

## B3 Luftverschmutzung

Teilexperiment B3.1 Ein Verbrennungsvorgang braucht Sauerstoff

Teilexperiment B3.2 Verschmutzung der Luft

### 1 Zentrale Fragestellung

Nachfolgend werden die handlungsleitenden Fragestellungen formuliert, die den Teilexperimenten zu Grunde liegen:

- Welche Voraussetzungen sind nötig, damit ein Verbrennungsvorgang ablaufen kann?
- Wie hängen Verbrennungsvorgänge mit der Luftverschmutzung zusammen?
- Was ist Ruß?
- Was passiert bei der Verbrennung eines Stoffs?
- Welche Stoffe tragen zur Luftverschmutzung bei?

### 2 Hintergrund

#### 2.1 Lehrplanrelevanz

Luft als ein zentraler Bestandteil unserer Existenz wird selten bewusst wahrgenommen. Gründe für diese mangelnde Wahrnehmung finden sich vor allem in der Tatsache, dass das Stoffgemisch Luft nicht „sichtbar“ ist. Gewöhnlich erkunden Kinder ihre Umgebung mit allen Sinnen. Sie begreifen. Sie setzen sich mit Farbe und Form, Geruch und Geschmack auseinander. Sie nehmen wahr, betrachten und fühlen. Beim Thema Luft kommt die kindliche Vorstellungskraft an Grenzen: Deshalb ist Luft für Kinder oft ein „Nichts“. Durch den spielerischen und forschenden Umgang mit dem Thema „Luftverschmutzung“ stellen die Schülerinnen und Schüler fest, dass man beinahe überall eine Verschmutzung der Luft antreffen kann. Außerdem lernen sie einige Ursachen für die Luftverschmutzung kennen: Verbrennungen, Abgase, Feinstaub, Blütenpollen. Sie erfahren, dass frische Luft wesentlich zum Wohlbefinden beiträgt.

#### Themen bzw. Begriffe

Atemluft, Ausatemluft, Feinstaub, Feuer, Flamme, Gesundheitsgefährdung, Kohlenstoffdioxid, Luft, Luftverschmutzung, Pollen, Rauch, Ruß, Sauerstoff, Sauerstoffmangel, Verbrennungsvorgang

#### 2.2 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- verstehen, dass Luft nicht „Nichts“ ist, sondern ein Stoffgemisch aus verschiedenen Gasen.
- begreifen die Lebensnotwendigkeit von frischer Luft für Tiere und Pflanzen.
- sind in der Lage, sichtbare und unsichtbare Luftverschmutzer zu identifizieren.
- sind über Möglichkeiten der Verminderung von Luftverschmutzung informiert.

### 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Durchführung

Hinweis: Die aufgelisteten Materialien sind ausgelegt für das Experimentieren **einer** Gruppe von maximal **fünf** Schülerinnen und Schülern.

### 4.1 Telexperiment B3.1 Verbrennung braucht Sauerstoff

#### 4.1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Abdeckungen für Gläser, z. B. kleine Teller	2
feuerfeste, flache Unterlage, z. B. Backblech oder großer Porzellanteller	1
Gläser, <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ in verschiedenen Größen, mit Nummern und Volumenangabe*</li> <li>   versehen, z. B. mit wasserfestem Stift</li> <li>▪ gleich groß wie eines der vorigen Gläser</li> </ul>	3  1
Luftballon	1
Stoppuhr	1
Streichhölzer	1 Packung
Teelicht	2

\* Falls keine Gläser mit Volumenangabe vorhanden sind, können die Angaben auch von Hand mit einem wasserfesten Stift gemacht werden. Oder die Schülerinnen und Schüler bestimmen die Volumina selbst: Das Glas wird mit Wasser gefüllt. Anschließend wird das Wasser in einen Messbecher gegossen, das Volumen abgelesen und das Glas beschriftet.

#### 4.1.2 Organisatorisches

<b>Räumlichkeiten</b>	Im Unterrichtsraum oder im Freien ohne Wind, an einem einfachen Tisch. Die Lehrkraft muss anwesend sein.
<b>Zeitbedarf</b>	ca. 60 Minuten (gemeinsam mit B3.2: 90 Minuten)
<b>Sicherheitshinweise</b>	siehe Handbuchordner „Sicherheitshinweise zum Thema Umwelt“ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beide Telexperimente dürfen nicht ohne Beaufsichtigung durchgeführt werden. Die Lehrkraft muss das Brennen der Kerze beobachten und Feuerlöscher, Löschdecke oder Ähnliches bereithalten.</li> <li>▪ Kinder mit langen Haaren müssen diese auf jeden Fall zusammenbinden. Schals usw. sind abzulegen.</li> </ul>
<b>Aufräumen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Teelichter müssen vollständig erkaltet sein, bevor sie aufgeräumt werden.</li> <li>▪ Sollen die Gläser im Anschluss anderweitig eingesetzt werden, kann die wasserfeste Schrift problemlos mit Spülmittel oder einer Bürste entfernt werden. Die Gläser sollten vor dem nächsten Gebrauch gespült werden.</li> <li>▪ Die Luftballons werden aus Hygienegründen entsorgt.</li> </ul>

### 4.1.3 Das Teilerperiment im Erklärungszusammenhang

Die Schülerinnen und Schüler lernen anhand zweier aufeinander aufbauender Teilerperimente, dass die Unterhaltung eines Verbrennungsvorgangs Sauerstoff benötigt und dieser umso länger anhält, je mehr Sauerstoff zur Verfügung steht. Sie lernen, dass Verbrennungsvorgänge frische, also sauerstoffreiche Luft benötigen, so wie wir Menschen zum Atmen den Sauerstoff in der Luft benötigen.

#### Fachlicher Hintergrund

Als Verbrennungsreaktionen bezeichnet man im Allgemeinen die Verbrennung von Stoffen in Anwesenheit von Sauerstoff (Oxidation). Verbrennt man Kohlenstoff oder Wasserstoff, so ist das Verbrennungsprodukt Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) oder Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Auch bei der Verbrennung von organischen Verbindungen (z. B. Glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), Butan-Gas ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) oder Spiritus ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )) entstehen u. a. diese Verbrennungsprodukte. Auch bei der Zellatmung im menschlichen Körper, bei der Glucose mit Sauerstoff oxidiert wird, entstehen diese beiden Produkte. Verbrennt man Stickstoff oder Schwefel, so entstehen hingegen Stickstoff- und Schwefeloxide.

Andere Gase als Sauerstoff, also z. B. Kohlenstoffdioxid unterhalten die Flamme bei der Verbrennung nicht. Verbrennungsvorgänge sind daher auf die ständige Zufuhr von Sauerstoff angewiesen. Dieser Sauerstoff fehlt dann in der Umgebungsluft des Feuers; an seine Stelle tritt das Kohlenstoffdioxid. Verbrennungsvorgänge, wie sie in großen Kraftwerken, in Autos oder bei der Brandrodung stattfinden, sind maßgeblich für die Klimaerwärmung verantwortlich. Denn das Kohlenstoffdioxid, das dabei entsteht, verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt und führt damit zu einer Erwärmung der Erde. Kohlenstoffdioxid wird deshalb in der Alltagssprache auch als „Treibhausgas“ bezeichnet. Sehr viele Maßnahmen für die Reduzierung von Treibhausgasen (neben Kohlenstoffdioxid z. B. auch Methan, Ozon, Distickstoffoxid usw.), wie sie z. B. nach dem Kyoto-Protokoll von 1997 beschlossen wurden, betreffen u. a. den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß, da hier die Ursachen gut bekannt und daher Maßnahmen für die Emissionssenkung ableitbar sind. Tatsächlich ist die weltweite Treibhausgasemission 2013 an ihrem bisherigen Höchstpunkt angekommen.

Kohlenstoffdioxid ist schwerer als die Luft und fließt beim Gießen daher nach unten. Reichert man die Umgebungsluft einer Flamme mit Kohlenstoffdioxid an, so erstickt dieses Gas die Flamme und die Flamme erlischt.

Hier kann man Parallelen zur Atmung ziehen: In einer Kohlenstoffdioxid-Atmosphäre würden Lebewesen, die auf Sauerstoff angewiesen sind, ersticken.

#### 4.1.4 Vorkenntnisse und Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler erfragen

Bei diesem Thema darf mit vielen Vorkenntnissen oder bereits getätigten Beobachtungen gerechnet werden. Feuer und Flammen sind sehr faszinierend und einige der Schülerinnen und Schüler werden Kerzenflammen schon ausgiebig betrachtet haben. Auch die Beschäftigung mit frischer und verbrauchter Luft steht an der Tagesordnung, z. B. wenn beim Stundenwechsel die Klassenzimmer gelüftet werden.

Die Schülerinnen und Schüler könnten sich zu Folgendem äußern:

- Aussehen eines Feuers, einer Flamme; z. B. von Kerzen oder einem Lagerfeuer.
- Voraussetzungen für die Entstehung und Stabilität der Flamme: Genügend Luft, kein Luftzug, kontinuierliche Zufuhr von Brennmateriale und Luft.
- Gründe für das Erlöschen einer Flamme.
- „Frische Luft“: Diese enthält den lebenswichtigen Sauerstoff für unsere Atmung.
- „Verbrauchte Luft“: Diese enthält viel Kohlenstoffdioxid, den Stoff, den wir ausatmen.

Weisen Sie gegebenenfalls darauf hin, dass Feuer kein Stoff oder Element ist, sondern Licht- und Wärmeenergie darstellt.

#### 4.1.5 Der Forschungskreis

Wichtige Aspekte und Hinweise zu den einzelnen Prozessschritten des Forschungskreises im Experiment für Schülerinnen und Schüler:

<b>Problem/Phänomen erkennen</b> 	<p>In diesem Experiment geht es um das Phänomen, dass jeder Brand Sauerstoff benötigt. Hier können Sie als Lehrkraft auch das Beispiel einer Branddecke verwenden, die man auf einen Brandherd wirft, um das Feuer zu ersticken.</p>
<b>Die Forschungsfrage</b> 	<p>Zu der in der Anleitung für Schülerinnen und Schüler formulierten Forschungsfrage sind folgende Alternativen möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wann brennt eine Kerze und wann nicht?</li> <li>▪ Warum wird ein Waldbrand größer, wenn starker Wind geht?</li> </ul>
<b>Ideen und Vermutungen sammeln</b> 	<p>Mögliche Vermutungen könnten sein:</p> <p><b>Zur Forschungsfrage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ „Weil die Flammen dann mehr Platz haben.“</li> <li>▪ „Weil dann ein Luftzug entsteht und die Flammen mitreißt.“</li> <li>▪ „Weil dann viel Sauerstoff zum Feuer gelangt. Das Feuer braucht Sauerstoff.“</li> </ul> <p><b>Zu den Experimenten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ „Die Kerze unter dem größten Glas brennt am längsten, weil es die meiste Luft hat!“</li> <li>▪ „Die Flamme unter dem größten Glas ist auch größer.“</li> <li>▪ „Die Gläser werden schwarz.“</li> <li>▪ „Die Kerze brennt ab.“</li> <li>▪ „Die Flamme erstickt in der Ausatemluft.“</li> <li>▪ „Die Kerze brennt nicht mehr.“</li> </ul> <p>Leiten Sie von den Vermutungen auf das Experiment über.</p>

<p><b>Experimentieren</b></p> 	<p><b>Aufbau des Telexperiments 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bereiten Sie für jede Gruppe Schülerinnen und Schüler drei Gläser unterschiedlichen Volumens vor. Am besten wäre, wenn die Gläser mit einem wasserfesten Stift nach aufsteigendem Volumen mit den Ziffern 1 bis 3 nummeriert werden. Außerdem kann das jeweilige Volumen der Gläser auf dem Glas notiert werden. Dies schult das Verständnis für und die Abschätzung von Rauminhalten. Außerdem können Schätzungen getroffen werden, ob z. B. eine Kerze bei doppeltem Luftvolumen auch doppelt so lange brennt.</li><li>▪ Weisen Sie darauf hin, dass das Teelicht-Gehäuse heiß sein kann.</li></ul> <p><b>Aufbau des Telexperiments 2:</b></p> <p>Mithilfe eines Luftballons lassen die Schülerinnen und Schüler die mit Kohlenstoffdioxid angereicherte Luft, ihre Ausatemluft, zu einem Teelicht in ein Glas fließen.</p> <p><b>Durchführung des Telexperiments 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Die Schülerinnen und Schüler beobachten die Flammenerscheinung und untersuchen die Brenndauer eines Teelichts in Abhängigkeit vom zur Verfügung stehenden Luftvolumen.</li><li>▪ Die Messung der Beobachtungen erfolgt mit der Stoppuhr. Geben Sie hier gegebenenfalls Hilfestellung. Weisen Sie auch darauf hin, dass die Ausgangslage bei allen drei Durchgängen gleich sein sollte, die Flamme zu Beginn also immer ähnlich groß und stabil sein muss.</li></ul> <p><b>Durchführung des Telexperiments 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bei diesem Experiment ist Teamarbeit gefragt, da die Gläser direkt nach dem Einfüllen der Ausatemluft abgedeckt werden müssen.</li><li>▪ Da es hier nur um die Beobachtung geht, dass die Kerze mit normaler Luft länger brennt, ist eine Messung der Brenndauer mit der Stoppuhr nicht nötig.</li><li>▪ Beim Einlassen der Atemluft in das Glas ist Vorsicht geboten: Lässt man die Luft zu schnell einströmen, geht die Kerze aus.</li><li>▪ Zudem wird sich die Atemluft am Boden des Glases niederlassen, da Kohlenstoffdioxid schwerer ist als Sauerstoff. Das Teelicht wird also unter Umständen sehr schnell ausgehen.</li></ul>
---	--

<p><b>Beobachten und dokumentieren</b></p> 	<p><b>Wichtigste Beobachtung zum Telexperiment 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Im größten Glas brennt das Teelicht am längsten. Die eingetragenen Werte in der Tabelle variieren je nach verwendeter Größe der Gläser.</li> <li>▪ Außerdem kann beobachtet werden, dass die Flamme mit zunehmender Brenndauer, und damit verbundener Reduktion des Sauerstoffgehaltes im Glas, immer kleiner und weniger hell wird, bis sie schließlich erlischt.</li> </ul> <p><b>Wichtigste Beobachtung zum Telexperiment 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Im Glas mit der Ausatemluft brennt das Teelicht nicht so lange wie in dem anderen Glas.</li> <li>▪ Außerdem können die Schülerinnen und Schüler eventuell beobachten, dass das Gas tatsächlich nach unten fließt, sofern der Kohlenstoffdioxidgehalt einigermaßen hoch ist und die Kerze bereits durch das Gießen des Gases erlischt.</li> </ul>
<p><b>Auswerten und reflektieren</b></p> 	<p><b>Zu erwartende Ergebnisse: Zusammenfassung</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Je größer das Glas und das damit verbundene Luftvolumen, desto länger brennt das Teelicht.</li> <li>2. Mit Ausatemluft erlischt die Flamme schneller.</li> <li>3. Die Kerze erlischt, wenn der für die Verbrennung notwendige Sauerstoffgehalt zu gering wird.</li> </ol> <p>Die Feuerwehrmann-Aussagen und Tipps zum Verhalten im Brandfall dienen der Zusammenfassung und der Überleitung zur Herstellung einer Analogie mit dem Sauerstoffverbrauch und der Kohlenstoffdioxidproduktion durch die Atmung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Je mehr frische Luft an ein Feuer gelangt, desto länger hält der Brennvorgang an. (richtig)</li> <li>▪ Je weniger frische Luft an ein Feuer gelangt, desto länger hält der Brennvorgang an. (falsch)</li> <li>▪ Fenster und Türen muss man bei einem Brand schließen, weil sonst viel frische Luft zum Feuer gelangt und das Feuer dadurch größer und länger brennt. (richtig)</li> <li>▪ Je mehr Kohlenstoffdioxid die Luft enthält (Ausatemluft), desto länger brennt das Feuer. (falsch)</li> <li>▪ Je mehr Sauerstoff die Luft enthält, desto besser brennt das Feuer. (richtig)</li> <li>▪ Eine Verbrennung braucht genauso wie wir Menschen Sauerstoff. (richtig)</li> <li>▪ Beim Verbrennungsvorgang entsteht Kohlenstoffdioxid. (richtig)</li> </ul> <p><b>Rückbezug zur Anlassgeschichte:</b></p> <p>Nach dem Experiment und der Erklärung des Feuerwehrmannes versteht Ben, warum er im Brandfall Fenster und Türen schließen soll. Damit wird verhindert, dass sich das Feuer weiter ausbreiten kann.</p>

## 4.1.6 Weiterführende Informationen

### In der Anleitung für Schülerinnen und Schüler

<p><b>So kannst du weiterforschen</b></p> 	<p>Sie können jetzt die verschiedenen Möglichkeiten für eine Brandlöschung besprechen. Zeigen Sie den Schülerinnen und Schülern folgende Gegenstände oder Abbildungen davon:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Feuerlöscher (mit Pulver oder Schaum)</li> <li>▪ Löschsand</li> <li>▪ Löschdecke.</li> </ul> <p>Fragen Sie, ob die Schülerinnen und Schüler die ein oder andere Löschmethode kennen und wenn ja woher. Diskutieren Sie in der Gruppe, welche Art von Feuer mit welcher Methode am besten gelöscht werden kann.</p> <p>Viele Methoden der Brandlöschung zielen auf den Entzug von Sauerstoff ab. Beim Löschen mit Wasser wird das Feuer nicht durch Sauerstoffentzug gelöscht, sondern durch Absenken der Temperatur. Kleine Brände im Haushalt bekämpft man durch Abdecken und Ausklopfen des Brandes. Wichtig: Brennendes Fett nie mit Wasser löschen! da durch die schlagartige Wasserdampfentwicklung heißes Fett in die Umgebung gerissen wird und sich entzündet.</p>
---	--

### Sonstiges

Die Emissionen des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid werden in vielen Ländern nicht etwa gedrosselt, sondern erreichen immer wieder neue Höhepunkte. Besprechen Sie mit den Schülerinnen und Schülern die Prozesse, die für eine erhöhte Kohlenstoffemission verantwortlich sind.

Helfen Sie bei Verständnisproblemen.

Dann sollen die Schülerinnen und Schüler Lösungsansätze für eine Senkung ihrer eigenen Kohlenstoffdioxidemission formulieren. Ansätze, die das eigene Handeln betreffen, sind einfacher zu formulieren als solche, die das Handeln anderer betreffen. Ein Beispiel:

- Problem: Die Abgase von Autos enthalten Kohlenstoffdioxid.
- Lösung: Kurze Wege zu Fuß oder mit dem Rad, längere Strecken mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurücklegen (eigenes Handeln). Konstruktion von Elektroautos (andere).

Bei weltweiten Lösungsansätzen werden die Schülerinnen und Schüler vermutlich vor allem Verbote vorschlagen.

Räumen Sie für dieses wichtige Thema einige Zeit ein.

## 4.2 Telexperiment B3.2 Verschmutzung in der Luft

### 4.2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Klebefilm	1 x ca. 7 cm
Lupe	1
Reagenzglas	1
Reagenzglasklammer	1
Streichhölzer	1 Packung
Teelicht	1
feuchtes Tuch für die Reinigung des Testobjektes	1
Feuerfeste, flache Unterlage, z. B. Backblech oder großer Porzellanteller	1
Wattestäbchen	1

### 4.2.2 Organisatorisches

<b>Räumlichkeiten</b>	Im Unterrichtsraum oder im Freien, an einem einfachen Tisch. Die Lehrkraft muss anwesend sein.
<b>Zeitbedarf</b>	ca. 20 Minuten (gemeinsam mit B3.1: 90 Minuten)
<b>Sicherheitshinweise</b>	siehe Handbuchordner „Sicherheitshinweise zum Thema Umwelt“ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Lehrkraft muss das Brennen der Kerze beobachten und Feuerlöscher, Löschdecke oder Ähnliches bereithalten.</li> <li>▪ Kinder mit langen Haaren müssen diese auf jeden Fall zusammenbinden. Schals usw. sind abzulegen.</li> </ul>
<b>Aufräumen</b>	Die Teelichter müssen vollständig erkaltet sein, bevor sie aufgeräumt werden.

### 4.2.3 Das Telexperiment im Erklärungszusammenhang

Die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass Verbrennungsprozesse zur Luftverschmutzung beitragen können. Sie lernen, dass beim Verbrennungsprozess die Ausgangsstoffe nicht verschwinden, sondern Verbrennungsprodukte entstehen (hier Ruß und Wasserdampf) und in die Luft abgegeben werden.

#### Fachlicher Hintergrund

Eine Verbrennung verläuft umso vollständiger und länger, je mehr Sauerstoff zur Verfügung steht. Je mehr Sauerstoff vorhanden ist, desto größer und heller leuchtet die Flamme. Verläuft eine Verbrennungsreaktion hingegen aufgrund von Sauerstoffknappheit unvollständig, so entstehen Rußpartikel. Die Verbrennung dieser Rußpartikel verläuft mit einer gelben Flamme. Dies ist der Grund, weshalb die Kerzenflamme, bei der das gasförmige Wachs verbrannt wird, gelb erscheint. Befinden sich Ruß- und andere feste Partikel in der Luft, so spricht man von Rauch. Ruß ist elementarer Kohlenstoff in Pulverform und enthält auch ölige Bestandteile als Verbrennungsrückstände. Dies kann man einfach nachvollziehen, wenn man Ruß zwischen den Fingern reibt. Ruß zählt zum Feinstaub, die Partikel sind sehr klein, sodass sie die Atemwege

bei häufiger und längerer Exposition nachhaltig schädigen können. Ruß selbst könnte für den Menschen krebserzeugend sein. Je nach verbranntem Ausgangsstoff können im Ruß auch weitere Bestandteile sein, die definitiv krebserzeugend sind, z. B. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe. Verbrennungsvorgänge sind also maßgeblich an der Luftverschmutzung und Gesundheitsbeeinträchtigung beteiligt.

Bei einem Verbrennungsvorgang gibt es stets einen gasförmigen Ausgangsstoff, Sauerstoff, und zwei gasförmige Endstoffe: Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf. So entsteht für viele der Eindruck, die Ausgangsstoffe würden verschwinden, tatsächlich verlassen die Endstoffe nur die Reaktion und treten in die Luft über. Bei chemischen Reaktionen gilt nämlich das „Gesetz zur Erhaltung der Masse im geschlossenen System“. Das bedeutet, dass Stoffe nicht verschwinden, sondern nur einer Stoffumwandlung unterliegen. Daher muss die Masse der Ausgangsstoffe gleich der Masse der Endstoffe (Produkte) sein.

#### 4.2.4 Vorkenntnisse und Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler erfragen

Verbrennungsvorgänge, Feuer, Flamme und Rauchentwicklung sind für die Schülerinnen und Schüler keine unbekanntes Phänomene. Fragen Sie nach den Produkten der Verbrennungsvorgänge und nach Beobachtungen, die man je nach Art des verbrannten Stoffes feststellen kann. Schülerinnen und Schüler wissen auch oft, dass sich die Farbe der Flammen ändern kann, z. B. wenn man verschiedenes Papier, vor allem Hochglanzpapier, verbrennt. Bei einem Lagerfeuer wurden schon viele mit allen Eigenschaften eines Feuers konfrontiert: Es leuchtet gelb bis orangefarben, es wird warm, es entsteht ein typischer Geruch, es entsteht Rauch mit Partikeln, die die Atemwege reizen, es muss Brennmaterial nachgelegt werden.

#### 4.2.5 Der Forschungskreis

Wichtige Aspekte und Hinweise zu den einzelnen Prozessschritten des Forschungskreises im Experiment für Schülerinnen und Schüler:

<p><b>Problem/Phänomen erkennen</b></p> 	<p>In diesem Experiment geht es darum, Schadstoffe, die in der Luft mit bloßem Auge oft nicht sichtbar sind, zu erkennen.</p>
<p><b>Die Forschungsfrage</b></p> 	<p>Zu der in der Anleitung für Schülerinnen und Schüler formulierten Forschungsfrage sind folgende Alternativen möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wie kann die Luft verschmutzt werden?</li> <li>▪ Warum ist die Luftverschmutzung in Städten höher als auf dem Land?</li> </ul>

<p><b>Ideen und Vermutungen sammeln</b></p> 	<p>Mögliche Vermutungen könnten sein:</p> <p><b>Zur Forschungsfrage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ „Das ist Rauch, der verschwindet in der Luft wieder.“</li> <li>▪ „Im Rauch befindet sich Ruß.“</li> <li>▪ „Der Schnee wird durch die Autos schwarz.“</li> <li>▪ „Die Abgase der Autos machen den Schnee schwarz.“</li> <li>▪ „In den Abgasen befindet sich Ruß.“</li> </ul> <p><b>Zum Experiment</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ „Das Reagenzglas fängt zu glühen an.“</li> <li>▪ „Das Reagenzglas kokelt an.“</li> <li>▪ „Das Reagenzglas verbrennt.“</li> <li>▪ „Auf dem Klebefilm finde ich Staub.“</li> </ul> <p>Leiten Sie von den Vermutungen auf das Experiment über.</p>
<p><b>Experimentieren</b></p> 	<p><b>Aufbau des Experiments:</b></p> <p>Die beiden Experimente leiten jeweils dazu an, wie man Luftverschmutzungen entdecken kann. Einmal direkt am Entstehungsort und einmal indirekt in der Umwelt.</p> <p><b>Durchführung Telexperiment 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Schülerinnen und Schüler halten ein Reagenzglas knapp über bzw. in die Kerzenflamme und entdecken dabei, dass Ruß in der unmittelbaren Umgebung der Flamme entsteht.</li> <li>▪ Es ist zu beachten, dass das Reagenzglas an der erwärmten Stelle heiß sein kann.</li> <li>▪ Außerdem soll der Ruß nicht aufgewirbelt und eingeatmet werden.</li> <li>▪ Um den Ruß nicht mit den Fingern zu berühren und im Anschluss zu verteilen, kann der Ruß mit einem Wattestäbchen vom Reagenzglas abgenommen werden. Somit erkennt man die pulvrige Struktur. Andernfalls könnten die Schülerinnen und Schüler ihre Beobachtung für eine schwarze Verfärbung/Verbrennung halten.</li> <li>▪ Der Versuch, den Ruß abzuklopfen, scheitert: Der Ruß ist zu ölig.</li> </ul> <p><b>Durchführung Telexperiment 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Oberfläche des Testobjekts sollte nicht lackiert sein, da der Lack sonst mit dem Klebefilm abblättern könnte.</li> <li>▪ Die glatte Oberfläche der Testobjekte wird mit einem leicht feuchten Lappen gesäubert. Die Fläche darf nicht nass sein.</li> <li>▪ Die „Ernte“ findet dann am nächsten Tag statt: Die Klebeseite sollte nur an den Enden berührt werden.</li> </ul>

<p><b>Beobachten und dokumentieren</b></p> 	<p><b>Wichtigste Beobachtungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unterseite Reagenzglas: An der Unterseite des Reagenzglases ist ein schwarzer Stoff entstanden.</li> <li>▪ Klebeseite Klebefilm: Viele verschiedenartige Teilchen, z. B. Staub, Blütenpollen</li> <li>▪ Tipp: Es gibt sehr schöne Aufnahmen mit einem Rasterelektronenmikroskop von Blütenpollen. Zeigen Sie den Schülerinnen und Schülern Abbildungen, sodass sie erkennen, dass diese kleinen Teilchen sehr unterschiedlich gestaltet sind.</li> </ul>
<p><b>Auswerten und reflektieren</b></p> 	<p><b>Zu erwartende Ergebnisse:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Stoff ist Ruß. Ruß ist schwarz und besteht aus ganz feinem Pulver. Er wirkt ölig.</li> <li>2. Angebranntes Essen, abgebranntes Streichholz, Lagerfeuer, Auspuff, rauchender Ofen, alte Dampflock usw.</li> <li>3. Auf dem Klebefilm findet man Schmutz aus der Luft, Blütenstaub usw.</li> </ol> <p><b>Rückbezug zur Anlassgeschichte:</b></p> <p>Du weißt nun, warum der Schnee am Straßenrand ganz schwarz ist: Es liegt an den Abgasen der Autos, die dort fahren. Der schwarze Ruß, der durch die Verbrennung des Benzins entsteht, legt sich auf den weißen Schnee.</p>

#### 4.2.6 Weiterführende Informationen

##### In der Anleitung für Schülerinnen und Schüler

<p><b>So kannst du weiterforschen</b></p> 	<p>Umweltzonen gibt es europaweit, hauptsächlich in den großen Städten. Im Alltag haben die Schülerinnen und Schüler die Verkehrsschilder für Umweltzonen oder die Umweltplaketten an den Windschutzscheiben der Autos vielleicht schon einmal gesehen. Der Grund, warum es Umweltzonen gibt: Reduzierung von Feinstaub und damit Reinerhaltung der Atemluft. In den großen Städten wird der Straßenverkehr als eine Hauptquelle von Feinstaub angesehen. Ein wesentlicher Anteil ist Ruß aus Dieselfahrzeugen, LKWs und Bussen. Hinzu kommen Reifen- und Bremsenabrieb sowie das Aufwirbeln von Staub auf der Straße. Aber auch Heizungsanlagen mit fossilen Brennstoffen tragen zur Feinstaubbelastung bei. In Deutschland beispielsweise bekommen nur Autos mit Benzinmotor und geregelterm Abgaskatalysator oder Dieselfahrzeuge mit Abgasnorm Euro 4 die grüne Plakette und dürfen in der Innenstadt fahren (weiterführende Informationen hierzu gibt es z. B. beim Umweltbundesamt). In anderen europäischen Ländern sind oft nur Dieselfahrzeuge und LKWs von der Regelung für Umweltzonen betroffen. Ziel dieses Forschungsauftrags ist es, die Schülerinnen und Schülern mit den Schildern/Plaketten für Umweltzonen vertraut zu machen und sie für die Thematik der Reinerhaltung der Luft in allen Lebensbereichen zu sensibilisieren. Detaillierter muss das Thema für diese Altersstufen nicht erarbeitet werden, da die Diskussionen zum Thema „Feinstaub“ sehr kontrovers sind.</p>
---	--

**Sonstiges**

Regen wäscht die Luft und dadurch gelangen viele Luftverschmutzer auf den Boden.

- Manchmal kann man das auch sehen, z. B. wenn nach einem nächtlichen Regenguss Straßen und Autos mit einer klebrigen Pollenmasse bedeckt sind. Die Luft ist dafür sauber. Besonders Allergiker freuen sich dann. Aber auch für Gesunde fühlt sich die eingeatmete Luft nun frischer und sauberer an. Diese Zusammenhänge sind für ein Verständnis der kleinen Teilchen in der Luft wichtig. Sprechen Sie mit den Schülerinnen und Schülern über dieses Phänomen.
- Je nach Interessenlage können Sie auch darauf eingehen, dass der Schmutz, der aus der Luft ausgewaschen wird, auch an der Erdoberfläche negative Auswirkungen haben kann (Stichwort: Saurer Regen. Stickoxide und Schwefeldioxid in der Luft reagieren mit Regenwasser und Sauerstoff zu Salpetersäure beziehungsweise zu Schwefelsäure).

**4.2.7 Wertebezug**

<p><b>Deine Meinung ist gefragt</b></p> 	<p>Bei der Diskussion um Werte in diesem Experiment kann die Lehrkraft einen Impuls geben oder eine Dilemmageschichte erzählen. Beides dient als Hinführung zu einer Reflexionsdiskussion. Wichtig ist, dass der Bezug zu Werten im Experiment hergestellt werden kann. Entweder können lernprozessbezogene Werte (z. B. zuverlässiges Arbeiten in Gruppen) oder gegenstandsbezogene Werte (z. B. Umgang mit der Ressource Papier) diskutiert werden. In der Anleitung für Schülerinnen und Schüler werden für <b>B3.2 Verschmutzung der Luft</b> gegenstandsbezogene Werte angesprochen.</p> <p><b>Gegenstandsbezogenes Dilemma:</b></p> <p>Am Ende der Anleitung für Schülerinnen und Schüler lässt sich ein gegenstandsbezogenes Dilemma zu den Werten Nachhaltigkeit, Umweltbewusstsein (sorgfältig mit der Umwelt umgehen) und Verantwortungsübernahme einbauen. Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre Meinungen dazu äußern.</p> <p><b>Geburtstagsfahrt Dilemma:</b> Dein bester Freund hat Geburtstag und wohnt nur wenige Straßen von euch entfernt. Dein Bruder und du sind eingeladen. Ihr seid spät dran. Dein Bruder schlägt vor: „Lass uns doch Mama fragen, ob sie uns mit dem Auto fahren kann!“</p> <p><i>Überlege dir: Wie siehst du das?</i></p> <p><b>Mögliche Äußerungen der Schülerinnen und Schüler für und gegen die Autofahrt:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Gründe für Autofahrt</th> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Gründe gegen Autofahrt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Kinder kommen sonst zu spät.</li> <li>▪ Die Mutter hat ein Elektroauto.</li> </ul> </td> <td style="padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Das Auto verschmutzt durch Abgase die Umwelt.</li> <li>▪ Bei kurzer Fahrt ist man mit dem Rad genauso schnell.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Gründe für Autofahrt	Gründe gegen Autofahrt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Kinder kommen sonst zu spät.</li> <li>▪ Die Mutter hat ein Elektroauto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Das Auto verschmutzt durch Abgase die Umwelt.</li> <li>▪ Bei kurzer Fahrt ist man mit dem Rad genauso schnell.</li> </ul>
Gründe für Autofahrt	Gründe gegen Autofahrt				
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Kinder kommen sonst zu spät.</li> <li>▪ Die Mutter hat ein Elektroauto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Das Auto verschmutzt durch Abgase die Umwelt.</li> <li>▪ Bei kurzer Fahrt ist man mit dem Rad genauso schnell.</li> </ul>				

	<p><b>Ziel:</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler sollen darüber reflektieren, wie sie nachhaltig, umweltbewusst und verantwortungsvoll mit der Umwelt umgehen. Dabei werden die Werte Nachhaltigkeit, Umweltbewusstsein und Verantwortungsübernahme angesprochen.</p> <p><b>Alternative:</b></p> <p>Zu der in der Anleitung für Schülerinnen und Schüler formulierten Geschichte sind auch Impulsaussagen oder Impulsfragen geeignet, um eine Diskussion anzuregen. Die Werte bleiben gleich.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Impulsbild:</b> Auspuffabgase eines Autos</li> <li>▪ <b>Impulsfrage:</b> Wo kommt überall schmutzige Luft raus?</li> </ul> <p><b>Hinweise:</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler sollen über Werte reflektieren und ihre Meinungen vertreten. Es kann sein, dass mehrere Werte angesprochen werden.</p>
--	--

#### 4.2.8 Technikbezug

Anhand immer strengerer Autoabgasvorschriften, die für jeden sichtbar durch Plaketten auf den Autos repräsentiert werden, dürfte auch den Schülerinnen und Schülern bereits das Thema Luftverschmutzung bzw. die Sauberhaltung der Luft vertraut sein.

#### In der Anleitung für Schülerinnen und Schüler

<p><b>Der Technik auf der Spur</b></p> 	<p>In der Anleitung für Schülerinnen und Schüler werden zwei Fotos gezeigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ als Alltagsbezug: <b>Staubsauger mit Filterbeutel</b></li> <li>▪ als weiterführende Ideen: <b>Staubsauger mit Fliehkraftabscheider</b> (Zyklonsystem) und <b>Rußfilter eines Diesel-PKWs</b></li> </ul> <p>Die Schülerinnen und Schüler sollen sich mit der Funktionsweise eines Beutelstaubsaugers auseinandersetzen, die Bedeutung der Filter erkennen und sich mit weiteren Techniken auseinandersetzen, die der Abtrennung von Schmutz aus Luft dienen.</p>
--	--

Die meisten Schülerinnen und Schüler werden den **Staubsauger** mit Papierfilterbeutel kennen. Vermutlich gibt es auch einige Schülerinnen und Schüler, bei denen zu Hause ein **beutelloser Staubsauger** verwendet wird. Das Prinzip dieser Technik (Zyklontechnik) beruht auf der Fliehkraft. Wahrscheinlich sind viele Schülerinnen und Schüler schon mit einem Kettenkarussell oder einer Achterbahn gefahren. Oder sie sind schon einmal bei einer scharfen Kurvenfahrt im Pkw oder Bus an die Wand gedrückt worden. Der Transfer, wie sich Staubteilchen in einem spiralförmigen Luftstrom verhalten, kann anhand dieser Beispiele erfolgen. Vielleicht haben die Schülerinnen und Schüler auch schon einmal eine Windhose in der Natur oder einen Bericht über einen Wirbelsturm gesehen und wissen, dass dadurch auch Boden aufgewirbelt wird. In der Meteorologie bezeichnet man tropische Wirbelstürme als Zyklonen. Daher auch der Name Zyklontechnik.

Die **Abgasreinigungsanlagen von Autos** sind den Schülerinnen und Schülern wohl bekannt. Wie so eine Anlage genau funktioniert, wissen allerdings die wenigsten. Hier sollte die Lehrkraft zunächst den Unterschied zwischen Katalysator und Filter erklären.

- Der Autokatalysator entfernt unerwünschte Bestandteile im Abgas durch die Ermöglichung von chemischen Reaktionen. Aus nicht vollständig verbranntem Benzin oder Dieselresten wird so letztlich Wasser und Kohlenstoffdioxid. (Kohlenstoffdioxid ist zwar ein Treibhausgas, aber weniger schädlich als unvollständig verbrannter Treibstoff).
- Beim Rußfilter ist zu klären, warum er eine Wabenstruktur besitzt (dies ist auch bei Rußfiltern aus Metall der Fall). Die Wabenstruktur sorgt dafür, dass der Abgasstrom möglichst ungebremst durchgeht. Durch die große Oberfläche stoßen besonders viele Rußteilchen an die Wände der Waben und bleiben dort hängen. Wenn der Filter immer mehr Ruß herausgefiltert hat, wird er irgendwann verstopfen. Um das zu vermeiden, wird er von Zeit zu Zeit automatisch gereinigt. Wenn das Auto schnell fährt und das Abgas und deshalb auch der Wabenfilter besonders heiß sind, wird zusätzlich Frischluft durch den Filter geblasen. Das hat zur Folge, dass der Ruß verbrennt. Eventuell ist der Rußfilter noch mit einem Katalysator beschichtet, der den Ruß bereits bei niedrigen Temperaturen verbrennt. (Im selbstreinigenden Backofen zu Hause steckt übrigens derselbe Katalysator.)

Die Antworten zu den Fragen aus der Anleitung für Schülerinnen und Schüler entnehmen Sie bitte dem Lösungsblatt im Handbuchordner. Die fachlichen Informationen zu den hier gezeigten Techniken des beutelosen Staubsaugers und des Rußfilters entnehmen Sie bitte der Sachinformation oder der Linkliste auf dem Medienportal der Siemens Stiftung. Dort finden Sie den Arbeitsauftrag auch als ausgearbeitetes Arbeitsblatt.