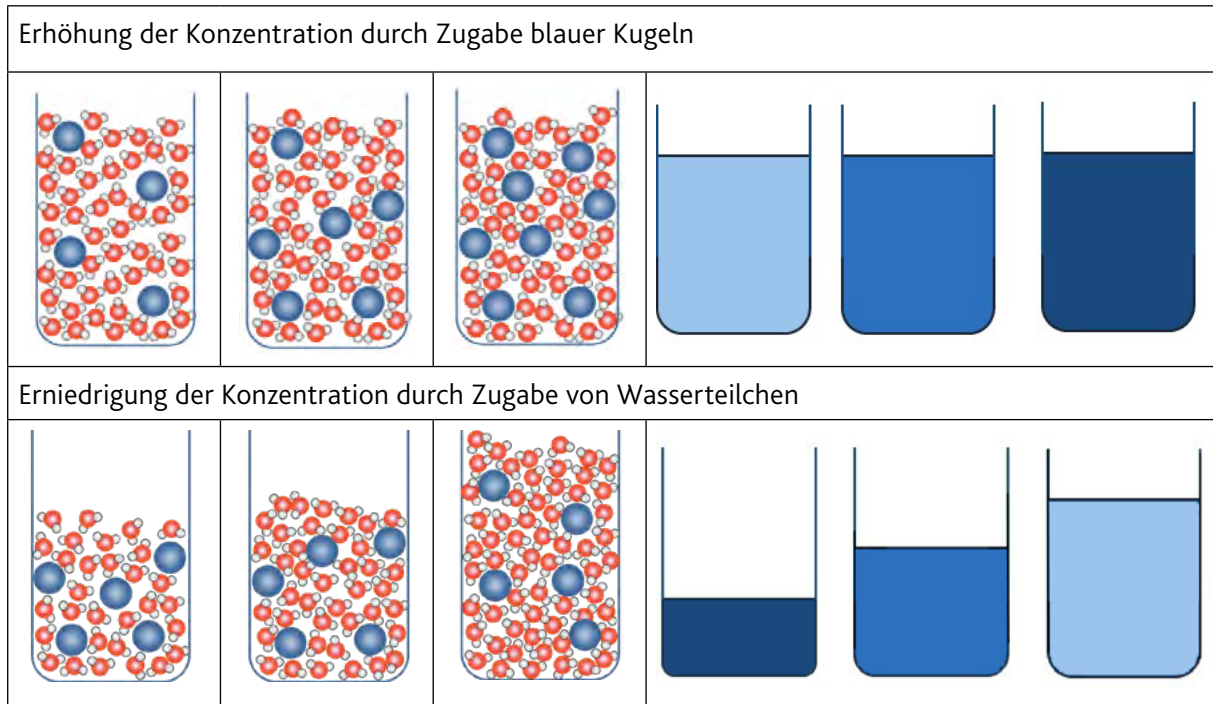


Abb. 10: Stoff- und Teilchenebene zum Konzentrationsbegriff

Das Messverfahren

Das Prinzip der Kolorimetrie

Manche Stoffe bilden farbige Lösungen oder lassen sich durch geeignete chemische Reaktionen in farbige Verbindungen überführen. Die Konzentration solcher Stoffe kann durch den visuellen Vergleich der Farbintensität mit der Farbintensität von Lösungen mit bekannter Konzentration bestimmt werden. Diese halbquantitative Methode der Analyse heißt Kolorimetrie. Bereichen der Farbintensität ist jeweils eine ungefähre Zahlenangabe für die Konzentration zugeordnet.

Kolorimetrie in der Schule

Viele der käuflichen Wasseruntersuchungskoffer und Test-Sets arbeiten mit diesem Verfahren. Bei der Durchführung einer solchen Untersuchung erfassen Schülerinnen und Schüler schon intuitiv, wie es funktioniert.

Zwei Küvetten werden nebeneinander in einem „Komparator“ über die Farbkarte geschoben. In der einen Küvette (B) befindet sich das zu untersuchende Wasser ohne weitere Zusätze, in der anderen Küvette (A) ist das zu untersuchende Wasser mit den Reagenzien, so dass eine farbige Lösung entsteht. Die Konzentration des Stoffes im Wasser entspricht der Konzentrationsangabe auf der Farbkarte, bei der die Farbe in beiden Küvetten gleich erscheint.

Den Farbvergleich mit einer Verdünnungsreihe können die Schülerinnen und Schüler auch mit haushaltsüblichen Stoffen nachstellen.

Propädeutisch legt die Lehrkraft den Gedanken einer Kalibrierung an, indem sie eine Konzentrationsreihe erstellt oder erstellen lässt und die Farben fotografiert und „abdruckt“. Eine Lösung unbekannter Konzentration lässt sich in diese Reihe einordnen.



Abb. 11: Anleitung und Farbkarte zur Bestimmung des Phosphat-Gehalts aus dem Testlab der Firma JBL

Modellversuch – Von der Farbe zur Zahl

Farbvergleiche ermöglichen ein Verständnis für die Methode an sich. Um den Weg von einer sichtbaren Farbintensität zu einer Zahl zu erarbeiten, eignet sich ein einfacher Modellversuch mit Lampe, Küvette mit Blende und Luxmeter (Fotozelle und digitale Anzeige). Dabei wird im Sinne einer didaktischen Reduktion mit weißem Licht gearbeitet und die Verdunkelung durch einen gelösten Stoff gemessen (siehe Onlinematerial)



Abb. 12: Einfaches „Fotometer“

Schülerinnen und Schüler erstellen selbst eine Schemazeichnung zu dem Experiment und formulieren eine „Je ..., desto ...“ -Beziehung. Z. B.: Je höher die Konzentration des gelösten Stoffes, desto weniger Licht kommt am Luxmeter an, es zeigt also einen kleinen Wert für die gemessene Lichtintensität. Vereinfachend kann ein weißer Bildschirm ein Luxmeter ersetzen. Dann verursacht eine hohe Konzentration eines farbigen Stoffes einen dunklen Schatten.



Abb. 13: Schemazeichnung zum Modellversuch

Wo die Voraussetzungen gegeben sind, ist auch die Arbeit mit einem Fotometer denkbar.

Das Prinzip der Fotometrie

Kolorimetrische Methoden werden durch fotometrische ersetzt, wenn genauere quantitative Aussagen notwendig sind. Dabei werden konkrete Zahlenwerte ermittelt.

Fotometer arbeiten mit Licht einer bestimmten Wellenlänge, die zur Untersuchung eines bestimmten Stoffes besonders geeignet ist.

In der Küvette befindet sich der zu untersuchende Stoff in einem Lösungsmittel. Der Detektor misst die Lichtintensität als Extinktion und gibt sie digitalisiert als Messwert aus. Diese Extinktion wird verglichen mit der des reinen Lösungsmittels.

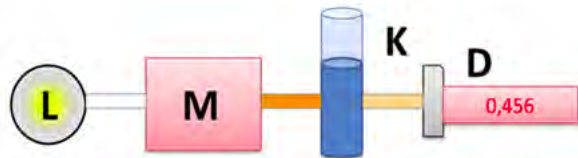


Abb. 14: Prinzip der Funktionsweise eines Fotometers (L/Lichtquelle, M/Monochromator, K/Küvette, D/Detektor mit Anzeigegerät)

Zur Kalibrierung ist es nötig, mit Lösungen bekannter Konzentrationen und den dazugehörigen gemessenen Extinktionen eine Gerade (üblicherweise Eichgerade genannt) zu erstellen.

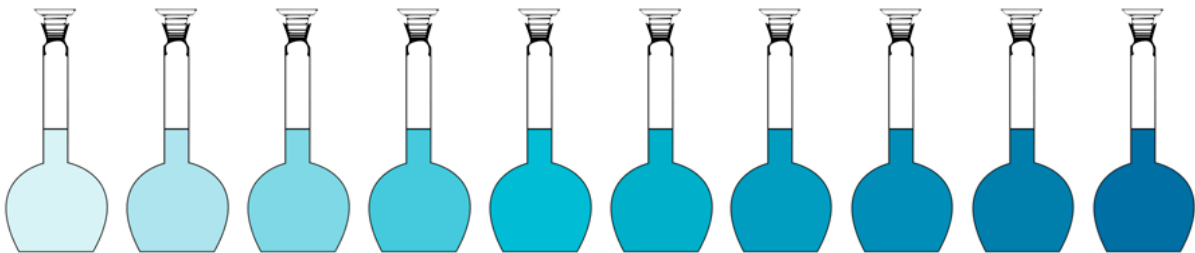


Abb. 15: Konzentrationsreihe zur Erstellung einer Eichgerade

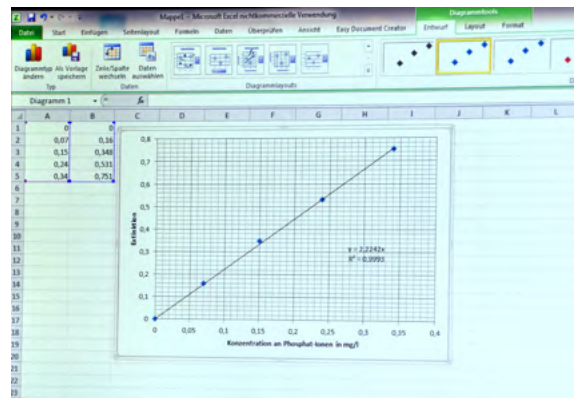


Abb. 16: Fotometrische Messung mit Extinktionsmessung bei einer Konzentrationsreihe und Eichgerade mit Excel erstellt

Filterfotometer

Für Gewässeruntersuchungen unter Schulbedingungen sind Filterfotometer eine gute Möglichkeit. Durch Farbfilter in einer Wählscheibe wird für die verschiedenen Parameter die jeweils optimale Wellenlänge bereitgestellt. Bei manchen Modellen sind Lichtquelle und Farbfilter bei einem Blick in den Küvetten-Schacht zu sehen. Die Messungen werden in kurzer Zeit und sehr genau durchgeführt. Die Geräte sollten mit Batterie oder Akku ausgestattet sein, damit sie für Freilanduntersuchungen einsetzbar sind. Eichkurven sind im Gerät hinterlegt. Fotometer werden im Lehrmittelbedarf und im Elektronik-Fachhandel angeboten.

<https://www.der-hedinger.de/wasseruntersuchungen/fotometer/>

<https://www.conrad.de/de/soell-kombi-messgeraet-silizium-ph-wert-phosphat-nitrit-nitrat-kupfer-chlor-fluorid-kalibriert-nach-werksstandard-103050.html>

https://www.pce-instruments.com/deutsch/messtechnik/messgeraete-fuer-alle-parameter/%20photometer-kat_10089_1.htm

Für Smartphones und Tablets sind diverse Fotometrie-Apps verfügbar, die für Routineuntersuchungen ihre Berechtigung haben. Sie lenken möglicherweise von der hier zu bearbeitenden Kolorimetrie ab. Es besteht die Gefahr, dass mehrere Denkschritte übersprungen werden.

3.2 Lerneinheit 2: Chromatografie

LE 2: Chromatografie – Durchführung, Prinzip, Planung, Auswertung		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept
Einführende Lernsituationen: Fälle wie z. B. Scheckbetrug, Kool Aid, Feuerzeugbenzin Besuch in einem Untersuchungslabor Tagesaktueller Medienbericht zu Wasser und/oder Gewässern		
Schülerinnen und Schüler ...		
... wechseln Darstellungsformen bei Verwendung von Messwerten, Diagrammen, Tabellen. ... erfassen Prinzipien von qualitativen und quantitativen Testverfahren zur Wasseruntersuchung.	... stellen erhobene Messwerte tabellarisch und grafisch dar. ... erklären das Prinzip der Chromatografie. ... diskutieren ein Modell zur Chromatografie.	Chromatografie
Material/Medien		
Aquarium	Fälle	
ÜV Ionenchromatogramm Mineralwasser	LE2_Scheckbetrug_Fall LE2_Scheckbetrug_Info und SV LE2_Kool Aid_Fall LE2_Kool Aid_Info und SV LE2_Feuerzeugbenzin_Fall LE2_Feuerzeugbenzin_Info und SV	
LE2_Chromatografie_Modell_Flusslauf LE2_Chromatografie_Modell_Teilchenebene LE2_Adsorptionschromatografie_Spiel LE2_Verteilungschromatografie_Spiel		

- Ein Schwerpunkt in dieser Lerneinheit ist die praktisch-technische Kompetenz, eine chromatografische Untersuchung durchzuführen.
- Eine quantitative Aussage als Konzentrationsangabe ist unter Schulbedingungen schwierig. Eine grobe Abschätzung im Sinne einer halbquantitativen Aussage ist möglich.
- Darüber hinaus geht es um ein angemessen tiefes Verständnis des Verfahrens der Chromatografie.

Chromatografische Verfahren lassen sich am Beispiel der Auftrennung von Farbstoffen erarbeiten. Die Einsatzgebiete chromatografischer Verfahren sind außerordentlich vielfältig. Die häufig in der Praxis eingesetzte Gaschromatographie eignet sich für die Trennung leicht flüchtiger Verbindungen, die aus einem Gasgemisch getrennt werden. Hier bietet sich die Betrachtung von Molekülen an, die Gase bilden.

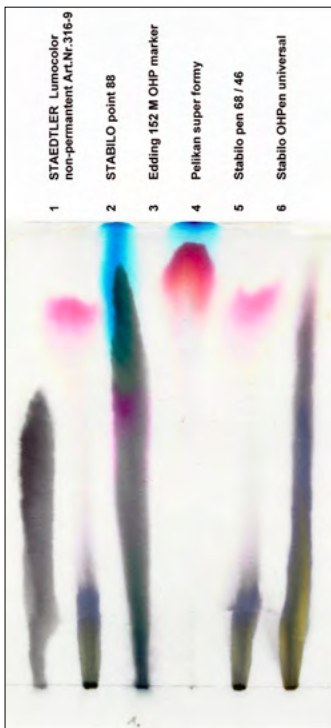
Eine chromatografische Untersuchung durchführen

Papierchromatografie

Chromatografie ist den Schülerinnen und Schülern oft bekannt von der Rundfilterchromatografie mit Filzstiftfarben. Dabei geht es zunächst um die Chromatografie als Trennverfahren. Die bunten Farben, die bei der Untersuchung schwarzer Stifte sichtbar werden, erstaunen und begeistern.



Abb. 17: Einfache Chromatografie „Papierblumen zum Blühen bringen“



Im Themenfeld 9 liegt der Fokus auf dem Beitrag der Chromatografie zur Analytik. Die Papierchromatografie ermöglicht dies, wenn die Aufgabenstellung einen „kriminalistischen“ Rahmen enthält: „Wer hat die Geburtskarte geschrieben?“, „Wer entlarvt den Scheckbetrüger?“.

Beispiel: Ist der Scheck echt? (Siehe Onlinematerial.)

Zu überprüfen ist, ob die Zahl mit einem Stift geschrieben wurde, oder ob ein Betrüger den Betrag durch das Anfügen einer oder mehrerer Nullen verändert hat. Mutmaßlich hätte er dazu einen anderen Stift benutzt.

In diesen Situationen sind die Farben und die Muster der Farben zu unterscheiden. Sogar die Identifizierung der Farbstoffe ist möglich, wenn reine Farbstoffe zur Verfügung stehen und vergleichend „mitlaufen“.

Abb. 18: Papierchromatogramme verschiedener schwarzer, wasserlöslicher Filzstiftfarben

Fälle aus der Praxis werden in Labors eher nicht papierchromatografisch, sondern mithilfe der Dünnschichtchromatografie, der Säulenchromatografie, gaschromatografischer Verfahren oder mittels HPLC (High pressure liquid chromatography) bearbeitet.

Dünnschichtchromatografie

Dünnschichtchromatografie arbeitet statt mit Papier mit einer Schicht aus Cellulose, Kieselgel oder Aluminiumoxid, die auf ein Trägermaterial – beispielsweise eine Aluminiumplatte – aufgebracht ist.

Unter Schulbedingungen erzielt man sehr ansprechende Ergebnisse mit Filzstiftfarben. Die Abbildungen zeigen die Auftrennung dreier schwarzer, wasserlöslicher Filzstiftfarben nach etwa 4 Stunden (von links: Stabilo, Pelikan und Staedtler, die auch bei der Papierchromatografie verwendet wurden). Als Laufmittel wurde 70%iges Ethanol verwendet.

Man beobachtet den Einfluss des Beschichtungsmaterials auf das Trennergebnis.

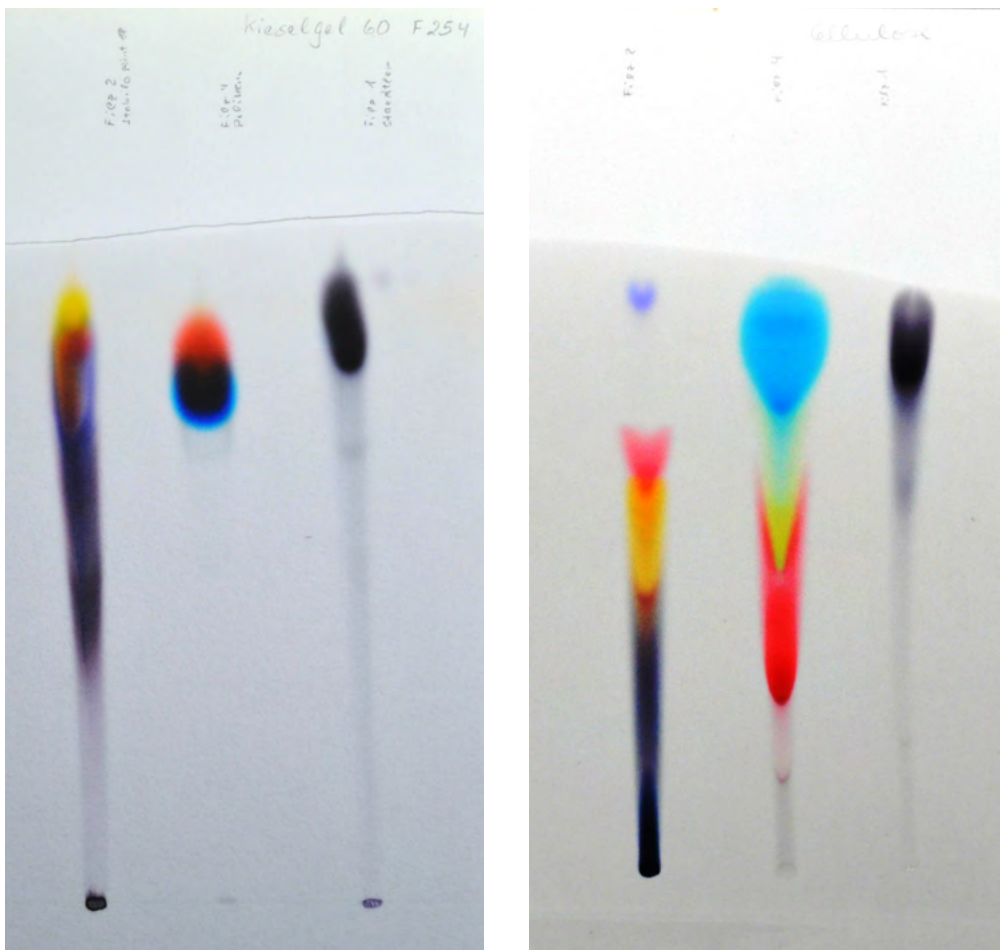


Abb. 19: Chromatogramm mit Kieselgelplatte, Chromatogramm mit Celluloseplatte

Säulenchromatografie

Klassische Beispiele für die Schule sind die Analyse von Filzstiftfarben, Blattfarbstoffen oder Farbstoffen in Lebensmitteln, Limonaden oder Indikatorgemischen. Als einfache Säule für Schülerübungen kann Tafelkreide oder eine Plastikspritze (25 ml), die mit Kieselgel als stationärer Phase gefüllt ist, dienen (siehe Onlinematerial).

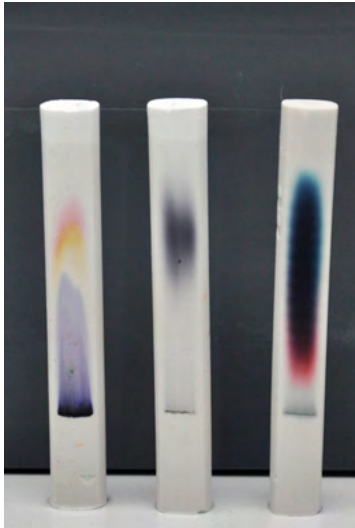


Abb. 20: Untersuchung von schwarzen, wasserlöslichen Filzstiftfarben mit Tafelkreide, Laufmittel 70% Ethanol



Abb. 21: Untersuchung (Trennung) eines Farbstoffgemischs eines Limonadenpulvers (Kool Aid), Laufmittel Wasser

Gaschromatografie

Ein für den Einsatz im schulischen Alltag entwickelter „low cost“ Gaschromatograf ist die Variante von Kappenberg (AKGC15K). Er ist für lernstarke Schülergruppen geeignet.

http://www.kappenberg.com/pages/messgeraete/geraete_vom_ak/gaschromatographie/bezugsquellen.htm

<http://www.kappenberg.com/pages/wandler/8-gaschrom.htm>

Versuchsanleitung: <http://www.kappenberg.com/experiments/gc/pdf-aka11/k04.pdf>

Ein langer, dünner Schlauch ist mit Kieselgel gefüllt und aufgewickelt. Feuerzeuggas wird in einen Luftstrom eingespritzt und am Ende des Schlauches von einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor erfasst.

Auf der Projektion des Rechner-Bildschirms sind die Peaks von Propan, Methylpropan und Butan zu erkennen.

Die Reproduzierbarkeit von Retentionszeiten ist u. a. aufgrund der verwendeten Aquariumspumpe nur sehr grob gegeben. Alternativ könnte man die Zusammensetzung von (selbst hergestelltem) Biogas (vgl. TF 3) untersuchen.

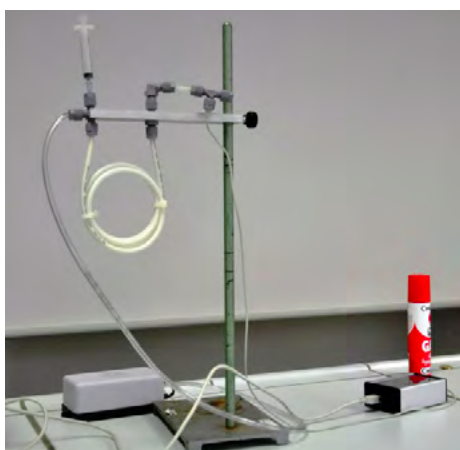


Abb. 22: Untersuchung von Feuerzeuggas mit AKGC15K und Software

Einige Aspekte der Gaschromatografie können mit diesen Animationen gezeigt werden:

<http://www.kappenberg.com/akminilabor/ear/gcW.html>

http://www.kappenberg.com/pages/lowcost-chromatographie/grundlagen_chromatogr/gc_grundlagen.htm

https://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/chemie/gym/fb2/modul4/11_gas/bspl/aufstock/

Das Verfahren der Chromatografie (chroma = Farbe, graphein = schreiben)

Das Verfahren wurde bei Versuchen mit Blattfarbstoffen zu Beginn des 20. Jh. entdeckt. Heute findet es in vielen Bereichen Verwendung: Zur Trennung von Stoffen, zur Identifizierung von Stoffen oder zur Reinigung von Stoffen, zur Isolierung geringer Stoffmengen, zur Überwachung von chemischen Reaktionen, z. B. bei Synthesen.

Das Prinzip der Stofftrennung bei der Chromatografie

Ein Stoffgemisch wird an einer stationären Phase mithilfe einer strömenden Flüssigkeit oder eines strömenden Gases (mobile Phase) getrennt. Die Bestandteile des Gemischs werden von der stationären Phase unterschiedlich gut adsorbiert (festgehalten). Man spricht von **Adsorptionschromatografie**. Die stationäre Phase kann auch aus einem mit Flüssigkeit umgebenen Trägermaterial bestehen. Dann verteilt sich ein Stoff entsprechend der Löslichkeiten in den beiden Flüssigkeiten bzw. der Flüssigkeit der stationären Phase und einem Gas. Dann spricht man von **Verteilungschromatografie**. In der Praxis wirken oft beide Effekte gleichzeitig.

Um diese beiden Effekte zu verdeutlichen, stehen im Onlinematerial zwei Modellspiele zur Verfügung.

Eine mögliche Unterscheidung verschiedener Typen von Chromatografie erfolgt nach Material und Anordnung dieser beiden Phasen.

Chromatografie-Typ	stationäre Phase	mobile Phase
Papierchromatografie	Papier Laufrichtung rund, aufsteigend oder absteigend	meist Wasser oder Ethanol
Dünnschichtchromatografie	dünne Schicht aus Kieselgel, Cellulose oder Aluminiumoxid auf einer Trägerplatte	Wasser, Ethanol oder andere Lösungsmittelgemische, die z. B. Propanol, Eisessig, Benzin oder andere organische Stoffe enthalten
Säulenchromatografie	Kieselgel, Aluminiumoxid, verschiedene Kunststoffe, z.T. beschichtet in einem Rohr	verschiedene Lösungsmittelgemische, unter Schulbedingungen bevorzugt Wasser
Gaschromatografie	z. B. zähflüssige Silicone	inertes Gas: Helium, Stickstoff, unter Schulbedingungen meist Luft
HPLC	Lösungsmittelfilm auf einem Trägermaterial	Flüssigkeit unter Druck

Die Identifizierung der chromatografisch getrennten Stoffe

Die Identifizierung der durch die Chromatografie getrennten Stoffe eines Gemisches kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Meist beruhen sie auf der Retentionszeit, die für jeden Stoff charakteristisch ist, allerdings nur unter definierten Bedingungen hinsichtlich Temperatur und Zusammensetzung des Laufmittels.

- Vergleich mit einem bekannten (Rein-)Stoff: Gleiche Stoffe verhalten sich gleich, insbesondere im Hinblick auf die Retentionszeit bzw. den Retentionsfaktor
- Vergleich der Retentionszeit bzw. dem Retentionsfaktor mit Literaturwerten
- „Aufstocken“: Der vermutete Stoff wird dem Gemisch zugegeben und vergrößert ggf. den Peak bzw. den „Substanzfleck“.
- Gaschromatografen werden häufig mit einem Massenspektrometer kombiniert.

Retentionszeit ist die Zeit, die die Substanz vom Startpunkt bis zur Detektion braucht. Der Retentionsfaktor gibt das Verhältnis der Laufstrecke der Substanz zur Laufstrecke des Laufmittels an.

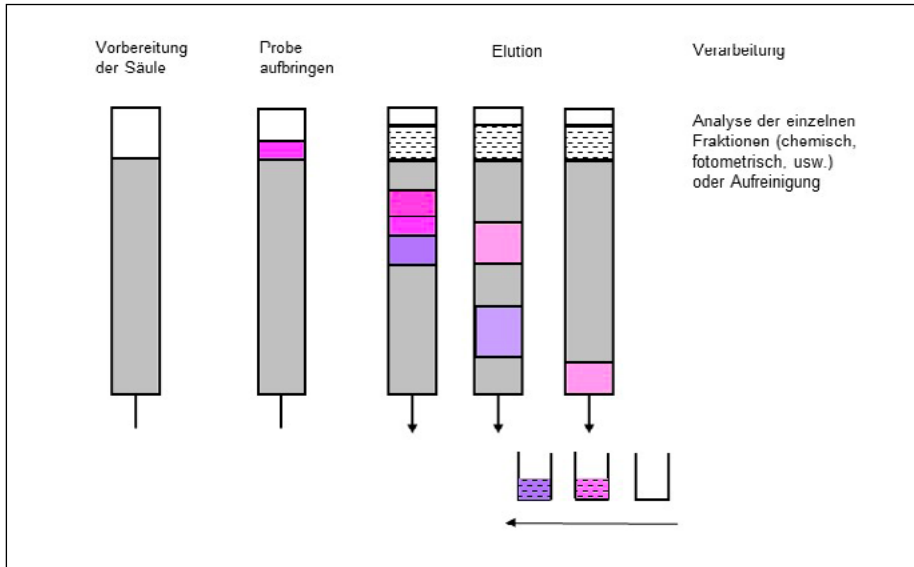


Abb. 23: Schema des Ablaufs einer Säulenchromatografie

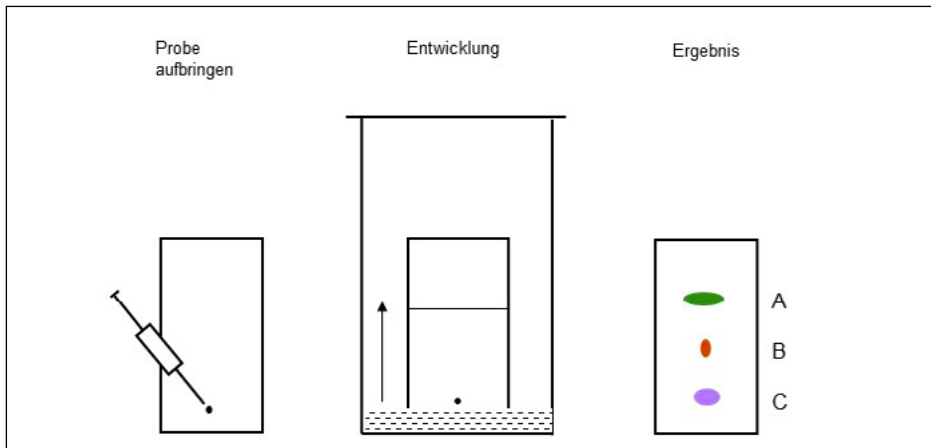


Abb. 24: Schema des Ablaufs einer Dünnschicht- bzw. Papier-Chromatografie

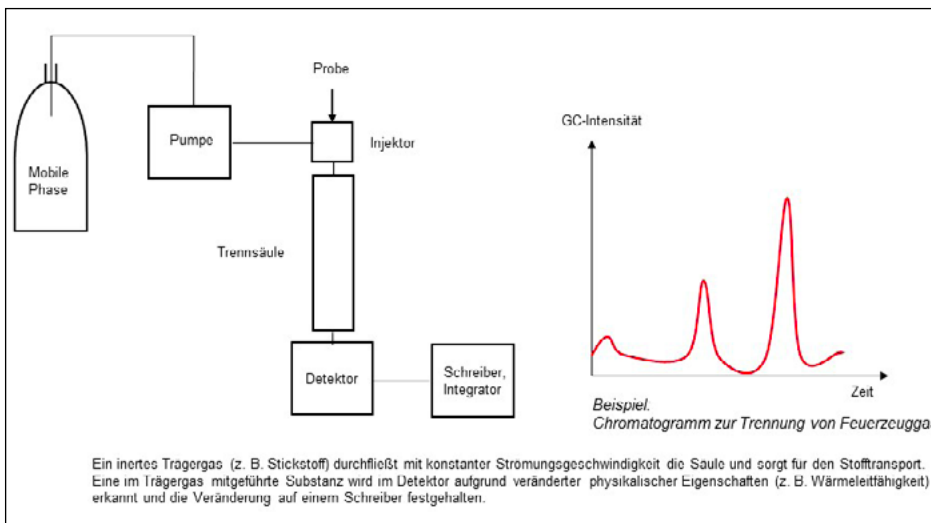


Abb. 25: Schema des Aufbaus eines Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatografen

Modell zur Adsorptionschromatografie

Ein beliebtes Modell für chromatografische Vorgänge ist ein Flusslauf mit Rastplätzen (siehe Onlinematerial). Zusammen mit einer Geschichte eignet sich eine derartige Abbildung zur Diskussion mit Schülerinnen und Schülern über

- die Rolle einer fröhlichen Gesellschaft, die den Fluss entlang rudert,
- die Rolle des Flusses,
- die Rolle der Rastplätze,
- die erwarteten Beobachtungen am „Ziel“ und
- den Zusammenhang zwischen der Geschichte und der Chromatografie.



Abb. 26: Grafik zum „Modell zur Chromatografie“
(© Merck KGaA, Darmstadt)

Modell	Chromatografie
Fröhliche Gesellschaft	Stoffgemisch
Flussufer inklusive Rastplätzen	stationäre Phase
Fluss	mobile Phase
Anziehungskraft der Gaststätten	Adsorption
Verzögerte Ankunft am Ziel	Retention

Eine schematische Darstellung dient der vertieften Betrachtung auf der Teilchenebene. Dazu ordnen Schülerinnen und Schüler einzelne Zeichnungen in einer sinnvollen Reihenfolge, ordnen ihnen Textbausteine zu oder formulieren diese selbst, oder erstellen selbst eine Serie von Zeichnungen (siehe Onlinematerial). Eine für Schülerinnen und Schüler motivierende Aufgabe kann es auch sein, die Trennung der Stoffe als Stop-Motion-Film darzustellen.

Zusätzliche Materialien:

Animation zur Auftrennung von Filzstiftfarbe

http://www.chemie-interaktiv.net/bilder/ff_chromatographie_filzstift.swf

Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie 9 (1998) Nr. 44; Gaschromatografie in der Sek.I, Franz Kappenberg, S.45-46; Friedrich Verlag GmbH

3.3 Lerneinheit 3: Maßanalyse, Konzentration

LE 3: Maßanalyse, Konzentration		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept
Einführende Lernsituationen: Fälle wie z. B. Wasserfilter, Säurebestimmung im Wein, Wasser aus dem Schulteich, einem Fluss oder See, dem Schulaquarium soll untersucht werden (Wasserhärte, Sauerstoff)		
Tagesaktueller Medienbericht zu Wasser und/oder Gewässern		
Schülerinnen und Schüler ...		
<p>... wenden geeignete qualitative und quantitative Verfahren bei der Wasseranalytik an.</p> <p>... wechseln Darstellungsformen bei Verwendung von Messwerten, Diagrammen, Tabellen.</p> <p>... erfassen Prinzipien von qualitativen und quantitativen Testverfahren zur Wasseruntersuchung.</p>	<p>... führen maßanalytische Untersuchungen durch.</p> <p>... stellen erhobene Messwerte tabellarisch und grafisch dar.</p> <p>... erklären das Prinzip der Maßanalyse.</p>	Maßanalyse Konzentration
Material/Medien		
Aquarium	Fälle	
LE1_LE3_ChemAnalyse_Karten	LE3_Gesamthaerte_Fall	
LE1_LE3_Aq_JBL_Sollwerte und Messwerttabelle	LE3_Gesamthaerte_Info und SV	
LE1_LE3_Aq_JBL_Messewerte verbessern	LE3_Saeure im Wein_Fall	
LE1_LE3_Aq_App_ProScan_JBL_Anleitung	LE3_Saeure im Wein_Info und SV	
	LE3_Sauerstoff_Winkler	
LE1_LE3_Rezensionen Wasseruntersuchungskoffer		
Onlinematerial HR TF6 (LE4_Titration_Saeuregehalt Blaulauge G und V, LE4_Drei-Ebenen-Darstellung_Neutralisation)		

- Ein Schwerpunkt in dieser Lerneinheit ist die praktisch-technische Kompetenz, eine Maßanalyse mit einer wässrigen Lösung durchzuführen und einen Wert zu ermitteln.
- Dazu gehört auch eine Konzentrationsangabe. Bei käuflichen Testsätzen findet man häufig die Einheit mg/L, auf die Einheit mol/L wird meist verzichtet.
- Darüber hinaus geht es um ein angemessen tiefes Verständnis des Verfahrens der Maßanalyse.

Eine Maßanalyse durchführen

Schülerinnen und Schüler kennen ggf. die Maßanalyse aus dem Themenfeld 6: Säuren und Laugen. Dort haben sie evtl. eine einfache Titration als Säure-Base-Titration durchgeführt und möglicherweise Blaulauge zur Bestimmung von Säuren in Wein eingesetzt.

Säurebestimmung in Saft und Wein mit Blaulauge

Blaulauge ist eine Natronlauge ganz bestimmter (passender) Konzentration, die mit Bromthymolblau versetzt ist. Im Fall des Test-Sets ist die Konzentration der Maßlösung so gewählt, dass 1 ml Verbrauch an Blaulauge bis zum Farbumschlag einer Konzentration von 1 g/L an Säure entspricht (Summenparameter, berechnet als Weinsäure). Die Beziehung steht auf dem Beipackzettel. Man braucht also nicht zu rechnen. In diesem Fall genügt das Ablesen (siehe Onlinematerial).



Abb. 27: Blaulauge zur Bestimmung des Säuregehalts in Wein

Maßanalytische Verfahren kommen nicht nur im Bereich der Säure-Base-Reaktionen vor. Auch Redox-Titrationen und komplexometrische Titrationen sind gerade bei Wasser/Gewässer-Untersuchungen und wässrigen Lösungen relevant. Die zugrundeliegenden unterschiedlichen chemischen Reaktionen spielen für die Durchführung zunächst keine Rolle.

SO₂-Bestimmung in Saft und Wein (Dr. Stührk'sche Titrierlösung)

Ähnlich wie die Säurebestimmung im Wein mit Blaulauge im Themenfeld 6 handelt es sich auch bei der Bestimmung von SO₂ im Wein um eine Maßanalyse. Das Nachweis-Reagenz ist ein Gemisch aus Stärke und Jod. Vorhandenes SO₂ reduziert tropfenweise zugegebenes Jod, die Blaufärbung verschwindet. Titriert wird bis zur bleibenden Blaufärbung. Dann ist das gesamte SO₂ verbraucht. Die Konzentration an Jod ist so gewählt, dass 1 mL verbrauchter Reagenzlösung einem Gehalt von 1 mg an SO₂ pro Liter entspricht. Der hier untersuchte Wein enthält 32 mg SO₂ pro Liter.

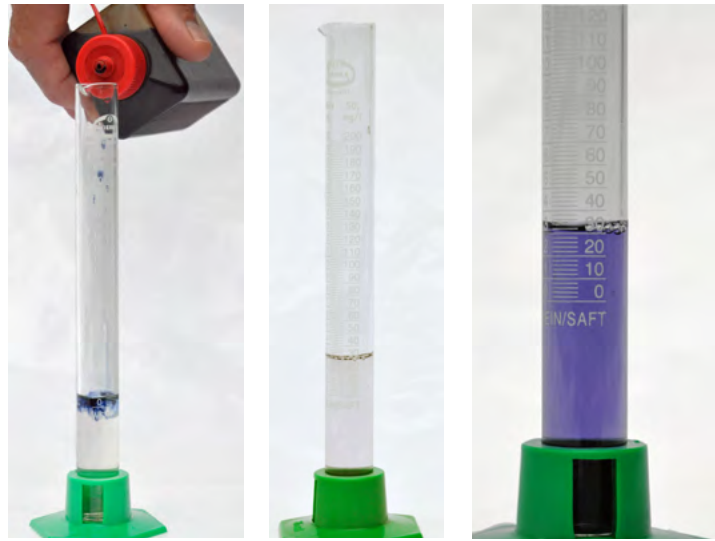


Abb. 28: Versuchsdurchführung

Sauerstoffbestimmung

Bei der Bestimmung des Sauerstoff-Gehalts in wässrigen Lösungen nach Winkler handelt es sich um eine jodometrische Titration. In einer Wasserprobe wird der vorhandene Sauerstoff durch Mangansulfat (bzw. Manganchlorid) in alkalischer Umgebung fixiert. Es bildet sich ein Niederschlag aus Manganhydroxid. Durch Zugabe einer Säure wird der Niederschlag gelöst, frei werdende Mangan(III)-Ionen oxidieren Jodid zu Jod, das durch zugegebene Stärkelösung an der Blaufärbung erkennbar wird. Titriert wird die Jodlösung mit Thiosulfat bis zum Verschwinden der blauen Farbe.

Die genaue Bestimmung nach Winkler mit den zugehörigen „Winkler-Flasche“, die sich durch ein ganz exakt festgelegtes Volumen auszeichnen, ist kostspielig. Zur Titration wird eine Kunststoff-Spritze mit sehr feiner Skalierung eingesetzt.



Abb. 29: Test-Kit (Firma Hanna Instruments) zur Sauerstoff-Bestimmung nach Winkler

In Wasseruntersuchungskoffern für Aquarien erfolgt die Bestimmung von Sauerstoff nach Winkler häufig in einer deutlich vereinfachten und weniger genauen Variante. Der erfolgte Niederschlag wird mithilfe eines Farbvergleichs ausgewertet.



Abb. 30: Vereinfachte Variante der Sauerstoff-Bestimmung aus dem Testlab der Firma JBL

Wasserhärtebestimmung

Die Bestimmung der Wasserhärte erfolgt als komplexometrische Titration mit EDTA (siehe Onlinematerial). In der Probelösung befinden sich Ca^{2+} und Mg^{2+} -Ionen, die die Wasserhärte ausmachen. Das Tropffläschchen enthält ein Reagenz, das die Metall-Ionen bindet (komplexiert). Ein Indikator ändert die Farbe, sobald keine Metall-Ionen mehr frei in der Lösung vorhanden sind.

Set mit einer einzigen Reagenzflasche

Im einfachsten Fall verwendet man ein Test-Set, bei dem aus einer Tropfflasche eine Maßlösung tropfenweise zu einem vorgegebenen Volumen einer Probelösung gegeben wird. Ein Indikator ist in der Maßlösung gelöst. Die Anzahl der Tropfen bis zum Farbumschlag entspricht einer bestimmten Konzentration. Der Zusammenhang zwischen der Anzahl der Tropfen und der Konzentration an Metall-Ionen ist im Test-Set angegeben und wird umgerechnet auf die übliche Einheit °dH. (Die Einheit °dH ist etwas veraltet. Aktuell ist die Einheit °d.)

<p>10 ml zu untersuchendes Wasser werden ...</p>	<p>... mit einzelnen Tropfen der Maßlösung (Indikator) versetzt.</p>	<p>Der Farbumschlag erfolgt in diesem Beispiel nach 35 Tropfen.</p>

Sets mit mehreren Reagenzien

Bei anderen Sets wird ein Indikator in Form einer „Tablette“ oder eines separaten Reagenz zugegeben. Dadurch ist die durch den Indikator verursachte Farbe auch zu Beginn der Titration deutlich erkennbar.



Abb. 31: Test-Sets für Wasseruntersuchungen mit dem Testlab (JBL) bzw. VISOCOLOR®School (MACHEREY-NAGEL)

Eine einfache „Bürette“

In Wasseruntersuchungskoffern findet man häufig statt der Tropfflaschen Fläschchen mit Reagenzlösungen, in deren Deckel eine Art Spritze mit einer Skala eingebaut ist, die eine Bürette ersetzt. Dadurch lässt sich das zugegebene Volumen genauer ermitteln als durch gezählte Tropfen.



Abb. 32: Kompaktlabor für Wasseruntersuchungen (© Merck KGaA, Darmstadt)

Die Besonderheit all dieser käuflichen Sets für Alltagsanwendungen besteht in der Verwendung von Reagenzien, deren Konzentrationen so gewählt sind, dass dem Benutzer Berechnungen weitgehend oder ganz erspart bleiben. Konzentrationen sind sehr einfach aus der Messung zu ermitteln.

Arbeiten mit Labormaterial

Anders ist das bei der Verwendung selbst hergestellter Lösungen und Büretten. Hier arbeiten Anleitungen häufig mit der Einheit mol/L. Auch um aus einem zur Titration verbrauchten Volumen einer Maßlösung die Konzentration einer Probelösung zu ermitteln ist eine Berechnung notwendig, die das Verständnis der zugehörigen chemischen Reaktion voraussetzt. Solche Berechnungen sind vom Lehrplan her für die Sekundarstufe I nicht gefordert. Dazu kommt die Handhabung einer Bürette, die eine gewisse Übung erfordert. Das richtige Befüllen und Ablesen, Luftblasen am Auslasshahn, die Gefahr der Über-titration und der Umgang mit dem Glasgerät müssen besprochen sein.

Wo die Bedingungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler, der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit und der Ausstattung der Schule gegeben sind, kann auch dieser Weg gewählt werden.

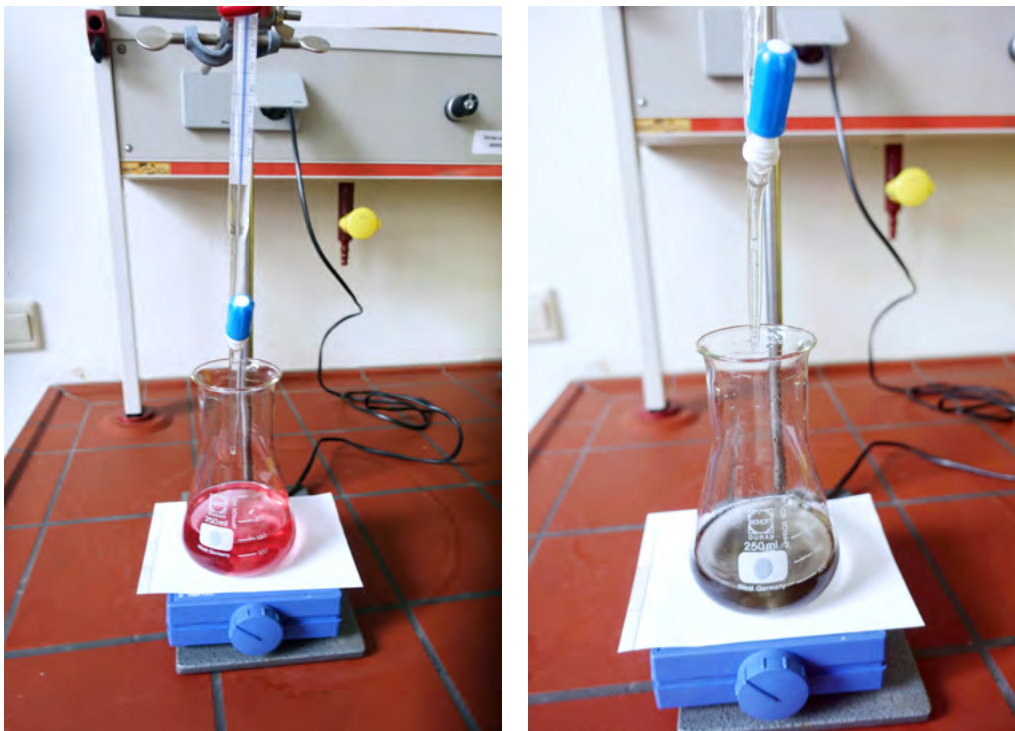


Abb. 33: Titration mit EDTA zur Bestimmung der Wasserhärte zu Beginn (links) und am Endpunkt (rechts)

Auswertung: Bei der Maßanalyse ist intendiert, das Prinzip dieser quantitativen Analyse zu thematisieren. Dazu ist der Molbegriff nicht erforderlich. Leistungsstarke Gruppen können im Rahmen der zeitlichen Möglichkeiten mit dem Molbegriff arbeiten, um im Hinblick auf die Oberstufe quantitative Arbeitsweisen stärker in den Blick zu nehmen.

Das Verfahren

Das Verfahren erfordert einen relativ geringen apparativen Aufwand. Da die Messergebnisse bei optimierten Titrationsverfahren sehr genau sind und sich die Titration gut automatisieren lässt, findet es breite Anwendung in der chemischen Analytik.

Das Prinzip der Maßanalyse

Grundverständnis:

Die Maßanalyse ist ein quantitatives Verfahren, mit dem die Konzentration eines Stoffes bestimmt wird. Für das grundlegende Verständnis ist es nicht notwendig, die Angaben der Konzentration in mol/L zu bestimmen. Es genügt, wenn die alltäglichen Angaben in mg/L durch entsprechende Zugaben von Reagenzien ermittelt werden. Bei Nachfragen zur Teilchenebene dieser Maßanalysen ist es ausreichend, auf das Prinzip der Neutralisationsreaktion, wie es aus Themenfeld 6 bekannt ist, hinzuweisen (siehe Onlinematerial aus TF 6).

Protonen/Oxoniumionen reagieren mit Hydroxidionen im Verhältnis 1:1 zu Wassermolekülen.

Daraus kann dann auf andere Maßanalysen, wie iodometrische oder komplexometrische Titrations transferiert werden. Allgemein gilt für Maßanalysen: Jeweils genau ein Teilchen von Stoff A (oder ein Vielfaches) reagiert mit genau einem Teilchen von Stoff B. Geeignete Indikatoren visualisieren den Endpunkt der Titration.

Vertiefung:

Die Maßanalyse ist ein quantitatives Verfahren, mit dem die Konzentration eines Stoffes bestimmt wird. Von einem bekannten Stoff, dessen Konzentration ermittelt werden soll, wird ein definiertes Volumen abgemessen. Dies stellt die Probelösung dar. Der Stoff wird in einer gezielten chemischen Reaktion mit einer Maßlösung genau bekannter Konzentration umgesetzt. Das Volumen der verbrauchten Maßlösung bis zum Endpunkt der Titration wird gemessen. Der Endpunkt der Titration wird sichtbar z. B. durch einen Farbumschlag.

Am Endpunkt der Titration haben die relevanten Teilchen der Probelösung gerade vollständig mit den relevanten Teilchen der Maßlösung reagiert. Aus der Konzentration und dem verbrauchten Volumen der Maßlösung lässt sich die Konzentration relevanter Teilchen in der Maßlösung berechnen. Die Anzahl dieser Teilchen entspricht der Anzahl der Teilchen in der Probelösung. Da deren Volumen bekannt ist, kann die Konzentration berechnet werden (siehe Onlinematerial).

Dieser Zusammenhang lässt sich als Gleichung beschreiben. Am Endpunkt gilt:

Anzahl relevanter Teilchen in der Probelösung			=	Anzahl relevanter Teilchen in der Maßlösung		
Volumen	x	Konzentration	=	Volumen	x	Konzentration
abgemessen, also bekannt		gesucht		beim Titrieren ermittelt		bekannt

Die folgende Darstellung veranschaulicht die Vorgänge auf der Teilchenebene. Herauszuarbeiten ist, dass die chemische Reaktion, die hier genutzt wird, die Bildung von Wassermolekülen aus H_3O^+ -Ionen und OH^- -Ionen ist.

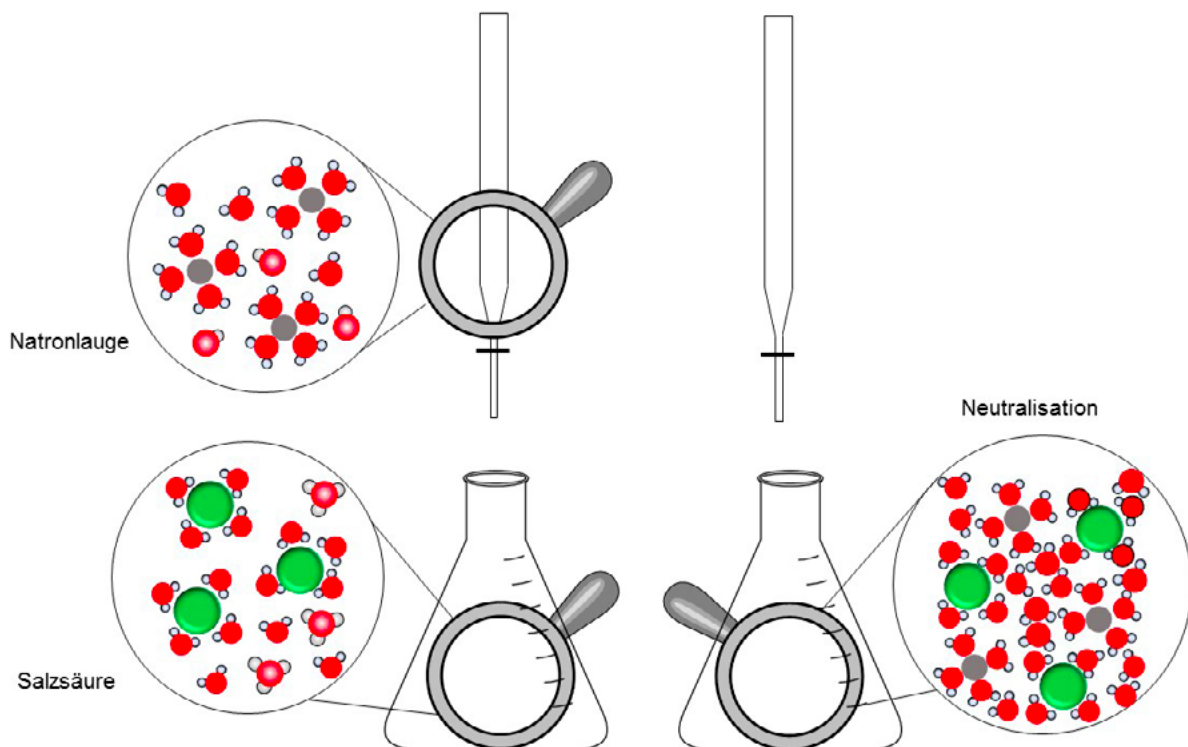
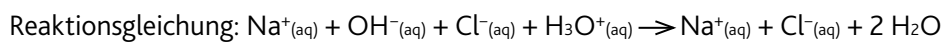


Abb. 34: Maßanalyse (NaOH und HCl) auf der Teilchenebene

3.4 Lerneinheit 4: Messverfahren auswählen

LE 4: Messverfahren auswählen		
Wissen über analytische Verfahren situativ anwenden		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept
Einführende Lernsituationen: Tagesaktuelle Presseartikel wie z. B. „Fischsterben in einem Fluss“ oder „Trinkwasser muss entsäuert werden“. Besuch in einem Labor (z. B. Wasserwerk, Mineralbrunnen, chem. Untersuchungsamt)		
Schülerinnen und Schüler ...		
<p>... wenden das Wissen über Messverfahren und Messgenauigkeit in verschiedenen Zielsetzungen an, z. B. zur Planung von Experimenten.</p> <p>... verwenden Daten aus Wasseranalysen in verschiedenen Problemstellungen (z. B. Gesundheit, Umwelt).</p>	<p>... planen Experimente, um einem (Umwelt-)Problem nachzugehen.</p> <p>... recherchieren Definition, Ursachen und Zustandekommen von Grenzwerten.</p> <p>... beurteilen die Eignung einiger Verfahren für verschiedene Messgrößen.</p>	<p>Messgenauigkeit</p> <p>Nachweisgrenze</p> <p>Grenzwert</p>
Material/Medien		
<p>LE4_Nachweisgrenze_Geschmackssinn_Salz</p> <p>LE4_Grenzwert_Berichte TWU Sinzig</p> <p>LE4_Testsets_Bestimmung_Nitrat</p> <p>LE4_Geraete_Materialien_Bestimmung_pH-Wert</p> <p>LE4_Entsaerung Stadtwasser</p> <p>LE4_Landesuntersuchungsamt RLP_Standorte_Kontakt_Aufgabengebiete</p>		
Ergänzende Materialien:		
<p>TWU (Trinkwasseruntersuchungen Sinzig) aus den Jahren 1996, 2006, 2016</p> <p>Trinkwasser-Verordnung http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/trinkwv_2001/gesamt.pdf</p> <p>Mineral- und Tafelwasser-Verordnung https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/min_tafelwv/gesamt.pdf</p>		

Ein Schwerpunkt in dieser Lerneinheit ist die Planung von Experimenten.

Dazu gehört auch die Auswahl geeigneter Verfahren z. B. hinsichtlich Messgenauigkeit, Nachweisgrenzen und Grenzwerten. Dadurch sind Schülerinnen und Schüler in der Lage, Bewertungen im Hinblick auf Messungen und Messergebnisse vorzunehmen.

Experimente planen

Bei der Planung zu einer ersten Aufgabenstellung ergibt sich die Möglichkeit bzw. Notwendigkeit, die Begriffe Messgenauigkeit, Nachweisgrenze und Grenzwert zu erarbeiten. Damit wird die Auswahl eines geeigneten Gerätes thematisiert. Bei den folgenden Lernsituationen bringen Schülerinnen und Schüler ihr Wissen über diese Begriffe und auch über analytische Verfahren ein.

Es bietet sich an, Schülerinnen und Schüler für eine Fragestellung ein Analyseverfahren vorschlagen zu lassen. Steht das „passende“ Gerät schon bereit, kann die Kompetenz des begründeten Auswählens nicht entwickelt werden.

Mögliche Aufgabenstellungen, um zu planen

Entwickle einen Plan, um folgenden Fragen nachzugehen:

1. Schadet es den Fischen im Aquarium, wenn sie zu viel gefüttert werden?
Tipp: Es geht nicht um das Gewicht der Fische, sondern um die Wasserqualität.
2. Hat der Rhythmus der Beleuchtung (Tag/Nacht) einen Einfluss auf den pH-Wert des Aquarien-Wassers?
3. Hat der Rhythmus der Beleuchtung (Tag/Nacht) einen Einfluss auf den Sauerstoff-Gehalt des Aquarien-Wassers?
4. Ein Zeitungsartikel beschreibt, dass das Wasser einer Stadt einen zu niedrigen pH-Wert hat. Dadurch werden Leitungsrohre angegriffen. Zur Entsäuerung von Stadtwasser wird das Wasser fein versprüht. Dabei wird Kohlenstoffdioxid über die große Oberfläche der vielen feinen Tröpfchen abgegeben.

Ändert sich der pH-Wert des Wassers durch diese Maßnahme? (Siehe Onlinematerial.)
5. Wie wirksam ist ein Wasserfilter zur Entkalkung von Leitungswasser?
Tipp: Untersuche die Wirksamkeit (Herabsetzung der Wasserhärte) in Abhängigkeit vom Wasservolumen.

Mögliche Aufgabenstellungen, um im Rahmen der Planung ein geeignetes Verfahren auszuwählen

Wähle aus den abgebildeten Materialien (siehe Onlinematerial) bzw. aus den in der Schule zur Verfügung stehenden Materialien begründet aus, um folgende Aufgaben zu bearbeiten:

1. Um die Schwankungen der Wasserwerte im Aquarium im Tageslauf zu untersuchen, soll über 24 h alle 15 min der pH-Wert des Aquarienwassers gemessen werden.

Mögliche Lösung: Computergesteuerte Messwerterfassung, da Messwerte gespeichert werden.

2. Im Urlaub möchtest du herausfinden, ob das verfügbare Leitungswasser den Hinweis „für die Zubereitung von Säuglingsnahrung geeignet“ tragen darf. Dazu dürfte das Wasser höchstens 10 mg/L Nitrat enthalten.

Mögliche Lösung: Teststäbchen mit feiner Abstufung oder Test-Set

3. Du möchtest das Wasser in deinem Aquarium vorsorglich jede Woche hinsichtlich verschiedener Messgrößen überprüfen.

Mögliche Lösung: JBL-App ProScan, schnell, preiswert, keine sehr genauen Zahlen notwendig

4. Im Zusammenhang mit einem Fischsterben in einem Fluss soll der Kupferionen-Gehalt des Wassers untersucht werden. Zur Verfügung stehen beispielsweise:

- Teststäbchen
(Messbereich: 10 – 300 mg/L,
Abstufung: 0; 10; 30; 100; 300)



Abb. 35: Messbereich und Abstufung

- ein Wasseruntersuchungskoffer (z. B. JBL)
(Messbereich: 0,1 – 1,6 mg/L, Abstufung: 0,1; 0,2; 0,3; 0,45; 0,6; 0,8, 1,2; 1,6)
- ein Fotometer mit Zubehör

Mögliche Lösung:

Die Kupferionen-Konzentration soll unter 0,1 mg/L liegen (Begleitbuch zum JBL Testlab Wasseruntersuchungskoffer).

Die Teststäbchen zeigen erst eine Kupferionen-Konzentration an, die deutlich über dem für Fische schädlichen Wert liegen. Sie sind also für die hier beschriebene Situation nicht geeignet, außer der Gehalt wäre extrem hoch.

Der Wasseruntersuchungskoffer differenziert im kritischen Bereich und ist geeignet, eine Einschätzung über eine Belastung mit Kupfer-Ionen zu liefern.

Ein Fotometer erlaubt die Messung sehr genauer Werte, wie sie möglicherweise in dieser Situation gewünscht sind, z. B. aus juristischen Gründen.

Messgenauigkeit

In der Schule wird oft qualitativ oder halbquantitativ gearbeitet. In der Laborpraxis wird für jedes analytische Problem entschieden, wie genau der Messwert sein muss.

Messbereiche und Abstufung

Eng verbunden mit der Messgenauigkeit sind der Messbereich, den ein Verfahren abdeckt und die innerhalb des Messbereichs mögliche Abstufung. Ob Messbereich und Abstufung zur Bearbeitung einer Fragestellung geeignet sind, hängt häufig auch mit dem (erwarteten) Messwert zusammen.

Beispiel: Bestimmung des Nitrat-Gehaltes

Wird bei einem Trinkwasser der Grenzwert von 50 mg/L eingehalten?

Bestimmt man die Nitrat-Konzentration im Trinkwasser mit Teststäbchen, die eine Abstufung 0 – 10 – 30 – 50 – 100 mg/L anzeigen, so wird man häufig ca. 50 mg/L ermitteln.

Der tatsächliche Wert könnte also beispielsweise 45 mg/L oder auch 55 mg/L betragen. Da der Grenzwert für Trinkwasser bei 50 mg/L liegt, ist dieses Verfahren für dieses Wasser bei der Frage nach der Einhaltung des Grenzwerts ungeeignet.

Für eine genauere Nitratbestimmung gibt es auch Test-Sets mit kolorimetrischen Verfahren, die eine feinere Abstufung besitzen. Noch genauere Werte erhält man mit einem Fotometer.

Viele Wege führen zum pH-Wert

Um festzustellen, welche Lebensmittel sauer reagieren, genügt ein Indikatorpapier. Um die Ozeanversauerung nachzumessen, ist eine andere Technik erforderlich.

Schülerinnen und Schüler können die verschiedenen Gerätschaften am Beispiel des pH-Wertes selbst vergleichen. Dabei wird bewusst, dass es keinen Sinn macht, in jedem Fall das Gerät mit dem genauesten Ergebnis zu wählen. Auch andere Faktoren spielen bei der Auswahl eines Gerätes für eine bestimmte Fragestellung eine Rolle, wie z. B. der Messbereich, das Handling, die Kosten u. a.

Es bietet sich an, Schülerinnen und Schüler eine Tabelle erstellen oder nutzen zu lassen, in der sie die verschiedenen Faktoren vergleichen (siehe Onlinematerial).

Ein guter Kompromiss zwischen Genauigkeit, Kosten und Handhabung unter Schulbedingungen sind pH-Checker, die in verschiedenen Varianten im Laborhandel angeboten werden. Zu beachten ist, dass sie mit Hilfe käuflicher Pufferlösungen leicht kalibriert werden können.



Abb. 36: pH-Checker von Hanna Instruments

Nachweisgrenze

Für schulische Zwecke sind sehr „saubere“ Wässer, im Sinne eines niedrigen Gehalts an gelösten Salzen, eher frustrierend. Schülerinnen und Schüler stellen „nichts“ fest und sind unsicher, ob „nichts“ im Wasser enthalten ist oder ob sie falsch gemessen haben. Die Antwort liegt möglicherweise in der Nachweisgrenze. Oft enthält (Leitungs-)Wasser so wenig an den verschiedenen Ionen, dass sie mit einfachen Teststäbchen nicht nachgewiesen werden können. Die Konzentration liegt unter der Nachweisgrenze des Verfahrens. Deshalb arbeiten Labors häufig z. B. mit chromatografischen oder aufwändigen fotometrischen Verfahren. Auch diese haben eine Nachweisgrenze, so dass in amtlichen Untersuchungen des Trinkwassers häufig die Formulierungen „nicht nachweisbar“ oder auch „<“ für „kleiner als“ zu finden sind. Das bedeutet, dass die Konzentration dieses Stoffes unterhalb der Nachweisgrenze liegt. Ob der Stoff vorhanden oder nicht vorhanden ist, kann nicht entschieden werden.

Mit der Weiterentwicklung der Geräte und Verfahren für Analysen in den letzten Jahrzehnten können immer kleinere Konzentrationen nachgewiesen werden. Diese sinkenden Nachweisgrenzen haben eine beachtliche gesellschaftliche Bedeutung. Gesetze und Verordnungen legen für manche Stoffe fest, dass sie in einem bestimmten Produkt nicht enthalten sein dürfen. Das war früher einfach einzuhalten, denn natürlicherweise vorhandene oder anthropogen verursachte geringste Mengen konnten ohnehin nicht nachgewiesen werden. Aktuell ergeben sich Diskussionen, ob „nicht enthalten“ tatsächlich „Null“ heißt.

Definition: Nachweisgrenze

„Kleinste Konzentrationen eines Stoffes, die mittels eines bestimmten Analyseverfahrens in einer Analysenprobe bei einer definierten statistischen Aussagesicherheit (z. B. 95 %) qualitativ vom Blindwert unterschieden werden kann. Unterhalb der Nachweisgrenze gilt ein Stoff als nicht nachweisbar (Ergebnis: n.n.).“

... Liegt der zu bestimmende Stoff in einer Konzentration vor, die der Nachweisgrenze entspricht, so besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50 %, dass er bei einer Einzelmessung als „nachweisbar“ deklariert wird. Umgekehrt besteht eine 50 %ige Wahrscheinlichkeit, dass der Stoff ... irrtümlich als „nicht nachweisbar“ angesehen wird.“

(Römp online, Stichwort Nachweisgrenze)

„... bezeichnet den extremen Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden kann (Ja/Nein-Entscheidung).“

(Wikipedia, Stichwort Nachweisgrenze)

Den Begriff Nachweisgrenze können Schülerinnen und Schüler am Beispiel des menschlichen Geschmackssinns für Salz praktisch erfahren. Sie entwickeln selbst oder mit Anleitung ein Experiment dazu. Von Meerwasser weiß jeder, dass es salzig schmeckt. Im Experiment liegt es nahe, Meerwasser schrittweise, z. B. jeweils 1:10 zu verdünnen und herauszufinden, welche Konzentration noch als salzig wahrgenommen wird. Der Versuch ist im Onlinematerial ausführlich beschrieben.



Abb. 37: Nachweisgrenze Geschmackssinn Salz

Umgekehrt lassen sich in Aquarienwasser, Teichwasser (insbesondere bei Tierbesatz) oder in Wasser belasteter Flüsse viel höhere Konzentrationen an Ionen nachweisen. Sie sind auf den Nährstoffeintrag durch Ausscheidungen der Lebewesen und verrottendes Pflanzenmaterial bzw. überschüssiges Futter zurückzuführen.

Grenzwert

„... Grenzwerte werden in Gesetzen, Richtlinien, Vorschriften, Normen etc. festgelegt, welche das erlaubte Niveau dieser Einflussfaktoren begrenzen ... Die Hauptfunktion von Grenzwerten ist es, Entscheidungsgrundlagen bereitzustellen, anhand derer Messwerte juristisch bewertet werden können ...“

(Römpp online, Stichwort Grenzwert)

„... eine maximal in einem bestimmten Zusammenhang (z. B. Arbeitsplatz) zulässige Menge/Konzentration eines umweltschädlichen oder gesundheitsschädlichen Stoffes ... Grenzwerte sind also rechtliche Festlegungen, die in der Regel auf wissenschaftlichen Erkenntnissen über Schädlichkeit und Gefährlichkeit von Störgrößen beruhen. In manchen Fällen spielen neben der Schädlichkeit von Störgrößen auch Kosten/Nutzenüberlegungen oder politische Prioritäten eine Rolle für die Festlegung von Grenzwerten.

Neue Erkenntnisse über die Gefährlichkeit von Stoffen oder Störgrößen oder Neubewertungen können zu einer Verschärfung also Absenkung von Grenzwerten oder zu einer Erhöhung von Grenzwerten führen ...“

(Wikipedia, Stichwort Grenzwert)

Diese Definitionen zeigen: Grenzwerte sind auch politische Werte, sie werden ausgehandelt, von Menschen festgelegt und von Zeit zu Zeit verändert. Ihre Hauptaufgabe ist es, Messwerte juristisch bewerten zu können. Es spielen viele Interessen bei der Festlegung eine Rolle. Diese zentrale Botschaft zu vermitteln fördert multiperspektivisches Denken.

Beispiel: Calcium- oder Nitratgehalt im Trinkwasser/Mineralwasser

Die Veränderung von Grenzwerten lässt sich am Beispiel der Veröffentlichungen von lokalen Wasserversorgern beobachten (siehe Onlinematerial).

- Calcium (Ca^{2+})

Früher war der Grenzwert für Trinkwasser auf 400 mg/L festgesetzt. Das hatte technische Gründe. Das Verkalken von Rohren sollte vermieden werden. Aktuell gibt es keinen Grenzwert für Calcium im Trinkwasser. Im Mineralwasser gilt Calcium als der Gesundheit zuträglich und es gibt und gab keinen Grenzwert.

Die Aussage „Für Leitungswasser gelten strengere Grenzwerte als für Mineralwasser“ ist demzufolge nicht als Werbung für das Trinken von Leitungswasser oder als vergleichende Aussage über die Qualität verschiedener Wasserarten bezüglich Calcium-Konzentration geeignet.

- Nitrat (NO_3^-)

Nitrat gilt als ein sehr ambivalenter Stoff. Einerseits ist Nitrat unerlässlich als Mineraldünger in der Landwirtschaft. Stickstoff ist ein Mangelfaktor im Boden und die Möglichkeit, Nitrate mit der Ammoniaksynthese industriell herstellen zu können, war von enormer Bedeutung für landwirtschaftliche Erträge und damit für die Entwicklung der Weltbevölkerung (vgl. TF 8).

Andererseits hat in den 60er und 70er Jahren des 20. Jh. der Einsatz dieser Mineraldünger und auch die Intensivierung der Tierhaltung mit entsprechenden Mengen an Gülle, die wieder auf Felder ausgebracht wird, erheblich zur anthropogen verursachten Eutrophierung vieler Gewässer geführt. Damit enthielt auch Leitungswasser vielerorts hohe Nitrat-Konzentrationen. Als der Grenzwert (Mitte der 1980er Jahre) von 90 mg/L auf 50 mg/L gesenkt wurde, mussten Wasserwerke ggf. ihr Wasser mit dem anderer Brunnen aus Nachbargemeinden mischen.

Aktuell beanstandet Europa, dass Deutschland zu wenig gegen die Stickstoffbelastung von Böden und Luft unternehme. Um dieser Thematik nachzugehen, würde sich eine unterrichtliche Bearbeitung des Stickstoffkreislaufs anbieten. Da in diesem Themenfeld analytische Methoden im Vordergrund stehen, sollte die Lehrkraft eine ausufernde Betrachtung größerer Zusammenhänge vermeiden.

Einen anderen Zugang zur Nitrat-Problematik bietet ein Roman von Manuel Vermeer, der auf die Umweltverschmutzung fokussiert: „Mit dem Wasser kommt der Tod“ (KBV, Hillesheim, 2015).

Auch tagesaktuelle Medienbeiträge können Anlässe zur Diskussion über Grenzwerte sein:

- Bundesweite Meldungen über die Überschreitung der Grenzwerte von Stickoxiden oder Nitraten, deren Verursacher und Konsequenzen für Gesundheit und Mobilität
- Diskussion um Grenzwerte am Beispiel der Schwefelung von Wein in Rheinland-Pfalz (Abwägung der Fragen: „Wie viel muss sein, um Wein haltbar zu machen?“ und „Wie viel darf sein, um Verbraucher nicht zu beunruhigen?“)

Messungen und Messergebnisse bewerten

Es gibt kein starres Schema zur Bewertung erhobener Daten. In der Schule geht es darum, ein Gefühl für Komplexität der Thematik zu entwickeln. Es gibt kein „gar nichts“ von etwas, die Einschätzung von notwendig, gesund, schädlich bis giftig verändert sich mit der Zeit, auch die Frage ob „viel“ oder doch eher „weniger“ mit gut gleichzusetzen ist, wird unterschiedlich gesehen und ist von dem jeweils betrachteten Stoff abhängig. Zusätzlich kommt es darauf an, ob es um technische oder um gesundheitliche Fragen geht.

Zu berücksichtigen ist auch, ob ein hoher Wert natürliche z. B. geologische Ursachen hat, oder ob er als Belastung im Sinne von Verschmutzung entstanden ist. Die Aussagekraft einzelner Zahlenwerte ist begrenzt. Man braucht den Zusammenhang und evtl. auch Vergleichsdaten, um begründet bewerten zu können.

4 ZUSAMMENFASSUNG

4.1 Üben und Vernetzen

Üben und Vernetzen

In der Lerneinheit 4 sind im Zusammenhang mit dem Planen von Experimenten, der Auswahl von Verfahren und Geräten usw. die wesentlichen Elemente des Themenfeldes eingebunden.

Ähnlich wie bei den Verfahren zur Stofftrennung kann es hier nicht darum gehen, eine „vollständige“ Liste von Verfahren zu kennen. Vielmehr werden die Verfahren, die für einen bestimmten Kontext relevant sind, unterrichtlich bearbeitet. Im Sinne der Intention des Themenfeldes stehen Maßanalyse, Kolorimetrie und Chromatografie im Zentrum, die sich zum Nachweis von Ionen im Wasser eignen.

Einige darüberhinausgehende analytische Fragestellungen machen Schülerinnen und Schülern die große Breite der Anwendungen deutlich und deuten die Vielfalt eingesetzter Methoden an.

Je nach tagesaktuellen Medienberichten, zur Verfügung stehender Zeit und Anpassung an die Lerngruppe kann man in folgenden Bereichen Fragestellungen diskutieren:

- Hormone und Antibiotika in der Tierhaltung
- Bodenuntersuchungen zum gezielten Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft
- Zuckermessung bei Diabetikern
- Laboruntersuchung von Blut
- Dopingkontrollen
- Drogenanalytik beim LKA: Heroin gestreckt mit Paracetamol?
- Arsen in Friedhofserde
- Zuckerbestimmung im Honig
- Süßstoffe im Trinkwasser

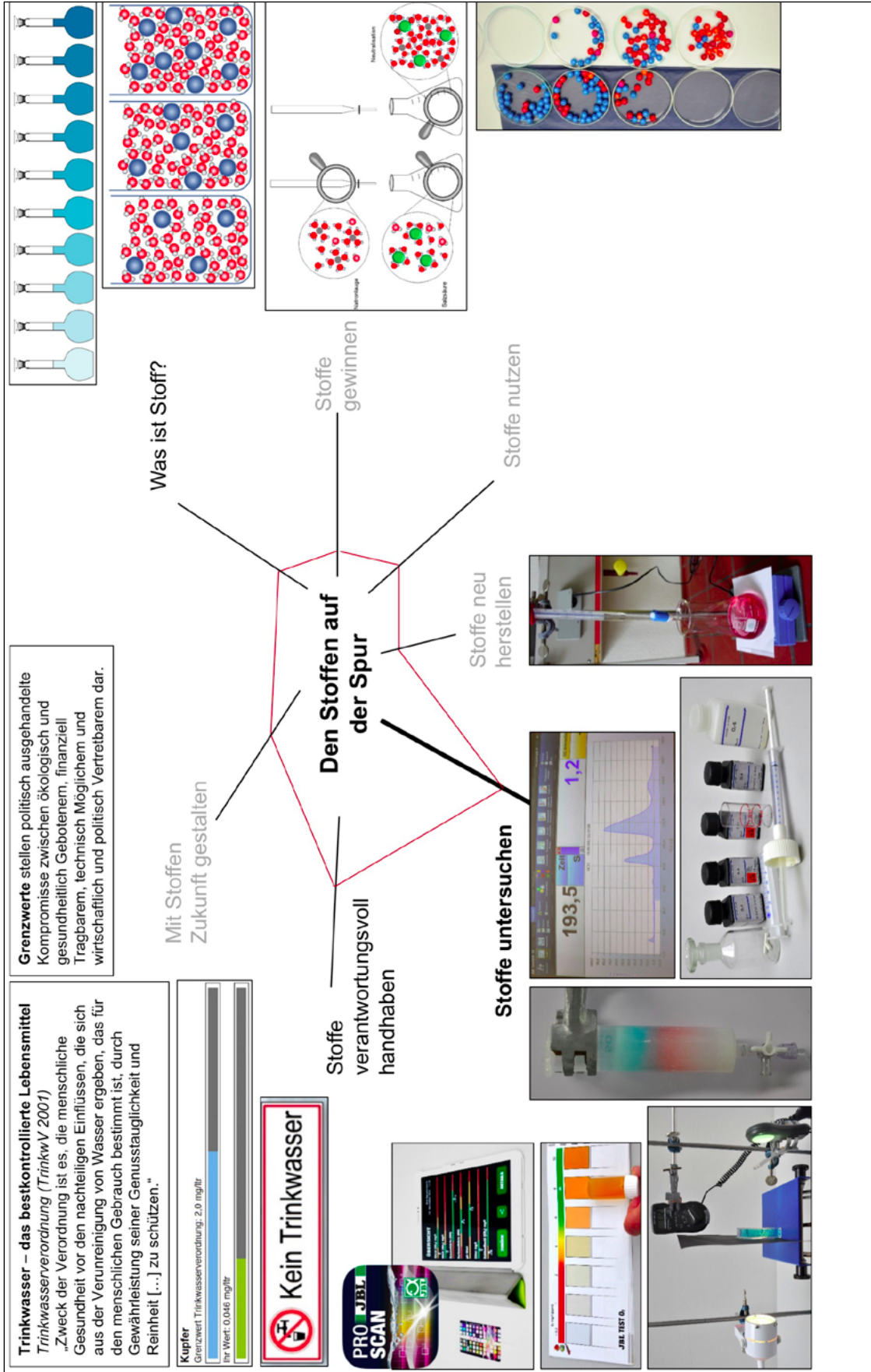


Abb. 38: Post-Organizer zu Chemie TF 9

4.2 Mögliche Unterrichtsgänge im Überblick

Unterrichtsgang Analytiklabor

Phase/ Stunde	Fachwissen/ Basiskonzept	Kompetenzentwicklung/ Schüleraktivitäten Schülerinnen und Schüler ...	Materialien	Mögliche Vertiefung und zusätzliche Materialien
Einführende Lernsituation: Wir sind ein Analytiklabor und bearbeiten Untersuchungsaufträge.				
	Analytik: Stoffe können mit bestimmten Verfahren identifiziert und quantitativ erfasst werden.	... stellen Beispiele für analytische Verfahren und Fragestellungen aus ihrer Lebenswelt zusammen; z. B. Welche Bedeutung haben diese Parameter/Werte? Welche Werte sind normal? Wie bestimmt man diese Werte? Wie genau kann man die Werte bestimmen? Wer führt solche Untersuchungen durch (Berufe)? ... stellen relevante Parameter zusammen, die in Analytiklaboren untersucht werden.	ÜV_Landesuntersuchungsamt RLP_Standorte_Kontakte_Aufgaben	Aktuelle Medienberichte
Erarbeitung: Analytische Verfahren praktisch durchführen				
LE 1	Prinzipien wichtiger Messverfahren Kolorimetrie Fotometrie Messgenauigkeit	... messen einen Parameter mit verschiedenen Geräten. ... schätzen Aussagekraft der Messwerte ein und bewerten den Fall. ... erläutern das Verfahren der Kolorimetrie mit Skizzen und Modellen. ... führen Modellexperimente zur Kolorimetrie durch. ... diskutieren Messgenauigkeiten verschiedener Verfahren	LE1_Kupfer_Fall LE1_Kupfer_Info und SV (Fotometrie) LE1_Nitrat_Fall LE1_Nitrat_Info und SV LE1_Ammonium_Fall LE1_Ammonium_Info und SV Test-Sets Wasseruntersuchungskoffer LE1_Exp_Modell_Konzentration LE1_Von der Farbe zur Zahl	LE1_LE3_Rezensionen Wasseruntersuchungskoffer

LE 3	<p>Prinzipien wichtiger Messverfahren</p> <p>Maßanalyse</p>	<p>... messen einen Parameter mit versch. Geräten.</p> <p>... schätzen die Aussagekraft der Messwerte ein und bewerten den Fall.</p> <p>... erklären das Prinzip der Maßanalyse.</p> <p>... erläutern modellhaft das Verfahren der Maßanalyse auf der Teilchenebene.</p>	<p>LE3_Gesamthaerte_Fall LE3_Gesamthaerte_Info und SV LE3_Saeure im Wein_Fall LE3_Saeure im Wein_Info und SV LE3_Sauerstoff_Winkler</p> <p>Test-Sets</p>	<p>TF6 Dreiebenen-Blatt Neutralisation TF6_LE4_Titration_Saeuregehalt in Most und Wein_Vertiefung</p>
LE 2	<p>Prinzipien wichtiger Messverfahren</p> <p>Chromatografie</p>	<p>... trennen ein Stoffgemisch chromatografisch auf.</p> <p>... schätzen Aussagekraft der Messwerte ein und bewerten den Fall.</p> <p>... erklären das Prinzip der Chromatografie.</p> <p>... erläutern ein Chromatogramm.</p> <p>... diskutieren ein Modell zur Chromatografie.</p>	<p>LE2_Scheckbetrug_Fall LE2_Scheckbetrug_Info und SV LE2_KoolAid_Fall LE2_KoolAid_Info und SV LE2_Feuerzeugbenzin_Fall LE2_Feuerzeugbenzin_Info und SV Gaschromatograf AKGC15K und Software (Kappenberg) LE2_Chromatografie_Modell_Flusslauf LE2_Chromatografie_Modell_Teilchenebene</p>	<p>LE2_Adsorptionschromatografie_Spiel LE2_Verteilungschromatografie_Spiel</p>
LE 4	<p>Messverfahren auswählen</p> <p>Messgenauigkeit Nachweisgrenze Grenzwert</p>	<p>... recherchieren Definition, Ursachen und Zustandekommen von Grenzwerten.</p> <p>... diskutieren Messgenauigkeiten verschiedener Verfahren.</p>	<p>Fälle, die in den Lerneinheiten 1-3 nicht bearbeitet wurden: Z. B.: Messgenauigkeit Gesamthärte Z. B.: Grenzwert Nitrat LE4_Testsets_Bestimmung_Nitrat LE4_Geraete_Materialien_Bestimmung_pH-Wert</p>	<p>LE4_Nachweisgrenze_Geschmackssinn_Salz</p>
Dekontextualisierung				
	<p>Beispiele für analytische Verfahren und Fragestellungen aus der Lebenswelt</p>	<p>... planen Experimente, um einem Umweltproblem nachzugehen.</p> <p>... wenden das Wissen über Messverfahren und Messgenauigkeit in verschiedenen Zielsetzungen an.</p> <p>... entnehmen Informationen aus Diagrammen oder Tabellen oder anderen Darstellungen in Medien.</p>	<p>Wasserqualität Aquarium/Teich untersuchen: LE1_LE3_Aq_JBL Sollwerte und Messwerttabelle LE1_LE3_Aq_JBL_Messwerte verbessern LE1_LE3_Aq_App_JBL_Proscan Anleitung</p> <p>Wasseruntersuchungskoffer JBL Testlab</p>	<p>Aktuelle Medienberichte LE4_Entsauerung Stadtwasser</p>

Unterrichtsgang Aquarium

Phase/ Stunde	Fachwissen/ Basiskonzept	Kompetenzentwicklung/ Schüleraktivitäten Schülerinnen und Schüler ...	Materialien	Mögliche Vertiefung und zusätzliche Materialien
LE 1 LE 3	Analytische Verfahren praktisch durchführen	<ul style="list-style-type: none"> ... recherchieren Parameter, die wichtig sind für die Wasserqualität. ... messen einige Parameter selbst. <ul style="list-style-type: none"> - sensorisch - physikalisch (pH, Leitfähigkeit) - kolorimetrisch (Nitrat, Ammonium, Phosphat ...) - trimetrisch (Wasserhärte, Sauerstoff nach Winkler) 	<p>LE1_LE3_Aq_JBL_Sollwerte und Messwerttabelle</p> <p>LE1_LE3_Aq_App_ProScan_JBL_Anleitung</p> <p>LE1_LE3_ChemAnalyse_Karten</p> <p>Wasseruntersuchungskoffer und Testkits mit Anleitungen und ggf. Handbuch</p>	<p>LE1_LE3_Aq_JBL_Messwerte verbessern</p> <p>LE1_LE3_Rezensionen Wasseruntersuchungskoffer</p>
LE 4	Die Aussagekraft von Messwerten einschätzen Messgenauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ... sammeln Fragen dazu, z. B.: Was bedeuten diese Werte für die Wasserqualität? Welche Werte sind normal? Wie genau stimmen unsere Werte? Finden wir auch geringe Mengen der Stoffe? Wer führt solche Untersuchungen durch? Welche Berufe stehen dahinter? (Vernetzung mit TF 8) ... recherchieren zu den verschiedenen Parametern. ... messen einen Parameter (z. B. Nitrat) mit verschiedenen Geräten. ... diskutieren Messgenauigkeiten verschiedener Verfahren. ... führen z. B. Cu^{2+} Messungen mit verschiedenen Verfahren durch und ermitteln eine Nachweisgrenze. ... bewerten das Aquarienwasser. 	<p>LE1_LE3_Aq_JBL_Sollwerte und Messwerttabelle</p> <p>LE1_LE3_Aq_JBL_Messwerte verbessern</p> <p>LE1_LE3_ChemAnalyse_Karten</p> <p>Anleitungen bzw. Handbücher von Testkits oder Wasseruntersuchungskoffern</p> <p>LE4_Testsets_Bestimmung_Nitrat</p> <p>LE4_Geraete_Materialien_Bestimmung_pH-Wert</p>	
	Nachweisgrenze		<p>Teststäbchen und Wasseruntersuchungskoffer, z. B. Testlab (JBL)</p> <p>LE1_LE3_ChemAnalyse_Karten</p> <p>siehe auch: „Fall“ Kupfer</p>	<p>LE4_Nachweisgrenze_Geschmackssinn_Salz</p>

LE 1 LE 3	Prinzipien wichtiger Messverfahren	<p>... erläutern das Verfahren der Kolorimetrie mit Skizzen und Modellen.</p> <p>... führen Modellexperimente zur Kolorimetrie durch.</p> <p>... erklären das Prinzip der Maßanalyse.</p>	LE1_Exp_Modell_Konzentration LE1_Von der Farbe zur Zahl	
Minikontext Mineralwasser				
LE 2	Prinzipien wichtiger Messverfahren	<p>... besuchen ein Labor (Wasserwerk, Mineralbrunnenbetrieb, chem. Untersuchungsamt) oder werten Originaldaten eines Labors aus.</p> <p>... erläutern ein Chromatogramm.</p> <p>... erklären das Prinzip der Chromatografie.</p> <p>... diskutieren ein Modell zur Chromatografie.</p>	<p>ÜV Ionenchromatogramm Mineralwasser</p> <p>LE2_Chromatografie_Modell_Flusslauf</p> <p>LE2_Chromatografie_Modell_Teilchenebene</p>	<p>LE2_Adsorptionschromatografie_Spiel</p> <p>LE2_Verteilungschromatografie_Spiel</p>
LE 4	Grenzwert	<p>... recherchieren Definition, Ursachen und Zustände von Grenzwerten.</p> <p>... diskutieren die Problematik des „Nullstandards“.</p>	TWU (Trinkwasseruntersuchungen Sinzig) aus den Jahren 1996, 2006, 2016 LE4_Grenzwert_Berichte TWU Sinzig	Trinkwasser-Verordnung Mineral- und Tafelwasser-Verordnung
Dekontextualisieren, Üben und Vernetzen				
LE 4	analytische Verfahren situativ anwenden	<p>... planen Experimente, um ein Umweltproblem nachzugehen.</p> <p>... stellen erhobene Messwerte tabellarisch und grafisch dar.</p> <p>... entnehmen Informationen aus Diagrammen oder Tabellen oder anderen Darstellungen in Medien.</p>	<p>LE4_Entsaeuering Stadtwasser</p> <p>LE4_Testsets_Bestimmung_Nitrat</p> <p>LE4_Geraete_Materialien_Bestimmung_pH-Wert</p> <p>LE4_Grenzwert_Berichte TWU Sinzig</p> <p>ÜV_Stoichiometrie Elementfamilien</p>	Handreichung, siehe 3,4, LE 4: Probleme, um einen Lösungsweg zu planen Situationen, um Verfahren auszuwählen.

4.3 Liste der verfügbaren Muster-Gefährdungsbeurteilungen zum TF 9

Wasser analysieren mit Schnelltests

Feuerzeuggas gaschromatografisch untersuchen

Propanol – Kool Aid dünn-schichtchromatografisch untersuchen

Ethanol als Laufmittel einer Säulenchromatografie mit Kreide

Blaulauge zur Titration von Säuren im Wein

Methylenblau – Modell zum Konzentrationsbegriff

Sauerstoffbestimmung nach Winkler

Trinkwasserentsäuerung

LITERATURVERZEICHNIS

Harsch, G.; Bussemas, H.: Bilder, die sich selber malen. DuMont, Köln 1985, S.74-75.

Hütter, L.: Wasser und Wasseruntersuchungen, Reihe: Laborbücher Chemie, Diesterweg/Salle, Sauerländer. Frankfurt am Main, Berlin, München, Salzburg. 2. Auflage 1984.

Merck KGaA (2018): Vom Trennen und Erkennen. Chromatografie - eine traditionsreiche Methode mit Zukunft. Darmstadt.

Merck KGaA: Broschüre „Kompaktlabor für Wasseruntersuchungen“.

http://www.merckmillipore.com/DE/de/product/Compact-Laboratory-for-Water-Testing,MDA_CHEM-111151

Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur (Hrsg.) (2016): Lehrplan für die gesellschaftswissenschaftlichen Fächer Erdkunde, Geschichte, Sozialkunde; Rheinland-Pfalz, S.82-83.

Rodigast, K., Kallfelz, M.: Sieben auf einen Streich – Wasseranalyse auf AppWegen, Friedrich-Verlag, Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht 5-10, Heft 19 (2017), Seite 16-17.

Römp online: Stichwort „Nachweisgrenze“.

Vermeer, M. (2015): Mit dem Wasser kommt der Tod. KBV, Hillesheim.

Wikipedia: Stichwort „Nachweisgrenze“, Stichwort „Grenzwert“.

AUTORINNEN UND AUTOREN

Dr. Alexander Bender

Gymnasium an der Stadtmauer, Bad Kreuznach

Helmuth Biernoth

Integrierte Gesamtschule Kandel, Kandel

Barbara Dolch

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Birgit Groll

Sebastian-Münster-Gymnasium, Ingelheim

Monika Kallfelz

Görres-Gymnasium, Koblenz

Kathrin Klose

Wilhelm-Remy-Gymnasium, Bendorf

Jürgen Kopp

Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien Trier, Trier

Elisabeth Kukula

Frauenlob-Gymnasium Mainz, Mainz

Dr. Holger Kunz

Max-Planck-Gymnasium Trier, Trier

Christian Lauer

Integrierte Gesamtschule Kandel, Kandel

Yvonne Lesiak

Justus-von-Liebig-Realschule plus, Maxdorf-Lamsbheim

Heike Nickel

Kurfürst-Ruprecht-Gymnasium, Neustadt an der Weinstraße

Michaela Ostermann

Regino-Gymnasium Prüm, Prüm

Dr. Susanne Pleus

Maria-Ward-Schule, Landau

Maria Reiner

Are-Gymnasium Bad Neuenahr, Bad Neuenahr

Dr. Myriam Replinger

Regino-Gymnasium Prüm, Prüm

Karsten Rodigast

Konrad-Adenauer-Schule, RS+ und FOS, Asbach

Cornelia Schäfers

Are-Gymnasium Bad Neuenahr, Bad Neuenahr

Karin Scheick

Kopernikus-Gymnasium Wissen, Wissen

Thomas Schemer

Max-Planck-Gymnasium Trier, Trier

Wilhelm Willer

Eduard-Spranger-Gymnasium Landau, Landau

Sofern in der Bildunterschrift nicht anders deklariert, stammen die Abbildungen von den Autorinnen und Autoren selbst.



Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES
LANDESINSTITUT

Butenschönstr. 2
67346 Speyer

pl@pl.rlp.de
www.pl.rlp.de