

4. Kapitel - **FREIWILLIGES ZUSATZKAPITEL**

Warum ist der Regen sauer ?

Thema

Der Regen in unserem Land ist nach wie vor bedenklich sauer. In den Medien ist zwar kaum mehr etwas zum Thema saurer Regen zu hören, doch das Problem besteht weiterhin.

Der Strassenverkehr und die Ölheizungen sind die Hauptverursacher. Der Wald, sowie Pflanzen und Insekten leiden darunter. Durch sauren Regen werden auch Bauwerke geschädigt. Durch Gesetze und Verordnungen wurden bereits Massnahmen gegen den zu sauren Regen getroffen, diese reichen jedoch noch bei weitem nicht aus.

Lektionsablauf

Wie entsteht der saure Regen? Wer verursacht ihn? Welches sind die Auswirkungen? Darum geht es in diesem Kapitel. Sie erfahren, was der Staat dagegen unternimmt. Dazu überlegen Sie sich, was Sie dazu beitragen können.

Zwischen den einzelnen Theorieabschnitten sind kleinere Aufgaben eingebaut. Diese lösen Sie zur Lernkontrolle. Die Lösungen dazu finden Sie im Lösungsordner. Bearbeiten Sie diesen Stoff so lange, bis Sie sich sicher fühlen.

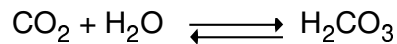
Wenn Sie alles verstanden haben, gehen Sie zum Lehrer. Dieser gibt Ihnen einen kurzen Test zu diesem Kapitel.

Lernziele

1. Sie können anderen erklären, wie der saure Regen zustande kommt. Sie kennen die zwei wichtigsten Schadstoffe und wissen, woher sie stammen.
2. Sie kennen die Auswirkungen von saurem Regen auf den Wald.
3. Sie kennen drei Massnahmen, die der Staat gegen den sauren Regen ergriffen hat. Sie haben sich drei Massnahmen überlegt, die Sie selber durchführen können.

Warum ist der Regen sauer?

Regenwasser ist auch ohne menschliche Einflüsse sauer. Das Kohlendioxid in der Atmosphäre bildet mit Regenwasser Kohlensäure:



Dies ergibt einen pH-Wert von 5,6. Dies ist etwa gleich sauer wie der Säureschutzmantel unserer Haut.



Natürlicher Regen ist leicht sauer.

Messungen haben jedoch ergeben, dass in den industrialisierten Gebieten Europas der Regen durchschnittlich rund 20 mal saurer ist als natürlicher Regen. Dies entspricht einem Säuregrad von $\text{pH} = 4,3$. Nebel kann noch wesentlich saurer sein. Es ist schon ein Säuregrad um $\text{pH} = 2$ gemessen worden, was saurer als Zitronensaft ist. Dies wird durch vom Menschen verursachte Abgase bewirkt.

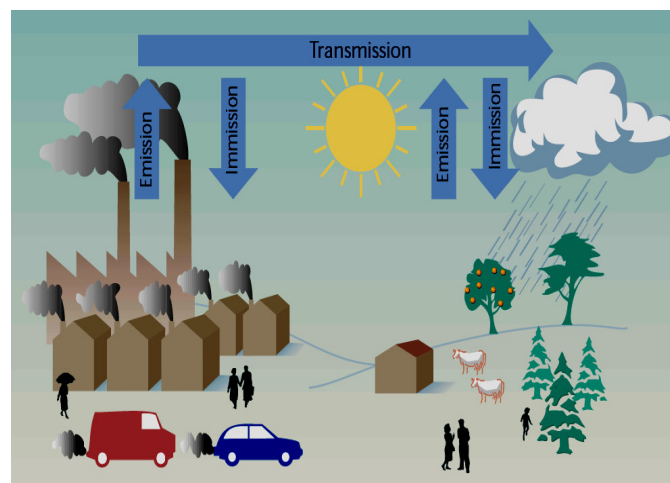


Vom Menschen verursachte Abgase bewirken, dass in der Schweiz der Regen durchschnittlich rund 20 mal saurer ist als in Reinluftgebieten. Nebel kann sogar mehr als um das tausendfache saurer sein.

Wie kommt es nun dazu, dass der Regen so viel saurer wird ?

Betrachten wir zunächst einmal den Kreislauf der von uns verursachten Abgase. Diese Graphik zeigt den Ausstoss der Abgase, die Übertragung in die Atmosphäre und die Rückführung wieder zur Erdoberfläche.

(Abb. aus "Broschüre Nabel", Buwal)



Die drei neuen Begriffe haben folgende Bedeutung:

Emission: Dies ist der Ausstoss von Schadstoffen in die Atmosphäre. Die meisten Schadstoffe werden durch Auspuffrohre und Kamine abgegeben. Sie stammen also von Heizungen oder vom Verkehr.

Transmission: Nach dem Ausstoss vermischen sich die Luftschadstoffe mit der Luft. Sie werden verdünnt und je nach Windverhältnissen mehr oder weniger weit befördert. Auf dem Weg können sie auch chemisch umgewandelt werden. Der Begriff Transmission umfasst also die Verdünnung, den Transport und die chemische Umwandlung.

Immission: Dies ist die Ablagerung von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre. Die Luftschadstoffe wirken dabei auf Menschen, Tiere, Pflanzen, den Boden und auch auf Gebäude ein. Die Immissionen können entweder als trockene oder als nasse Ablagerung erfolgen. Trocken bedeutet in Form von Gasen und Stäuben, nass in Form von Regen.

Aufgabe 4.1: a) Warum war der Regen auch schon vor 300 Jahren leicht sauer? Antworten Sie mit einem Satz und einer Reaktionsgleichung.

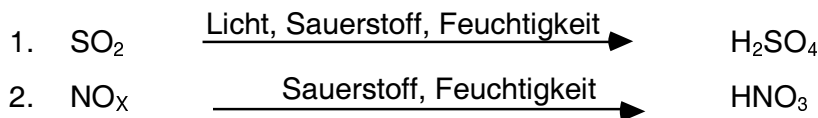


b) Legen Sie nun dieses Leitprogramm zur Seite und zeichnen Sie auf einem separaten Blatt den Weg der Abgase auf. Benützen Sie dazu die Fachausdrücke Emission, Immission, Transmission.

c) Warum werden heute auch in wenig bewohnten ländlichen Gegenden höhere Schadstoffwerte gemessen als früher? Ich erwarte 2 - 3 Sätze.

Für die Bildung von saurem Niederschlag sind nun zur Hauptsache folgende Stoffe verantwortlich: **Schwefeldioxid** (SO_2) und die **Stickoxide**, Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2). Diese beiden Stickoxide werden meistens nicht unterschieden und als NO_x bezeichnet.

Bei Anwesenheit von Sauerstoff und Licht reagiert in der Atmosphäre das Schwefeldioxid mit Wasser zu Schwefelsäure. Aus den Stickoxiden entsteht mit Wasser und Sauerstoff Salpetersäure. Hier die vereinfachten Reaktionsgleichungen dazu:



Aufgabe 4.2:

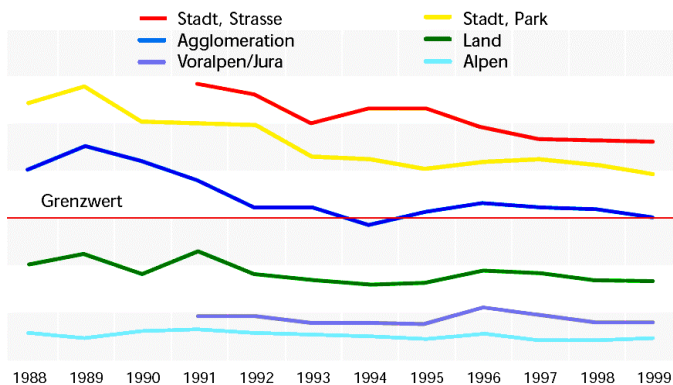
Notieren Sie zu den obigen Vorgängen die Reaktionsgleichungen. Setzen Sie dabei für Sauerstoff und für Wasser die chemischen Formeln ein. Für die Reaktion mit NO_x nehmen Sie NO_2 .

Ihre Reaktionsgleichungen sind starke Vereinfachungen. Die Reaktionen laufen über sehr viele Zwischenschritte ab.

Die Umwandlung von NO_2 zu Salpetersäure (HNO_3) geschieht in etwa einem Tag. Die Reaktion von SO_2 zu Schwefelsäure (H_2SO_4) benötigt etwa 10 Tage. Deshalb verursacht die Emission von Stickoxiden (NO_x) nur in der umliegenden Region sauren Regen. Die Emission von Schwefeldioxid (SO_2) ergibt jedoch weiträumig saure Niederschläge, zum Teil über mehrere hundert Kilometer weit.

Was ist schlimmer: NO_x oder SO_2 ?

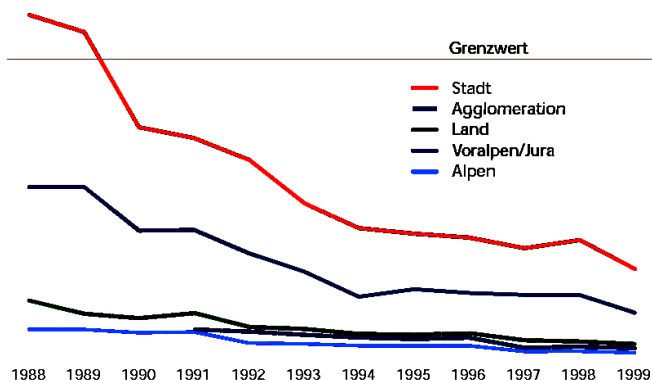
Die folgenden zwei Abbildungen sollen Ihnen zeigen, wie sich die Emission der beiden Stoffe in den vergangenen Jahren entwickelt hat.



Stickstoffdioxid:
Jahresmittel 1988-1999
(Grenzwert: $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Die obersten drei Kurven dieser Graphik (Stadt/ Stadt, Park/ Agglomeration) zeigen, dass dort die Stickstoffdioxid-Konzentration massiv am höchsten ist. Der Grund liegt darin, dass der Hauptverursacher dieses Schadstoffes der motorisierte Strassenverkehr ist.

Die Belastung mit Stickoxiden ist in den letzten Jahren zurückgegangen, was vor allem auf technische Massnahmen (Katalysator) zurückzuführen ist. Von Ende der 80er-Jahre bis etwa 1994 zeigt der Trend der NO_2 -Immissionen nach unten. Seither haben sie aber kaum mehr weiter abgenommen. Heute sind vor allem Dieselfahrzeuge die Sünder, da deren NO_x -Emissionen massiv höher sind als diejenigen von Benzinmotoren.



Schwefeldioxid:
Jahresmittel 1988-1999
(Grenzwert: $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Schwefeldioxid war in den siebziger und achtziger Jahren noch einer der Problemschadstoffe. Dank den getroffenen Massnahmen, vor allem der Umstellung auf schwefelarmes Heizöl und Erdgas, ist die Belastung mit Schwefeldioxid auf ein Viertel der Belastung zu Beginn der achtziger Jahre reduziert worden und liegt heute deutlich unterhalb des Grenzwertes.

Trotzdem hat der Stoff noch eine Bedeutung bei der Versauerung des Regens durch Schwefelsäurebildung in der Luft.



Die Schwefeldioxid-Emissionen konnten in den letzten Jahren massiv verringert werden, versauern den Regen aber nach wie vor.

Viel mehr Handlungsbedarf besteht aber noch bei den Stickoxiden, wo Grenzwerte regelmässig überschritten werden.



Aufgabe 4.3:

Um wie viel konnten die Emission von Stickoxiden und Schwefeldioxid in den letzten 20 Jahren verringert werden? Geben Sie die ungefähren Prozentzahlen an.

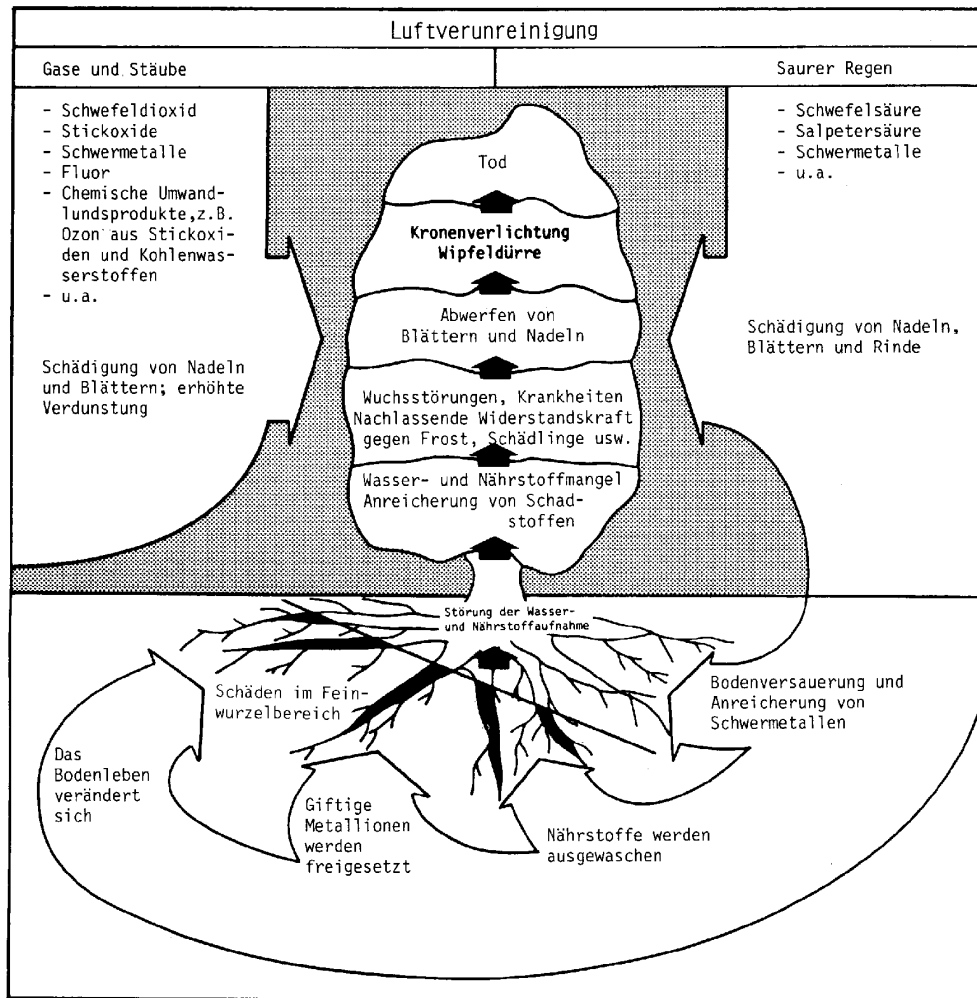
Welche Auswirkungen hat der saure Regen ?

Der saure Regen bewirkt Schäden an Pflanzen, in der Tierwelt und an Gebäuden.

Für die **Pflanzenwelt** gehören Schwefeldioxid und die Stickoxide zu den wichtigsten Schadstoffen, und zwar als Gase wie auch in Form von sauren Niederschlägen. Die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt die schädigenden Einflüsse auf Bäume.

Bei der Schädigung der Pflanzenwelt durch Immissionen handelt es sich um eine chronische Vergiftung, weil die Schadstoffe dauernd in mehr oder weniger starkem Mass einwirken.

Die grössere Schadstoffablagerung in Waldgebieten bewirkt auch einen höheren Säureeintrag gegenüber dem Freiland. Besonders sauer ist dabei der Stammabfluss. Dies ist das Regenwasser, das dem Stamm entlang abfliesst. „Infolge des stark sauren Stammabflusses können sich um den Stamm sogenannte „Todeshöfe“ ausbilden, das heisst kreisförmige Bezirke mit praktisch vollständig abgestorbener Vegetation. Messungen des Säuregrades (pH-Wert) des Waldbodens zeigen denn auch in Stammnähe durchwegs tiefere pH-Werte als davon entfernt. So wurden an der Stammbasis von Buchen pH-Werte von 2,8, in einem Meter Distanz von 3,5 und in zwei Meter Distanz von 4,1 gemessen.“ (Eidg. Departement des Innern 1984, S.90-91.) Der Boden in Stammnähe ist also etwa zwanzigmal saurer als der Boden in weiterer Distanz davon.



Wie wirken Luftverunreinigungen auf Bäume?

Die Luftverunreinigungen wirken dreifach:

- unmittelbar über die Luft auf Nadeln und Blätter,
- über den Sauren Regen auf die Blattorgane,
- über den Sauren Regen auf Boden und Wurzeln

Der saure Niederschlag bewirkt eine Übersäuerung des Bodens. Damit werden Nährstoffe ausgewaschen und giftige Metallionen freigesetzt. Letztere werden dann über die Wurzeln aufgenommen.

Auch **Gebäude** werden durch den sauren Regen geschädigt. Viele Gebäude haben kalkhaltige Mauern. Säuren vermögen diesen Kalk aufzulösen und beschädigen somit die Fassade oder gar das ganze Gebäude. Sie haben diese Reaktion im 3. Kapitel selbst durchgeführt.



Aufgabe 4.4:

Sie wollen den pH-Wert von Waldboden messen. Welche Bereiche meiden Sie bei der Probennahme? Geben Sie eine Antwort in zwei bis drei Sätzen.

Was unternimmt der Staat gegen den sauren Regen?

Der Staat erlässt Gesetze und Verordnungen über die Luftreinhaltung. In diesem Zusammenhang sind vor allem die Abgasemissionsvorschriften für den Verkehr und Vorschriften über den maximalen Schwefelgehalt in verschiedenen Heizölen sowie die Luftreinhalte-Verordnung für Industrie und Haushalte von Bedeutung.

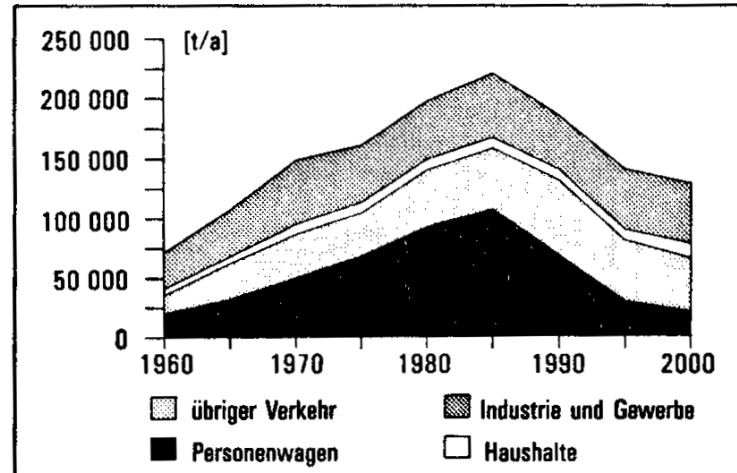
Für den Verkehr gibt es vier Verordnungen:

- 1) Verordnung über die Abgasemissionen leichter Motorwagen (FAV1). Diese Verordnung bewirkt unter anderem, dass alle seit dem 1. Oktober 1987 neu in Verkehr gesetzten Benzin-Autos einen Abgaskatalysator haben.
- 2) Verordnung über die Abgasemissionen schwerer Motorwagen (FAV2). Die erste Stufe ist seit dem 1. 10.1987, die zweite seit dem 1.10.1991 in Kraft.
- 3) Verordnung über die Abgasemissionen der Motorräder (FAV3). Die erste Stufe ist seit dem 1. 10.1987, die zweite seit dem 1.10.1990 in Kraft.
- 4) Verordnung über die Abgasemissionen der Motorfahrräder (FAV4). Diese Vorschrift bedingt den Einsatz eines Katalysators und ist seit dem 1. Oktober 1988 in Kraft.

Am Beispiel des Stickoxid-Ausstosses bei Personenwagen lässt sich gut zeigen, wie der Staat mit Vorschriften immer wieder eine Reduktion des Schadstoffausstosses verlangt hat (gemäss BUWAL 1988):

Vorschrift	Gültig ab (für neu importiert Fahrzeuge)	Ausstoss an NO _x [g/km] im Stadtzyklus
ECE 15'02	Okt. 1977	3,0-4,7 (gewichtsabhängig)
ECE 15'03	Okt. 1980	2,5-4,0 (gewichtsabhängig)
AGV 1982	April 1983	1,9
AGV 1986	Okt. 1986	1,2
FAV 1	Okt. 1987	0,62

Die folgende Grafik zeigt deutlich die Auswirkungen der obigen Vorschriften. Der Knick zwischen 1984 und 1990 ist praktisch allein auf die Einführung des Katalysators für Personenwagen zurückzuführen. **Beim übrigen Verkehr (Lastwagen, Motorräder) ist leider kaum eine Abnahme zu verzeichnen!**



Graphik 1: Entwicklung der Stickoxid-(NO_x-)Emissionen in der Schweiz. (Graphiken: TCS/NZZ)

Quelle: NZZ Nr. 54, 5. März 1992



Aufgabe 4.5:

Die Wirkung des Katalysators für Stickoxide soll diese Aufgabe aufzeigen. Berechnen Sie aus den folgenden Zahlen, um welchen Faktor ein Katalysator bei Autos den Stickoxidausstoß vermindern kann.

Fahrzeugkategorie	50 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
Personenwagen ohne Kat.	1.9 g/km	2.8 g/km	3.9 g/km	4.7 g/km
Personenwagen mit Kat.	0.26 g/km	0.39 g/km	0.54 g/km	0.65 g/km

Stickoxid-Emissionen (aus Bundesamt für Umweltschutz 1987, Tab 103)

Die **Luftreinhalteverordnung** beschreibt in Artikel 1, wofür sie gilt. Sie trat im April 1986 in Kraft.

Art. 1 Zweck und Geltungsbereich

¹ Diese Verordnung soll Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume sowie den Boden vor schädlichen oder lästigen Luftverunreinigungen schützen.

² Sie regelt:

- a. die vorsorgliche Emissionsbegrenzung bei Anlagen nach Artikel 7 des Gesetzes, welche die Luft verunreinigen;
- b. die Anforderungen an Brenn- und Treibstoffe;
- c. die höchstzulässige Belastung der Luft (Immissionsgrenzwerte);
- d. das Vorgehen für den Fall, dass die Immissionen übermässig sind.

Der wesentlichste Beitrag der Luftreinhalteverordnung zur Reduzierung des sauren Regens sind die Vorschriften zur Begrenzung des Schwefelgehaltes in Brenn- und Treibstoffen. Auch schon vorher gab es Vorschriften, die immer wieder eine Reduzierung des Schwefelgehaltes verlangten.

Als zweiten wichtigen Punkt verlangt die Luftreinhalteverordnung, dass die Immission von Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid bestimmte Grenzwerte nicht überschreitet.



Aufgabe 4.6:

Schlagen Sie in einer grösseren Tageszeitung, die der Lehrer bereitgelegt hat, die Wetterseite auf. Wie hoch sind die Grenzwerte für SO_2 und NO_2 ? Wie hoch waren die Werte gestern?



Der Staat hilft bei der Reduktion des sauren Regens vor allem mit zwei Massnahmen:

- **Verschärfung der Abgasvorschriften für den Verkehr**
- **Reduktion des Schwefelgehaltes in Treib- und Brennstoffen durch Vorschriften.**

Was kann ich persönlich zur Reduktion des sauren Regens beitragen ?

Jeder kann einen Beitrag zur Verminderung des sauren Regens leisten. Von den folgenden Massnahmen können Sie bestimmt auch eine oder mehrere anwenden.

- Öffentlichen Verkehr oder das Velo benützen.
- Auf der Autobahn freiwillig nur 100 km/h fahren.
- Weniger heizen, Heizkörperventile bei Temperaturen über 20°C zudreuen. Tiefere Temperaturen sind gesünder und erlauben besseres Arbeiten. Eine Temperatursenkung kann ein paar Tage Anpassungszeit erfordern, bis sie als angenehm empfunden wird.
- Statt einer Ölfeuerung eine Holzschneitzelheizung oder einen Wärmetauscher einbauen.
- Sparsam mit dem Warmwasser umgehen, beispielsweise Duschen statt Baden.
- Sich politisch für die Einhaltung der Luftreinhalteverordnung einsetzen.
- Statt mit dem Flugzeug oder dem Auto mit dem Zug in die Ferien fahren.
- Anstelle eines normalen Autos ein sparsames Hybrid-Auto, oder sogar ein Elektromobil kaufen.



Aufgabe 4.7:

Diskutieren Sie mit jemandem, der gleich weit ist wie Sie, welche Massnahmen Sie persönlich innerhalb der nächsten zwei Jahre verwirklichen können. Bestimmt haben Sie auch eigene Ideen. Für den Kapiteltest müssen Sie mindestens drei Massnahmen nennen können. Eine davon muss eine eigene sein.

Wichtige Begriffe: Stickoxid, Schwefeldioxyde, Emission, Transmission, Immission, saurer Regen, Luftreinhalteverordnung,

Lernkontrolle



Die folgenden Aufgaben dienen Ihrer eigenen Wissensprüfung. Sie sollen selbständig überprüfen, ob Sie dieses Kapitel begriffen haben.

Haben Sie alle Aufgaben richtig gelöst und fühlen Sie sich beim Neugelerten sicher, so können Sie sich beim Lehrer zum Kapiteltest melden.

Haben Sie eine oder mehrere Aufgaben falsch gelöst, so lesen Sie den betreffenden Abschnitt nochmals sorgfältig durch.

Die Lösungen befinden sich im Lösungsordner im Schulzimmer.

Aufgabe 4.8: Wie entsteht saurer Regen? Beantworten Sie zunächst folgende Punkte:

- a) Welche beiden Schadstoffe ergeben den sauren Regen?
- b) Welche Reaktionen treten dabei auf?
- c) Woher kommen diese Schadstoffe? Nennen Sie zwei Quellen.

Aufgabe 4.9: Erklären Sie den Weg der Abgase. Ich erwarte 8 - 10 Sätze.

Aufgabe 4.10: Warum sind Bäume an der Nebelgrenze mehr gefährdet als solche im Tal unten? Antworten Sie in zwei bis drei Sätzen.

Aufgabe 4.11: Zählen Sie zwei schädigende Wirkungen von sauren Niederschlägen für die Bäume auf. Denken Sie dabei an die direkte und indirekte Schädigung. Antworten Sie in drei bis vier Sätzen.

Aufgabe 4.12: Nennen Sie 3 Massnahmen, die der Staat ergriffen hat oder noch ergreifen könnte, um den sauren Niederschlag zu vermindern.

Meine Lösungen der Aufgaben des 4. Kapitels: