Stundenbild

Was wurde aus saurem Regen und Waldsterben?

▶ Gesundheit | Luft

Wie entsteht saurer Regen?
Welche Auswirkungen hat er?
Gibt es sauren Regen und Waldsterben heute eigentlich noch?

Das Thema Waldsterben ist zurzeit wieder hochaktuell. Durch längere Trockenphasen im Zuge des Klimawandels werden großflächige Schäden an Wäldern befürchtet. Dadurch unterscheidet sich dieses Waldsterben aber von jenem, welches vor einigen Jahrzehnten im Zusammenhang mit saurem Regen zu großen Sorgen und Diskussionen führte.

Das Stundenbild zeigt auf, was aus diesen Befürchtungen wurde, wie sich die Situation seit damals entwickelt hat und ob es heute noch sauren Regen und dadurch bedingtes Waldsterben gibt.

Schwefeldioxidschaden auf Fichte; Bundesforschungszentrum für Wald

Ort	Schulstufe
Klassenzimmer	5.-8. Schulstufe
Gruppengröße	**Zeitdauer**
Klassengröße	1 Schulstunde

Lernziele

- Negative und positive Folgen des menschlichen Wirkens auf Ökosysteme erkennen
- Diese Folgen analysieren und hinterfragen
- Zeitreihen beschreiben und interpretieren
- Die Auswertung von Kartendarstellungen üben

Sachinformation

Geschichtlicher Rückblick

Eine ganze LehrerInnen-Generation ist mit den Begriffen „saurer Regen“ und „Waldsterben“ aufgewachsen. In den 1980er-Jahren zählten sie zu den bedeutendsten Umweltthemen in Österreich und auch in den Schulen.

Allerdings wurde schon in den 1960er- und 1970er-Jahren in Europa und Nordamerika erkannt, dass Luftschadstoffe über Niederschläge in die Ökosysteme gelangen und dort Schäden verursachen. Die öffentliche Aufmerksamkeit begann sich zusehends auf dieses Umweltproblem zu konzentrieren. Im Mittelpunkt stand damals v. a. das Gas Schwefeldioxid (SO_2) aus der Verbrennung von schwefelhaltigen fossilen Heiz- und Treibstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdölprodukten. Durch Niederschläge wurden Teile dieser Luftschadstoffe aus der Luft „ausgewaschen“. Da der pH-Wert der Niederschläge dadurch sank, sprach man vom „sauren Regen“, der auf diese Weise in die Ökosysteme gelangte. Schon damals waren aber auch Stickoxide (NO_x) an der Entstehung von saurem Regen beteiligt.

In dieser Zeit entwickelte sich die sog. Rauchschadensforschung, die sich mit den Auswirkungen dieser Gase auf Vegetation und Gewässer beschäftigte. In Österreich wurden bereits 1957 erste systematische chemische Untersuchungen der Niederschläge durchgeführt.

V. a. in den 1980er-Jahren wurden dann auf vielen Ebenen Diskussionen geführt, die sich mit dem „Waldsterben“ – also dem Absterben von Bäumen aufgrund zu hoher Schadstoffeinträge aus der Luft – beschäftigten. Einer der damaligen Slogans lautete „Erst stirbt der Wald, dann stirbt der Mensch“. Besonders alarmierende Stimmen sprachen damals sogar von einem Verschwinden unserer Wälder bis ins Jahr 2000.

Dieses Umweltproblem beschäftigte in dieser Zeit weite Teile Europas, so wurde zB der Zusammenhang zwischen Umweltbelastung und Industrialisierung in Europa in den skandinavischen Ländern gut beobachtet, wo saurer Regen durch die Verteilung der Schadstoffe in der Atmosphäre auch in weit entfernten Regionen Schäden verursacht hat. Umso stärker waren Schäden in der Nähe von großen Emittenten (Kohlekraftwerke, Industriebetriebe). In Mitteleuropa kam es zB im Erzgebirge an der Grenze zwischen Deutschland und der damaligen Tschechoslowakei zu einem massiven Waldsterben (Abb. 1). In Österreich gab es damals Rauch- und Immissionsschäden in der Steiermark in der Mur-Mürz-Furche und in Kärnten im Raum Arnoldstein und im Lavanttal.

Was ist „saurer Regen“?

Der pH-Wert von reinem Regenwasser liegt zwischen 5,5 und 5,7 – damit ist jeder Regen eigentlich sauer und nicht neutral (pH-Wert 7). Das liegt daran, dass Niederschläge CO_2 aus dem natürlichen Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre aufnehmen und so leicht sauer werden.

Der Begriff „saurer Regen“ meint allerdings Niederschläge, deren pH-Wert ungefähr zwischen 4,2 und 4,8 liegt. Als Vergleich: Einen pH-Wert von 4,5 hat zB saure Milch. Da die pH-Wert-Skala eine logarithmische ist, bedeutet das, dass Regen mit pH-Wert 4,5 zehnfach saurer ist als „normaler“ Regen.

Diesen niedrigen Wert erreichten die Niederschläge damals durch eine Reaktion mit den Verunreinigungen der Atmosphäre, v. a. mit Schwefelverbindungen.

Abb. 1: Abgestorbene Fichten im Erzgebirge 1998; wikimedia/bdk

Der größte Teil des Schwefels in der Luft liegt als Schwefeldioxid (SO_2) vor. In geringeren Konzentrationen ist auch Schwefeltrioxid (SO_3) in der Atmosphäre enthalten, das durch Oxidation von Schwefeldioxid mit Sauerstoff (O_2) entsteht:

$$2\ SO_2 + O_2 \rightarrow 2\ SO_3$$

Sowohl das Schwefeldioxid (SO_2) als auch das Schwefeltrioxid (SO_3) können in Wasser (H_2O) gelöst werden. Dabei bilden sie Schweflige Säure (H_2SO_3) oder Schwefelsäure (H_2SO_4):

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

Ein anderer Luftschadstoff, der zur Entstehung von saurem Regen beiträgt, sind die Stickoxide (NO_x), wie das Stickstoffmonoxid (NO) oder das Stickstoffdioxid (NO_2). Sie entstehen ebenso bei Verbrennungsprozessen und bilden dann in Kombination mit Wasser und Sauerstoff sowohl Salpetrige Säure (HNO_2) als auch Salpetersäure (HNO_3). Hier gibt es verschiedene chemische Reaktionen:

$$2\ NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$$

$$N_2O_4 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$$

(N_2O_4 = Distickstofftetroxid)

Für die dadurch bedingte Versauerung der Niederschläge waren zu etwa zwei Drittel die Schwefeloxide (SO_x) verantwortlich und zu etwa einem Drittel die Stickoxide (NO_x).

Auswirkungen von „saurem Regen“

Auswirkungen von sauren Niederschlägen findet man in vielen Bereichen. So werden etwa Gewässer durch den Säureeintrag belastet oder Gebäudefassaden und Denkmäler (v. a. aus Kalksandstein und Kalkstein) verwittern durch die Säure in den Niederschlägen schneller bzw. werden stark beschädigt (Abb. 2).

Besonders augenscheinlich waren in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts aber die Auswirkungen auf Wälder: Der Regen versickert zuerst im Boden, wodurch dieser versauert. Dies wiederum stört natürliche Prozesse im Boden und es können die Feinwurzeln der Bäume absterben. Der Wasser- und Nährstoffhaushalt der Bäume wird dadurch negativ beeinflusst und deren Widerstandskraft nimmt in Folge ab. In diesem Zustand sind Bäume anfälliger gegenüber natürlichen Belastungen (zB Bodenfrost), Krankheiten oder Schädlingen. Sichtbar werden die Schäden dann durch den Abwurf von Blättern oder Nadeln, Kronenverlichtung und Wipfeldürre. Das kann so weit führen, dass der Baum abstirbt.

Abb. 2: Kalksandstein-Figur aus dem Jahr 1702 aufgenommen 1908 (links) und 1969 (rechts); Westfälisches Amt für Denkmalpflege

Heutige Situation - Luftgütemessungen

Aufgrund der hohen Belastung der Luft mit Schwefeloxiden hat man ab den 1980er-Jahren begonnen, die Rauchgase der fossilen Kraftwerke zu entschwefeln. Bei Kraftstoffen für Fahrzeuge und Flugzeuge (Benzin, Diesel, Kerosin, Erdgas) wird seit damals Schwefel mittels spezieller Verfahren vor dem Gebrauch entfernt. Dadurch konnte der Ausstoß von SO_2 in die Atmosphäre erheblich verringert werden. Abb. 3 zeigt dafür exemplarisch die Messwerte von Schwefeldioxid an der Luftgütemessstation Graz-Nord von 1980 bis 2017. Die Minimierung des Luftschadstoffs Schwefeldioxid gilt bis heute als eine Erfolgsgeschichte der Luftreinhaltung.

Anders bei den Stickoxiden (NO_x), deren Entfernung aus Abgasen wesentlich schwerer möglich ist. Hier müsste die Bildung von Stickstoffoxiden in den Abgasen verringert werden, was zB in Fahrzeugkatalysatoren geschieht, jedoch nicht zu 100 % möglich ist. Abb. 4 zeigt wiederum ein Beispiel aus der Graz. Deutlich ist zu erkennen, dass hier zwar eine Verringerung der Messwerte in den 1990er-Jahren, danach aber eine Stagnation zu verzeichnen ist.

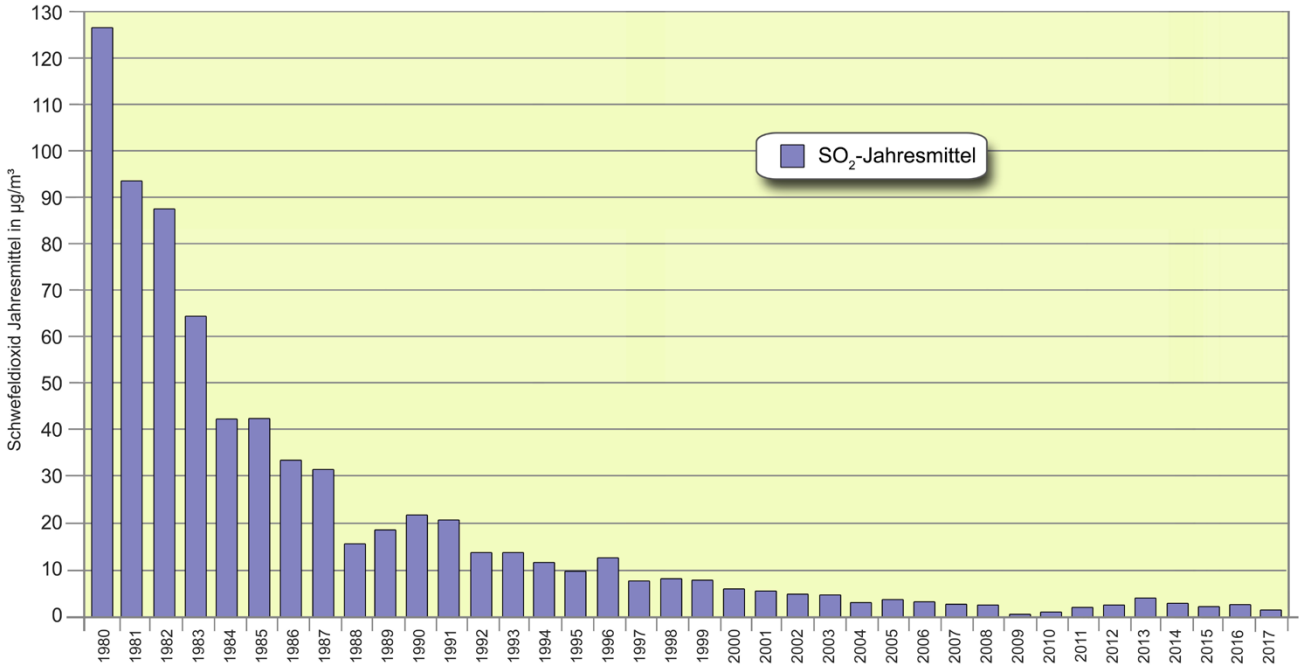


Abb. 3: Jahresmittelwerte von Schwefeldioxid (SO_2) an der Station Graz-Nord von 1980 bis 2017 (Quelle: Land Steiermark)

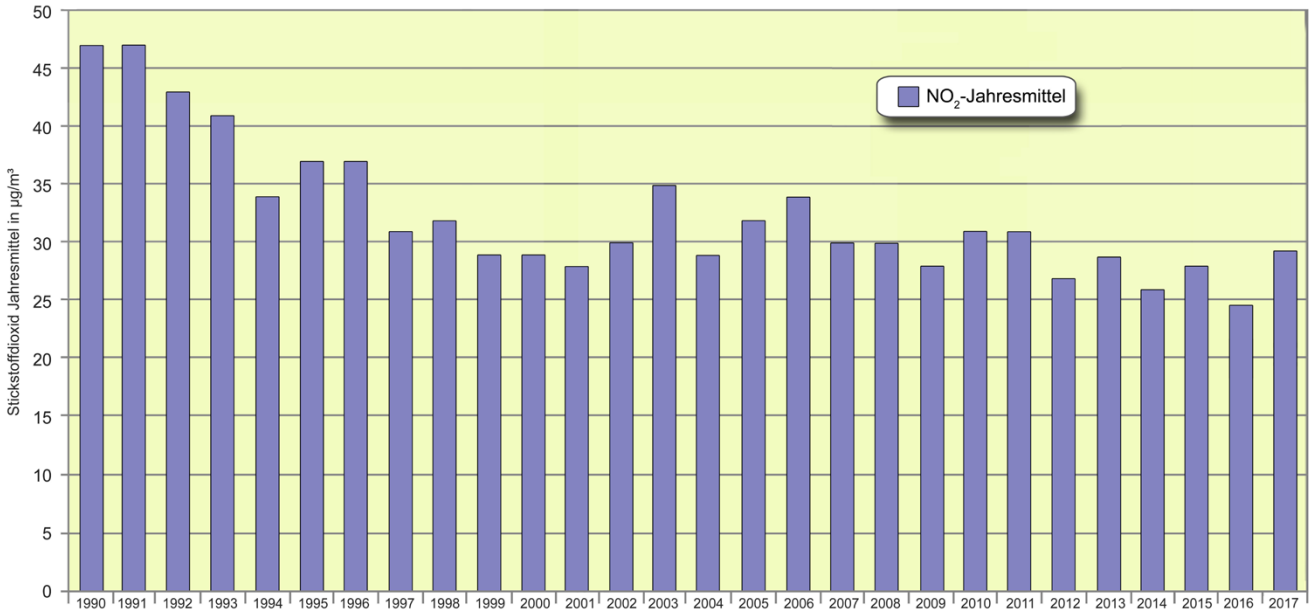


Abb. 4: Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid (NO_2) an der Station Graz-West von 1990 bis 2017 (Quelle: Land Steiermark)

Dies liegt u. a. daran, dass bei Stickoxiden technische Verbesserungen zur Luftreinhaltung durch die Zunahme der Verkehrszahlen wieder aufgehoben werden. Zum Thema „Stickstoffdioxid“ gibt es auch ein eigenes UBZ-Stundenbild (Publikation Juni 2017), das sich speziell diesem Luftschadstoff widmet.

Aufgrund dieser – v. a. beim Schwefeldioxid – positiven Entwicklung stellt sich die Frage, ob es sauren Regen und daraus resultierendes Waldsterben überhaupt noch gibt bzw. ob diese als relevante Umweltthemen noch Platz in öffentlichen Diskussionen bzw. im Unterricht haben. Befürchtungen der 1970er/1980er-Jahre, dass Wälder aufgrund

von saurem Regen großflächig absterben werden, sind jedenfalls nicht eingetreten, v. a. eben deshalb, da in diesem Bereich der Luftreinhaltung richtige Maßnahmen gesetzt wurden.

Ob Niederschläge in Österreich heute noch über das natürliche Maß hinaus sauer sind, zeigt ein Blick auf langjährige Messprogramme. So wird etwa jährlich an fixen Messstellen die sog. „nasse Deposition“ gemessen. Dabei wird ermittelt, wie hoch die Schadstoffkonzentration im Niederschlagswasser ist. Beachtet werden dabei u. a. Sulfat-Schwefel, Ammonium-Stickstoff und Nitrat-Stickstoff. In der Steiermark erfolgt dies an vier Niederschlags-Messstellen (Arnfels, Grundlsee, Hochgößnitz, Masenberg).

Für den Messzeitraum Oktober 2017 bis September 2018 konnte so etwa festgestellt werden, dass in der Steiermark je nach Messstelle 2 bis 4 Kilogramm Schwefel pro Hektar (kg/ha*a) und zwischen 6 und 8 Kilogramm Stickstoff pro Hektar und Jahr durch nasse Deposition in die Ökosysteme gelangten (siehe Abb. 5 für ganz Österreich). Als Vergleich: Ende der 1980er-Jahre wurden in mitteleuropäischen Wäldern noch 30 bis 50 kg Schwefeleintrag pro Hektar und Jahr ermittelt. Im Erzgebirge in Deutschland konnten in Fichtenbeständen Mitte der 1990er-Jahre sogar noch 40 bis 80 kg Schwefeleintrag pro Hektar/Jahr festgestellt werden.

Bei diesen jährlich durchgeführten Messungen sind seit Beginn der Messungen im Jahr 1997 an allen Stationen deutlich rückläufige Trends beim Schwefeleintrag zu erkennen. Dies ist auf die verminderten Emissionen von Schwefeldioxid in Österreich und vielen Nachbarländern zurückzuführen. Beim Gesamtstickstoffeintrag ist das bei den meisten Messstellen aus oben erwähnten Gründen nicht der Fall. Trotzdem liegt man aktuell aber auch beim Stickstoff deutlich unterhalb der Richtwerte für den kritischen Gesamtstickstoffeintrag, der laut Literatur bei rund 15 kg/ha*a liegt. Abb. 6 zeigt, dass es hier bis vor wenigen Jahren noch Überschreitungen dieser kritischen Grenze in der Steiermark gab.

Neben der „nassen Deposition“ durch Niederschläge gibt es auch die „trockene Deposition“. Bei diesem Vorgang werden Substanzen durch feste Partikel oder Gase direkt abgelagert bzw. in Ökosysteme eingetragen, also ohne dass es vorher zu einer Lösung in Niederschlägen kommt. Von dieser sind v. a. Bereiche im Umfeld größerer Emittenten betroffen, zB im Umfeld von kalorischen Kraftwerken und Industrieanlagen. Diese auch heute noch vorhandenen lokalen Belastungen für Wälder lassen sich gut mit Hilfe des Österreichischen Bioindikatornetzes (BIN) verfolgen.

Ein Bioindikator ist ein Lebewesen, das auf Um-

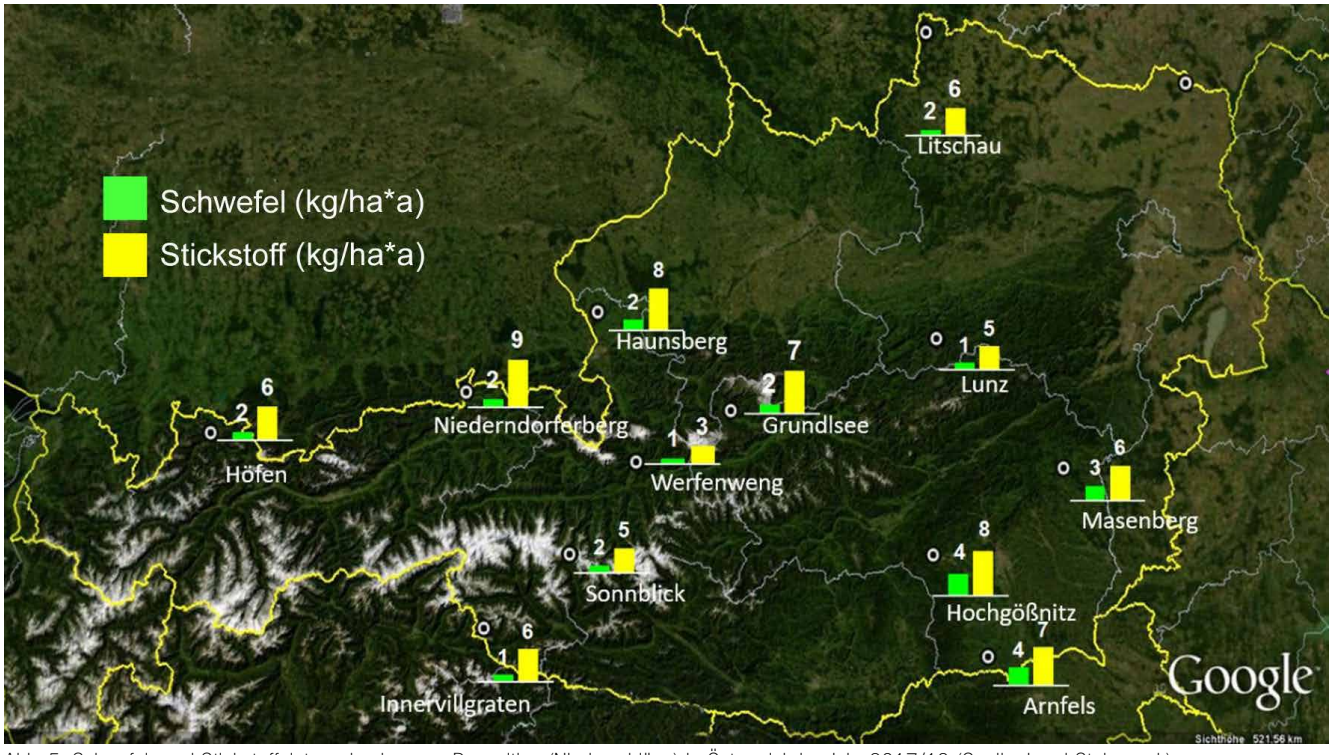


Abb. 5: Schwefel- und Stickstoffeintrag durch nasse Deposition (Niederschläge) in Österreich im Jahr 2017/18 (Quelle: Land Steiermark)

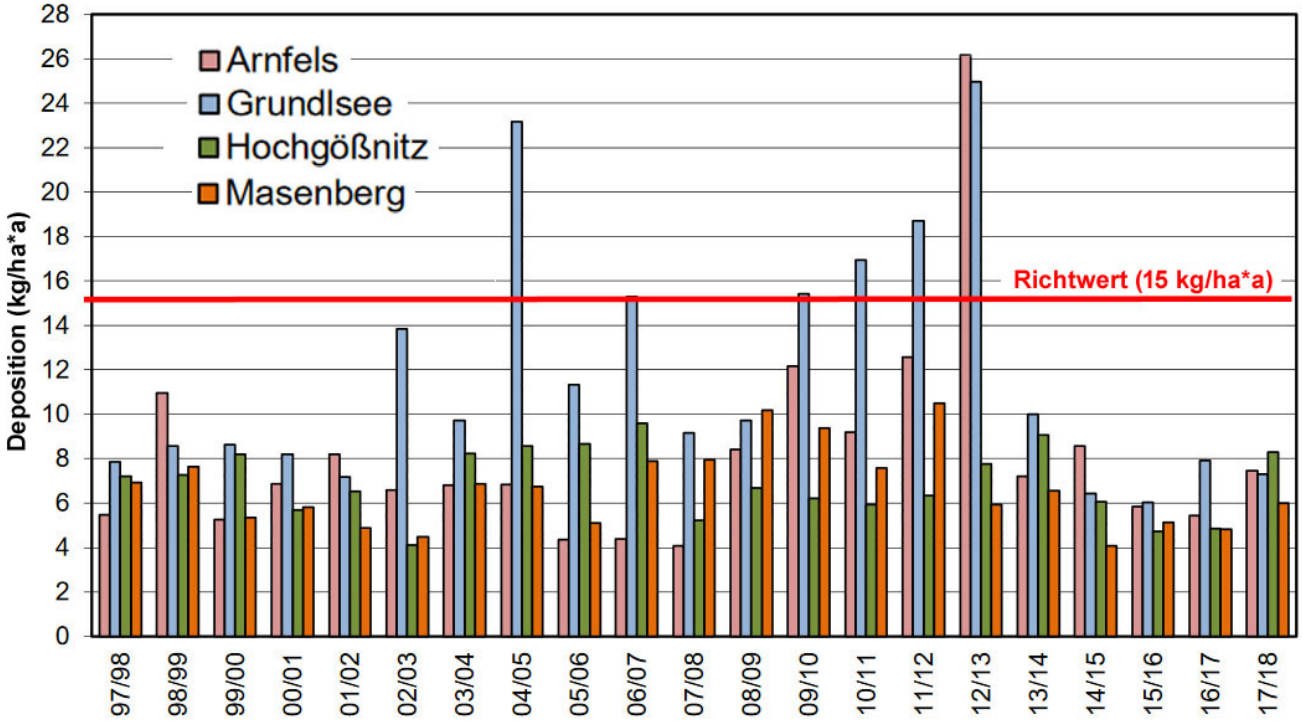


Abb. 6: Stickstoffeintrag an den vier steirischen Messstellen seit Beginn der Messungen (Quelle: Land Steiermark)

welteinflüsse mit Veränderungen seiner Lebensfunktionen reagiert oder Stoffe anlagert oder in seinen Organismus einbaut. Das BIN verwendet als Bioindikator v. a. die Fichte, die in Österreich Hauptbaumart ist.

Von fixen Probebäumen werden jährlich Nadeln entnommen (Abb. 7) und im Labor analysiert. Daraus kann man dann Rückschlüsse auf lokale und grenzüberschreitende Einwirkungen von Luftschadstoffen ziehen. Derzeit werden in den Nadelproben unterschiedlichste Elemente nachgewiesen, u. a. Schwefel und Stickstoff.

Abb. 8 zeigt einen Vergleich der Schwefel-Messwerte von 1983, 1999 und 2017. Die grünen Punkte stehen dabei für „Grenzwert unterschritten“ oder „Grenzwert deutlich unterschritten“, die orangen Punkte für „Grenzwert überschritten“, die roten für „Grenzwert deutlich überschritten“. Deutlich zeigt sich die Abnahme der orangen und das Verschwinden der roten Punkte im Lauf der Jahre. Aktuelle orange Punkte findet man noch im Umfeld größerer Emittenten.

Wenn akute Schäden an Bäumen durch Luftschadstoffe in Österreich heute noch auftreten, dann sind die Ursachen entweder Unfälle oder nicht beherrschte Technologie bei neu errichteten Anlagen oder bei Verfahrensänderungen in bestehenden Anlagen.

Abb. 7: Probennahme für das Bioindikatornetz; Bundesamt für Wald

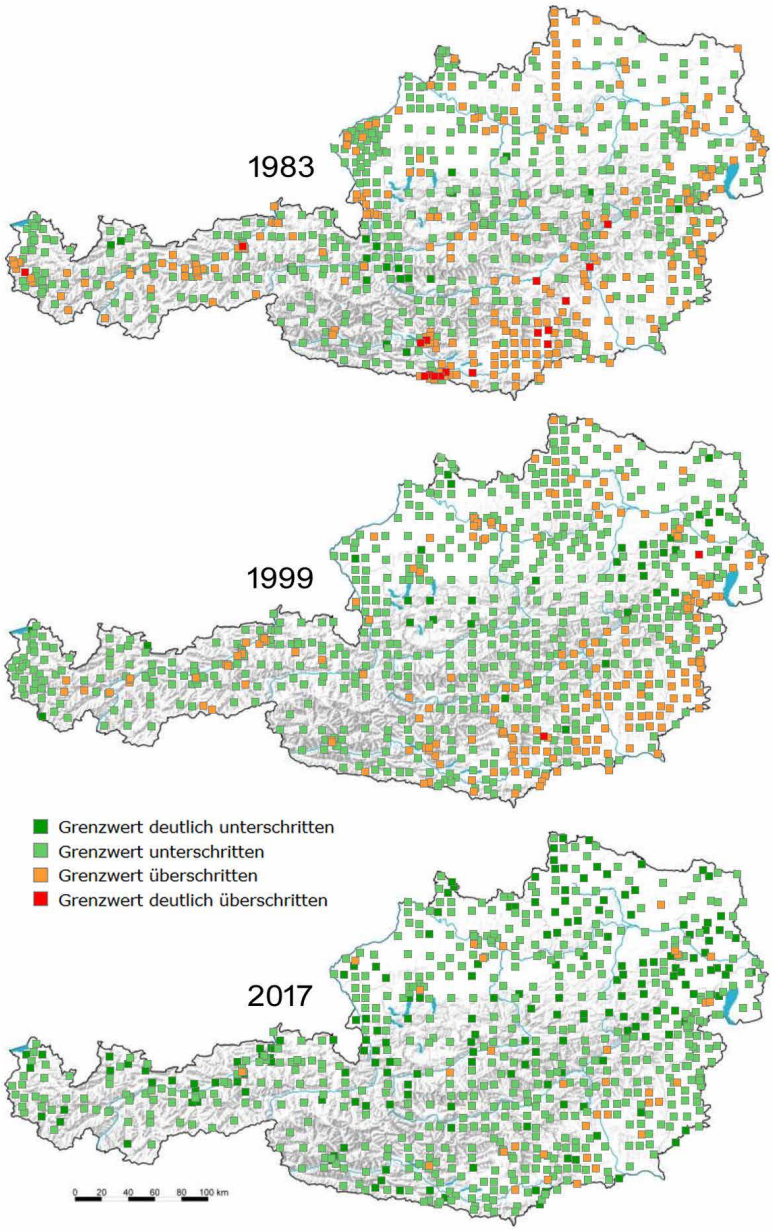


Abb. 8: Schwefelgehalt in Probebäumen für die Jahre 1983, 1999 und 2017; Österreichisches Bioindikatornetz - Bundesforschungszentrum für Wald

Gibt es heute noch ein „Waldsterben“?

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es auch heute Einträge von säurebildenden Substanzen in Wälder und eine geringe Senkung des pH-Wertes des Niederschlags durch gelöste Luftschadstoffe gibt (also über die natürliche Säurekonzentration hinaus), dass saurer Regen und daraus resultierendes Waldsterben in Österreich als ernst zu nehmendes Umweltproblem aber tatsächlich Geschichte ist.

Vielmehr stehen heute andere Problemfelder für unsere Wälder im Vordergrund, v. a. Auswirkungen der sich erwärmenden Atmosphäre. Zu diesen Zusammenhängen gibt es auch ein eigenes UBZ-Stundenbild „Der Wald im Klimawandel“ (Publikation im Februar 2019).

Darüber hinaus haben natürlich Waldschädigungen durch Luftverschmutzung in jenen Staaten der Erde, in denen es noch kaum Umweltschutzbemühungen gibt, auch noch heute eine hohe Aktualität und gesellschaftliche Relevanz und auch in Mitteleuropa sorgen die Zusammenhänge zwischen der Nutzung fossiler Rohstoffe und der Zerstörung von Wäldern noch immer für breite öffentliche Diskussionen.

Abb. 9: Der Hambacher Forst und dahinter der Kohletagbau; wikimedia/Arthur Konze

So wurde in Deutschland im Jahr 2018 der „Hambacher Forst“ (im Zuge der medialen Berichterstattung auch „Hambi“ genannt) zwischen Köln und Aachen zum Symbol des Widerstands der Anti-Kohlekraft-Bewegung gegen die Umweltzerstörung und Klimaschädigung durch die Kohlewirtschaft sowie zum Symbol des bevorstehenden Kohleausstiegs als Teil der Energiewende. Da dieses Waldstück (Abb. 9) bis auf einen kleinen Rest für die Ausweitung des Kohletagbaus gerodet werden sollte, fand hier eine Großdemonstration mit ca. 50 000 TeilnehmerInnen statt.

Neben dem Begriff „Waldsterben“ wird heute - v. a. durch Trockenheit im Zuge des Klimawandels oder durch neue Baumschädlinge - oft auch der Begriff „Baumsterben“ verwendet. Damit hat das Thema immer noch eine hohe Aktualität, wenn auch aufgrund geänderter Kausalitäten.

Lehrplanbezug

Dieses Stundenbild bietet sich u. a. für Biologie und Umweltkunde, aber auch für Chemie an. Laut den gegenständlichen Unterstufenlehrplänen sollen positive und negative Folgen menschlichen Wirkens hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Ökosystem Wald analysiert und hinterfragt werden (BU) bzw. es soll zum Verständnis für die Wechselbeziehung Ökonomie - Ökologie und damit zu umweltbewusstem Handeln hingeführt werden (CH). Auch der Lehrplan für Geographie und Wirtschaftskunde bietet Ansatzpunkte: So sollen etwa Zusammenhänge zwischen Gesundheit und Umweltbedingungen erkannt werden und die Arbeit mit Karten soll geübt werden. Am Zusammenhang „Luftbelastung - saurer Regen - Waldsterben“ kann dies durch die Auswertung von Daten bzw. Karten des Österreichischen Bioindikatornetzes erfolgen.

Quellen:

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.) (2009). *Endbericht für das Projekt „Entwicklung der nassen Deposition 1997 bis 2008“*. Graz.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.) (2018). *Luftgütemessungen in der Steiermark, Jahresbericht 2017.* Graz.

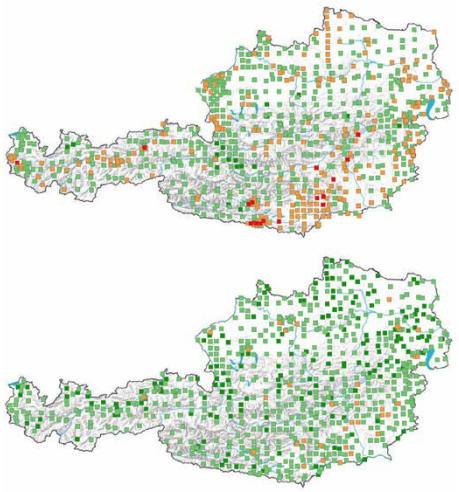
Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.) (2019). *Nasse Deposition im Land Steiermark Oktober 2017 - September 2018,* Graz.

Fürst, A. (o. J.). *Akute Immissionsschäden - Schadsymptome an Fichten.* Bundesforschungszentrum für Wald, Institut für Waldschutz, Abteilung Immissions- und Pflanzenanalyse (Hrsg.). Wien. Verfügbar unter http://bfw.ac.at/600/pdf/Akutschaden.pdf [30.09.2019].

Didaktische Umsetzung

Anhand von Bildkarten wird den SchülerInnen der Grund des Waldsterbens der 1980er-Jahre nähergebracht. Ein einfacher Versuch verdeutlicht, welchen pH-Wert Regen hat und was „saurer Regen“ ist. Anschließend recherchieren die SchülerInnen mit Hilfe des Österreichischen Bioindikatornetzes den Verlauf der Schwefelbelastung österreichischer Wälder von 1983 bis heute. Die Daten werden gemeinsam interpretiert und es wird besprochen, unter welchen Umwelteinflüssen die Wälder heute leiden.

Inhalte	Methoden
Einführung ins Thema	**10 Minuten**
Das Umweltproblem „Waldsterben“ wird aus historischer Sicht betrachtet und ein Stimmungsbild der damaligen Zeit erstellt. 	Material Beilage „Bildkarten: Waldsterben der 1980er-Jahre“ Die Bildkarten werden der Klasse vorgelegt. Es wird kurz erläutert, was saurer Regen in dieser Zeit war, wie dieser mit dem Waldsterben zusammenhing und welche Luftschadstoffe sauren Regen bedingen. Gemeinsam wird versucht durch die Bilder herauszufinden, wen und was die demonstrierenden Menschen damals für dieses Umweltproblem verantwortlich gemacht haben.
pH-Wert von Regen	**10 Minuten**
Ein einfacher Versuch zeigt, welchen pH-Wert Regen hat. Foto: UBZ Steiermark	Material Beilage „Experimentieranleitung: Saurer Regen“ Das Experiment wird nach Anleitung durchgeführt. Voraussetzung dafür sind Regenfälle im Vorfeld, bei denen Regenwasser gesammelt wird. Tipp: In der Literatur findet man etliche einschlägige Versuche zum Thema saurer Regen oder Auswirkungen von Schwefeldioxid auf Pflanzen, die im Chemieunterricht durchgeführt werden können.

Datenauswertung	**25 Minuten**
Mit Hilfe des Österreichischen Bioindikatornetzes (BIN) wird die Entwicklung der Schwefel-Belastung österreichischer Wälder seit 1983 verfolgt. 	Material Beilage „Arbeitsblatt: Bioindikatornetz“, Internetzugang In Kleingruppen (je nach Anzahl vorhandener PCs) werden die Arbeitsschritte des Arbeitsblattes durchgeführt. Es sollten danach vier Österreichkarten mit farbigen Punkten am Bildschirm zu sehen sein. Diese Punkte stellen die Schwefelbelastung von Bäumen dar – die Bäume sind also Bioindikatoren. Die Karten werden zuerst in Kleingruppen interpretiert und die Ergebnisse dann in der Klasse besprochen bzw. verglichen. Das Ergebnis zeigt, dass die Belastung unserer Wälder durch Schwefeldioxid rückgängig ist. Tipp: Es können auch Zeitreihen anderer Schadstoffe (zB Quecksilber) mit dieser Datenbank analysiert werden.
Abschluss - heutige Situation	**5 Minuten**
Ein Stimmungsbild der heutigen Zeit wird erstellt.	Material keines In einer Schlussrunde wird mit der Klasse besprochen, ob sie das Umweltproblem „Waldsterben“ damit als abgeschlossen sehen. • Kennen die SchülerInnen aktuelle Berichte über Waldsterben? • Hat jemand von Problemen für die Wälder durch den Klimawandel gehört? • Welche Slogans werden heute bei Demonstrationen oder in den Medien verwendet?

Beilagen

- ► Bildkarten: Waldsterben der 1980er-Jahre
- ► Arbeitsblatt: Bioindikatornetz
- ► Experimentieranleitung: Saurer Regen

Weiterführende Themen

- ► Auswirkungen von Ozon auf Bäume
- ► Luftschadstoffe und Gesundheit
- ► Waldsterben und politische Entscheidungsprozesse damals und heute
- ► Der Wald im Klimawandel
- ► Entwicklung von Protestbewegungen

Weiterführende Informationen

Literatur

- **Unterrichtsmappe „Unser Lebensmittel Luft“**
  Die Themen Luft und Luftgüte in der Steiermark werden auf 195 Seiten aufgearbeitet.
  Im Fachinformationsteil werden theoretische Grundlagen zur Luft, zur Atmung, zur Atmosphäre, zum Lokalklima der Steiermark und zur geschichtlichen Entwicklung der Schadstoffproblematik aufgezeigt und die einzelnen gemessenen Luftschadstoffe werden behandelt. Der Praxisteil bietet Arbeitsblätter, Spiele, Versuche und weitere Ideen, wie das Thema Luft abseits des klassischen Chemieunterrichts fächerübergreifend behandelt werden kann. Kostenlos als Download verfügbar unter:
  www.ubz.at/publikationen

- **UBZ-Stundenbilder**
  - **Dynamische Waldtypisierung** (9.-13. Schulstufe)
    Wie wird sich die Zusammensetzung der Baumarten in Zukunft verändern? Wo findet man Informationen zum Wald und zu den Waldstandorten in der Steiermark? Wo erhält man Empfehlungen für standortangepasste Baumarten unter dem Aspekt des Klimawandels?
  - **Pflanzen sind O_2-Fabriken** (5.-13. Schulstufe)
    Wie produzieren Pflanzen Sauerstoff? Welche Bedingungen brauchen sie dafür?
    Wie lässt sich die Sauerstoffproduktion experimentell nachweisen?

  www.ubz.at/stundenbilder

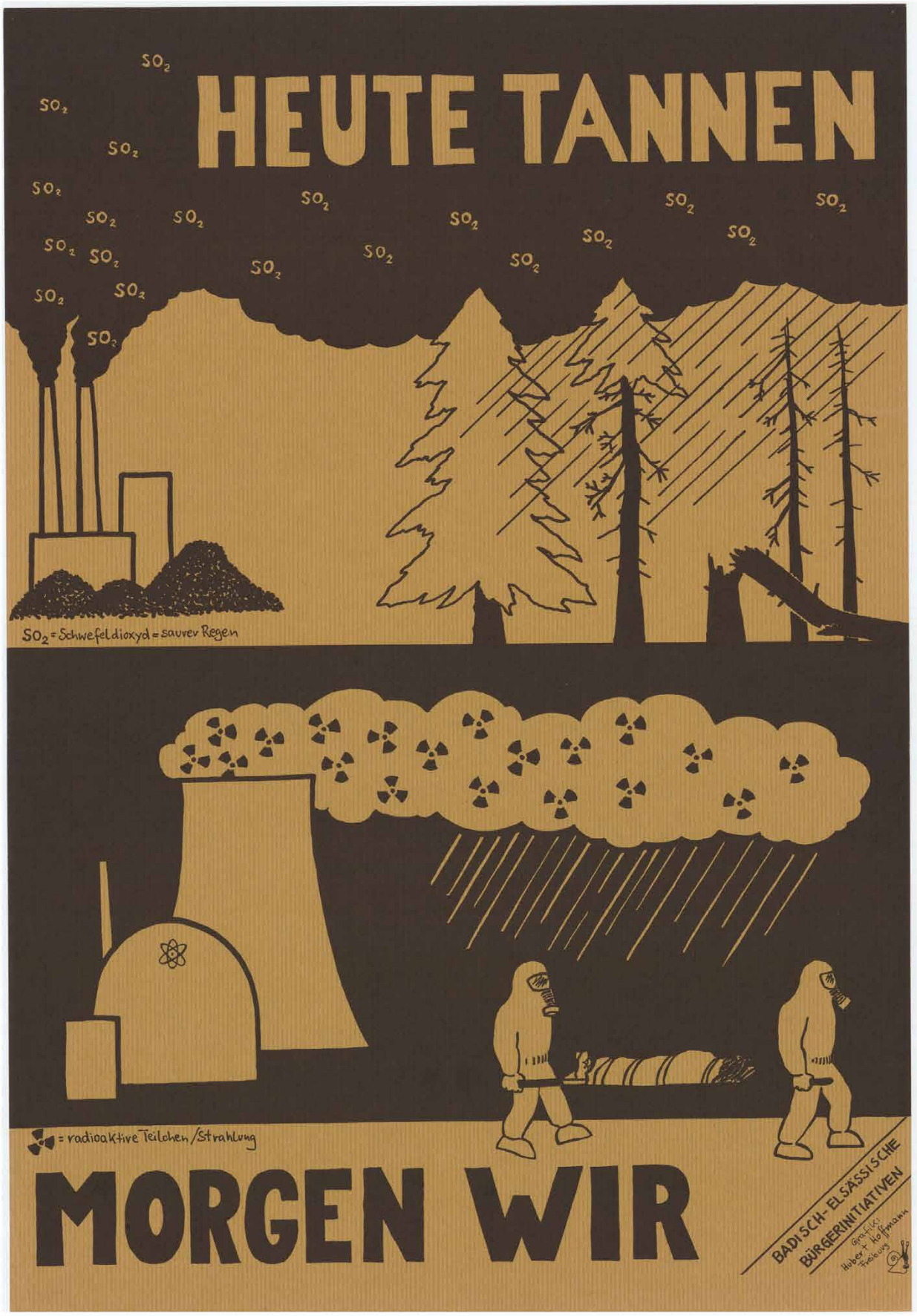
Noch Fragen zum Thema?

Mag. Michael Krobath
Telefon: 0043-(0)316-835404-26
michael.krobath@ubz-stmk.at

Autor: Mag. Michael Krobath

www.ubz-stmk.at

Das Land Steiermark

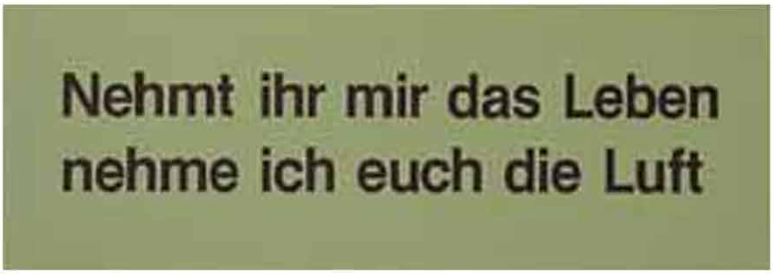


Plakat gegen das Waldsterben in den 1980er-Jahren;
Badisch-Elsässische Bürgerinitiative/Grafik: Hubert Hoffmann, Freiburg

Plakat gegen das Waldsterben in den 1980er-Jahren;
Badisch-Elsässische Bürgerinitiativen/Grafik: Hubert Hoffmann, Freiburg

Plakat gegen das Waldsterben in den 1980er-Jahren;
BUND Regionalverband Südlicher Oberrhein in Freiburg/Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

Inserat des „Salzburger Forderungsprogrammes zur Rettung des Waldes" in „Wurzelwerk. Zeitschrift für Umwelt und Innenleben" (Ausgabe Mai 1984)



Slogans zum Waldsterben aus den 1980er-Jahren in Deutschland;
www.mitwelt.org/waldsterben.html

Demonstration gegen das Waldsterben im Jahr 1984;
Quelle: www.mitwelt.org/waldsterben.html

abgestorbener Wald im tschechischen Erzgebirge 1998; wikimedia/bdk

Waldsterben; pixabay.com/alegria2014

Saurer Regen

Benötigtes Material

- zwei verschließbare Gläser
- Indikatorstreifen zur Messung des pH-Wertes
- pH-Meter falls vorhanden
- Essig
- Pipette oder Spritze
- Regenwasser, Leitungswasser

Vorbereitung

Die Gläser müssen gut ausgewaschen und gespült sein.

In einem Glas wird Regen gesammelt. Der Regen muss direkt ins Glas fallen und darf nicht zB über eine Regenrinne ins Glas geleitet werden. Es dürfen keine Fremdkörper wie zB Pflanzenteile in die Regenprobe gelangen. Das Glas wird verschlossen und mit „Regenwasser“ beschriftet.

Das zweite Glas wird mit der selben Menge Leitungswasser gefüllt und mit „Leitungswasser“ beschriftet.

Durchführung

Mit einem Indikatorstreifen wird zuerst der pH-Wert des Leitungswassers und dann des Regenwassers untersucht. Falls vorhanden, kann auch ein pH-Meter zur Messung verwendet werden.

Um zu veranschaulichen, welchen pH-Wert der Regen in den 1980-Jahren hatte, wird dem Regenwasser tröpfchenweise Essig hinzugefügt. Das Wasser wird umgerührt und der pH-Wert erneut gemessen. Das wird so oft wiederholt, bis der Wert ca. bei 4,5 liegt. Das entspricht ungefähr dem sauren Regen der damaligen Zeit.

Das Wasser kann gekostet werden. Schmeckt man die Säure (Essig) raus?

Hinweis

Der pH-Wert von Leitungswasser liegt je nach Region zwischen 6,5 und 9,5 (meist zwischen 7 und 8,5).

Der pH-Wert des Regenwassers ist nicht neutral (7), sondern liegt bei ca. 5,5 (sauer) aufgrund des natürlichen CO_2-Gehaltes der Atmosphäre.

Beim sauren Regen hat die Senkung des pH-Wertes natürlich nicht durch Essig, sondern durch die Reaktion des Regenwassers mit Luftschadstoffen stattgefunden.

Bioindikatornetz

Seit 1983 werden in Österreich Bäume (v. a. Fichten) auf ihre Schadstoffbelastung hin untersucht. Dazu werden im ganzen Land jährlich Baumnadeln entnommen und im Labor analysiert. Schwefel gilt bei dieser Auswertung als Leitschadstoff.

Versuche die Entwicklung der Belastung mit Schwefel für vier unterschiedliche Jahre herauszufinden!

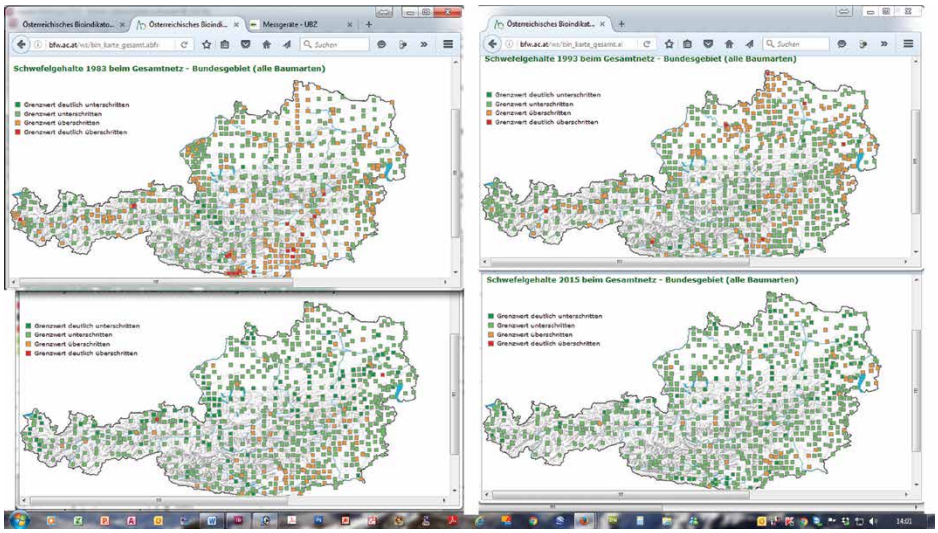
1. Rufe die Abfragemaske entweder über den Link des Österreichischen Bioindikatornetzes (BIN) oder über den Direktlink auf:
   www.bioindikatornetz.at > Online-Datenbanken
   http://bfw.ac.at/ws/bin_online.auswahl (Direktlink)

2. Wähle für die 1. Abfrage folgende Einstellungen:
   Element → Schwefel > klicke auf „Weiter“
   Art der Auswertung → Österreichkarte > klicke auf „Weiter“
   Untersuchungsnetz → Gesamtnetz > klicke auf „Weiter“
   Entnahme im Herbst → 1983 > klicke auf „Weiter“

   Es erscheint eine Karte von Österreich mit allen 1983 beprobten Bäumen. Bei einigen roten Punkten darin ist laut Legende der „Grenzwert deutlich überschritten“. Rot und orange sind Werte über dem Grenzwert, hell- und dunkelgrün unter dem Grenzwert für Schwefel.

3. Lass das Browserfenster bestehen und öffne für jede Abfrage ein neues Browserfenster! Wiederhole die Abfrage für die Jahre **1993**, **2013** und für **das aktuellste Jahr**.

4. Ordne die vier offenen, verkleinerten Browserfenster nun so am Bildschirm an, dass alle vier Karten von 1983 bis heute nebeneinander abgebildet sind. Nun kannst du die Karten direkt miteinander vergleichen.



5. Beantworte folgende Fragen:

> In welchem Jahr sind die meisten roten Punkte auf der Karte zu sehen?

_____

> Gibt es in der aktuellsten Karte noch rote Punkte?

_____

> In welchen Gegenden/Regionen Österreichs findet man auch heute noch orange Punkte, also „Grenzwert überschritten“?

_____

> Ist seit 1983 der Schwefelgehalt in beprobten Bäumen zurückgegangen, gestiegen oder gleich geblieben?

_____

> Was könnten die Gründe für diese Entwicklung sein? Besprecht das in der Klasse!

_____

_____

_____

Bioindikatornetz

> In welchem Jahr sind die meisten roten Punkte auf der Karte zu sehen?

im Jahr 1983

> Gibt es in der aktuellsten Karte noch rote Punkte?

nein

> In welchen Gegenden/Regionen Österreichs findet man auch heute noch orange Punkte, also „Grenzwert überschritten“?

Aktuell findet man fast in jedem Bundesland noch orange Punkte, v. a. im Süden und Osten Österreichs.

> Ist seit 1983 der Schwefelgehalt in beprobten Bäumen zurückgegangen, gestiegen oder gleich geblieben?

zurückgegangen

> Was könnten die Gründe für diese Entwicklung sein? Besprecht das in der Klasse!

Der Abwärtstrend der Belastung wurde durch mehrere Maßnahmen zur Luftverbesserung erreicht, zB durch die Absenkung von Schwefel im Heizöl, durch die Forcierung von Erdgas und Fernwärme und durch den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen in den Industriebetrieben.

Bäume, die heute noch orange markiert sind, liegen meist im Einflussbereich von größeren Emittenten bzw. Ballungsräumen.