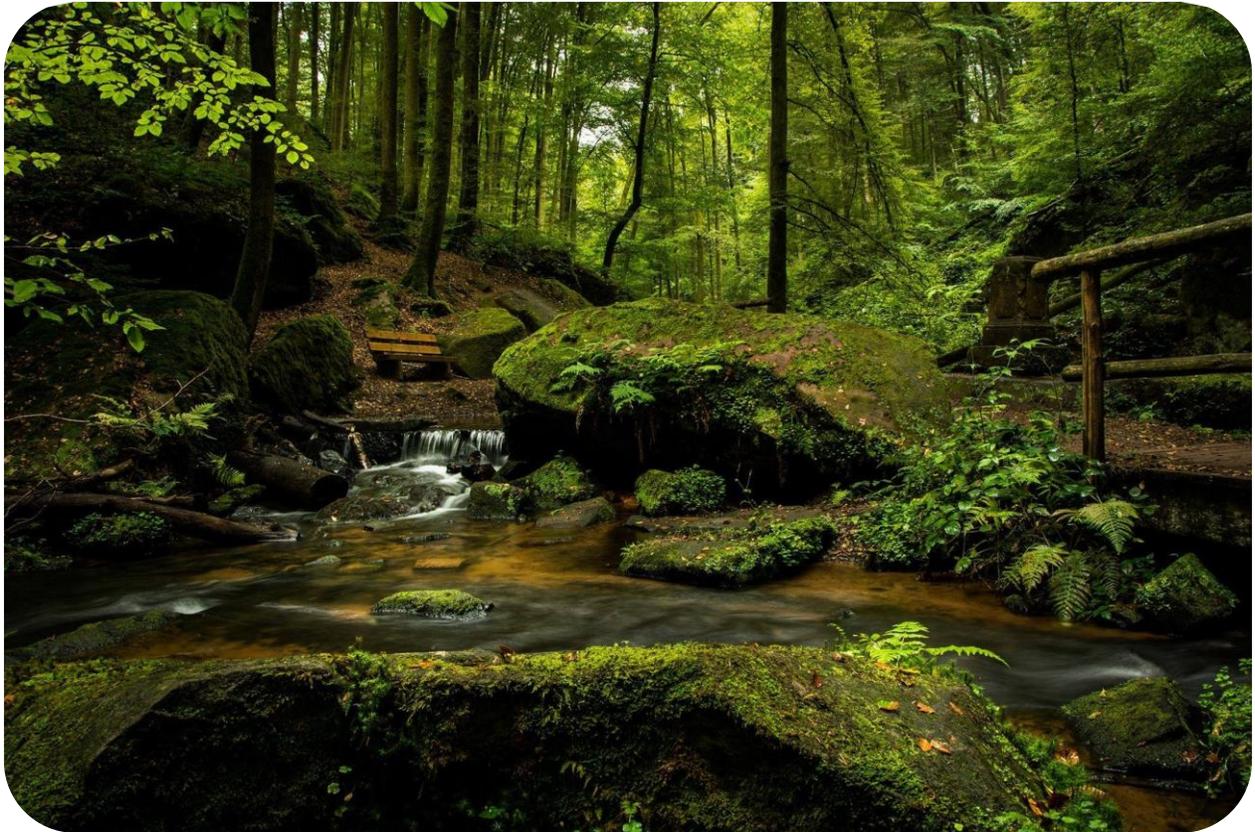


Biologie: Saurer Regen und Bodenversauerung (Projektarbeit)



Bildquelle: www.pexels.com

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungsniveau	Durchführungsniveau	Vorbereitung
Sek1	Biologie	Ökologie	••	••	••

Aufgabenstellung

- ▶ Die Schüler befassen sich intensiv mit den Gründen des sauren Regens und der Bodenversauerung.
- ▶ Biologie- Chemie- , Mathematik- und Erdkundelehrer sollen im Idealfall dieses Projekt planen und gemeinsam durchführen.
- ▶ Die Schüler lernen durch das Erstellen einer geographischen Karte ihre Region besser kennen.
- ▶ Die Schüler werden insgesamt auf längere Sicht für das Thema Umweltschutz sensibilisiert.
- ▶ Die Schüler lernen, wie der saure Regen und das Waldsterben zusammenhängen.
- ▶ Die Schüler werden im Umgang mit z.B. Excel geschult.
- ▶ Die Arbeit am Computer ist ein wichtiger Bestandteil des Projektes.
- ▶ Die Schüler lernen, wie man Bodenproben nimmt und analysiert.

Diese Versuchsanleitung ist sehr wissenschafts- und praxisorientiert, da der saure Regen neben Witterungsextremen auch für das Waldsterben verantwortlich ist! Versuche im Zuge der Umweltbildung sind sehr wichtig, um die Schüler für den Natur- und Umweltschutz zu sensibilisieren.

Diese „Versuchsreihe“ kann als Fächerübergreifendes Projekt durchgeführt werden. Ideal wäre dieses Projekt im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht (beinhaltet mathematische, biologische, chemische, physikalische und geographische Komponenten). Selbstverständlich kann dieses Projekt aber auch im Rahmen einer „Umwelt-AG“ realisiert werden. Dieses Projekt hat unserer Ansicht nach sehr viele Vorteile, denn in diesem Projekt muss, um Daten vernünftig auswerten zu können, Fächerübergreifend gearbeitet werden. Aber auch soziale Kompetenzen werden durch dieses Projekt wesentlich gestärkt. Ähnliche Projekte wurden in Frankreich und besonders in den USA an vielen Schulen durchgeführt. Auch einige deutsche Schulen - jedoch erstaunlich wenige - haben sich bisher an diesem „Netzwerk“ beteiligt!

1. Hintergrund

Schneller Überblick

<p>Saurer Regen führt zu Bodenversauerung die Vegetation leidet darunter</p> <p>Eine Folge der Bodenversauerung ist ein flaches Wurzelwerk</p>	<p>Bodenschutzkalkung verbessert die Nährstoffspeicherung, Struktur, Belüftung und Durchwurzelung von Böden</p> <p>Auf etwas mehr als 16% der bundesdeutschen Waldflächen besteht ein Kalkungsbedarf zur Regeneration des natürlichen Bodenzustands und seiner Vielfalt</p>	<p>Bodenversauerung belastet Wälder trotz reduzierter Schwefeleinträge</p> <p>Flaches Wurzelwerk auf versauerten Böden verstärkt die Anfälligkeit von Wäldern für Trockenschäden</p>
--	---	--

Quelle: www.forstpraxis.de

Saurer Regen und Waldsterben

In der Atmosphäre entsteht aus NO_x salpetrige Säure und Salpetersäure, aus SO_2 schweflige Säure und Schwefelsäure und aus Chlorverbindungen Salzsäure. Diese Säuren verschieben den pH-Wert des Regens in den sauren Bereich, sodass es zu einer **sauren Ablagerung** kommt. Gewässer können ausgesprochen empfindlich reagieren, aber auch der Boden und die Vegetation werden in Mitleidenschaft gezogen.

Saure **Böden** binden Calcium, Kalium und Magnesium schlechter, sodass Nährstoffe und Spurenelemente nicht mehr gespeichert werden können. Sie werden daher über die Bodenlösung ausgewaschen. Gleichzeitig werden bei pH-Werten $< 4,2$ toxische Ionen (Aluminium und die Schwermetalle Kupfer, Zink, Cadmium und Blei) gelöst und für Pflanzen verfügbar gemacht. Dies schädigt Feinwurzeln, Mykorrhiza und auch den Wasserhaushalt vieler Baumarten. Da häufig gleichzeitig durch den hohen Eintrag von Stickstoffverbindungen die Pflanzen einen Wachstumsschub erhalten, geraten Bäume durch die unausgewogene Relation zwischen verschiedenen Nährstoffen zunehmend unter starken physiologischen Stress. Dieser ist erkennbar durch Schädigung der Chloroplasten (Farbveränderung), Nährstoffmangel, erhöhte Respiration und Wasserbedarf. Weitere Symptome können Schäden im Wurzelbereich sein (abnehmende Standfestigkeit bei Stürmen), Abwurf von Nadeln und Blättern, Kronenverlichtung und in Extremfällen auch Absterben des Baumes.

Seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts sind in weiten Gebieten Europas und Nordeuropas diese „**neuartigen**“ **Waldschäden** festgestellt worden. Im Unterschied zu früheren Waldschäden, welche auf einen einzelnen Faktor zurückzuführen waren (meist die Emission einer Industrieanlage, Forstschädlinge oder ein extremes Witterungsereignis), wirken viele der erwähnten Faktoren komplex und über große geographische Räume zusammen. Den sauren Niederschlägen kommt hierbei zusammen mit dem hohen **Stickstoffgehalt** eine Schlüsselrolle für die Erklärung dieser Waldschäden zu. Weitere mögliche Erklärungskomponenten sind die Zunahme von troposphärischem Ozon, generelle Luftverschmutzung sowie eine Zunahme klimatischer Extremereignisse. Krankheiten und Parasiten scheiden nach derzeitigem Kenntnisstand als Primärursache aus.

Aufgrund unterschiedlicher Erfassungsmethoden war es schwierig, die Waldschäden innerhalb von Europa zu vergleichen. Seit 1986 gibt es jedoch europaweite, einheitliche Erhebungen, welche eine deutliche Verschlechterung des Gesundheitszustands der Wälder zwischen 1988 und 1992 anzeigten. Seitdem gab es in vielen Staaten eine leichte Erholung, aber keine eigentliche Trendwende. Für 2001 weisen in Deutschland 22% aller Baumarten deutliche Schäden, Kronenverlichtung > 25 % auf. Am empfindlichsten reagieren zu Beginn des Waldsterbens Tannen, heute sind es jedoch Eichen und Buchen, gefolgt von Fichten und Kiefern (Umweltbundesamt 2002).

Geschädigte Waldflächen weisen in Deutschland einen Stickstoffeintrag von durchschnittlich 25 kg/ha auf, Bäume benötigen für ihr Wachstum aber nur 5-15 kg/ha. Diese Stickstoffübersversorgung führt zu einer Förderung von Stickstoff liebenden Pflanzen in Waldökosystemen und zu einer Anreicherung von Nitrat im Sickerwasser. Zunehmend ist das Grundwasser bereits so sauer, dass es für die Trinkwassergewinnung aufbereitet werden muss. Neben einer Übersversorgung von Stickstoff und Schwefel weisen geschädigte Wälder einen Nettoverlust an Calcium, Magnesium und Kalium auf (Umweltbundesamt 2002).

Die systematischen **Waldschadenserhebungen** haben gezeigt, dass die zu Beginn der 80er Jahre befürchteten katastrophalen Waldschäden nicht eingetreten sind. Auch fand keine kontinuierliche Verschlechterung der Situation statt, vielmehr liegt heute ein stagnierendes, als besorgniserregend hoch eingestuftes Schadensniveau vor. Gegenmaßnahmen können nur darin bestehen, die saure Ablagerung zu reduzieren. Vor allem die SO₂-Emission konnte in den letzten Jahrzehnten erfolgreich reduziert werden, die NO_x-Emissionen sind jedoch immer noch hoch. Das Anpflanzen säureresistenter Sorten oder Arten sowie das Kalken von Waldböden haben sich langfristig als nicht wirksam erwiesen, vor allem werden hierdurch die Ursachen nicht behoben. Aufgrund der hohen Speicherfähigkeit der Waldböden für die saure Deposition werden sich Verbesserungen auf der Schadstoffseite erst mit einer Verzögerung von Jahrzehnten positiv auswirken. Ebenfalls lange Zeiträume benötigt die Umgestaltung der Forstwirtschaft dort, wo sie intensiv betrieben wird, zu einer nachhaltig orientierten Waldbewirtschaftung mit Förderung bzw. Anpflanzung standortgerechter Baumarten.

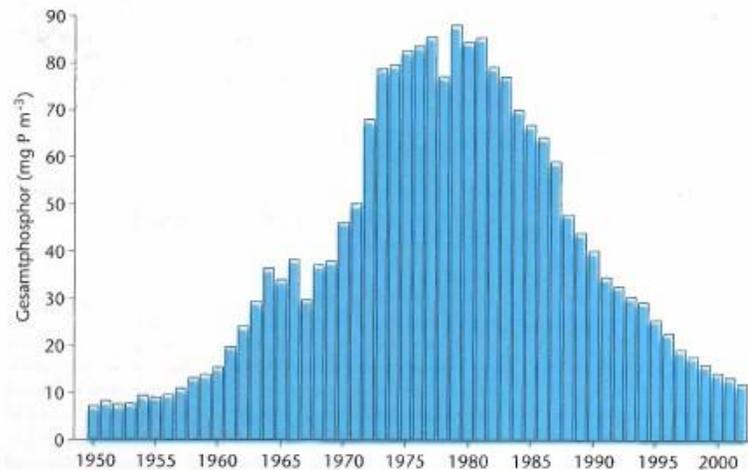


Abbildung 1: Veränderung des Phosphor-Gehaltes im Bodensee. Die starke Abnahme ist auf den Bau von Kläranlagen und das Phosphatverbot in Waschmitteln zurückzuführen. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (2002). Quelle: Nentwig et al. 2004.

Anforderungen

- es müssen verlässliche Schüler/Lehrer gefunden werden, welche die Messungen jeden Tag regelmäßig über einen längeren Zeitraum vornehmen. Nur Genauigkeit und Regelmäßigkeit führen zu einem auswertbaren und reproduzierbaren Ergebnis.
- Es muss ebenfalls regelmäßig sauber protokolliert und ausgewertet werden.
- Computer- und Internetzugang sind Voraussetzung für dieses Projekt.

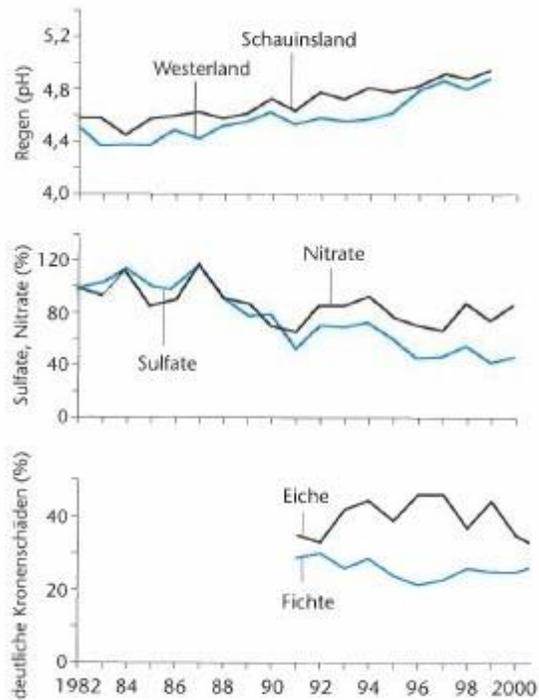


Abbildung 2: Mit der Reduktion der Schadstoffemission steigt auch der saure pH des Regens wieder an (gezeigt für die Standorte Westerland/Sylt und Schauinsland/Schwarzwald). Hierdurch reduziert sich die nasse Deposition (gemessen als Sulfate und Nitrate, 1982 als 100 % gesetzt). Da die im System akkumulierte Säuremenge jedoch immer noch sehr groß ist, ist noch keine eindeutige Verbesserung des Zustands von Fichte und Eiche (gemessen als Anteil der Bäume mit deutlicher Kronenverlichtung) zu erkennen, allerdings auch keine weitere Verschlechterung. Nach Umweltbundesamt (2002). Quelle: Nentwig et al. 2004.

Ökologische Bedeutung DER BODENREAKTION

Niedrige pH-Werte ($< \text{pH } 4,2$)

- >> ungünstiges Bodengefüge
- >> ungünstige Humusformen (Rohhumus)
- >> Beeinträchtigung der Stofftransformationfunktion von Böden

>> Zerstörung von Tonmineralien

- >> Toxizität durch Al^{3+} -Ionen (Wurzelschäden)
- >> zunehmende Mobilität von Schwermetallen (Cu, Zn, Cd, Pb)
- >> Gefahr der Quell- und Grundwasserkontamination
- >> Abnahme der Biodiversität

Quelle: www.forstpraxis.de

2. Material und Methoden

- ▶ Regenmesser
- ▶ Thermometer
- ▶ pH-Messgerät
- ▶ Aufbewahrungskoffer
- ▶ Auswertungstabelle
- ▶ Windmesser
- ▶ Kompass
- ▶ Die Schüler müssen einen Zugang zu einem Computer mit Internet haben, um Messungen z.B. in Excel eintragen zu können und Wetterdaten einzusehen (z.B. <https://kachelmannwetter.com/de>).
- ▶ Formular (siehe unten/ mögliches Formular, welches die Schule selbstverständlich ergänzen kann)
- ▶ Geographische Karte der Region (am besten in Farbe in A3 mit zwei Maßstäben!)
- ▶ Bodenkoffer Umweltanalyse
- ▶ Reagenzien für Bodenextrakte
- ▶ Bodensiebe
- ▶ Optional: Smart Wetter Sensor mit GPS
- ▶ Optional: Wetterfahne für Smart Wettersensor
- ▶ Optional: Smart pH-Sensor

3. Versuchsablauf

Versuch 1

Der Regenschirm sollte an einem ungeschützten Ort auf einer freien Ackerfläche aufgebaut werden („landwirtschaftlich genutzte Fläche“). Bäume, Büsche und Gebäude sollten keinen Einfluss auf die Messergebnisse haben.

Die Messungen des pH-Wertes, der Wetterdaten und der Regenmenge müssen simultan erfolgen! Dies muss jeden Tag zur gleichen Uhrzeit stattfinden! Die Ergebnisse sollten in einer Tabelle (am besten EXCEL) notiert werden.

1. Man nimmt den Regenschirm aus dem Gestell (bzw. aus dem Boden je nach Modell). Falls kein Niederschlag vorhanden ist, macht man mit Punkt 5 weiter.
2. Man misst jetzt den pH-Wert, in dem man den pH-Fühler in das Wasser taucht. Falls man pH-Papier benutzt, dann taucht man es kurz in das Wasser hinein. Falls Schnee im Regenschirm ist, muss dieser vorher geschmolzen werden. Es kommt natürlich auch darauf an, wie lange der Schnee gelegen hat bevor die Messung durchgeführt wurde!
3. Jetzt notiert man den angezeigten pH-Wert.
4. Man misst die Wetterdaten entweder mit dem Wettersensor oder analog und trägt sie in eine Tabelle ein.
5. Im nächsten Schritt liest man die Niederschlagsmenge ab. Um ein genaues Ergebnis zu erzielen, sollte man den Inhalt des Regenschirms in einen Messzylinder geben.
6. Zum Schluss säubern wir den Innenbehälter des Regenschirms sorgfältig mit destilliertem Wasser. Wiederholen Sie diese Prozedur mehrmals, um sicherzustellen, dass das Milieu jetzt wieder neutral ist. Auch wenn es mehrmals keinen Niederschlag gab, muss täglich der Regenschirm gespült werden.

Beispiel für Tabelle Datenerfassung Versuch 1

Name der Schule:	
E-Mail Adresse der Schule	
Leitender Lehrer:	
Ort/Bundesland/Land	

Woche	Tag	pH	Niederschlag (Typ)	Menge (mm oder ml)	Windstärke (m/s) und Richtung
Woche vom:					
	Montag				
	Dienstag				
	Mittwoch				
	Donnerstag				
	Freitag				



Versuch 2

1. Schülergruppen nehmen Bodenproben an zwei verschiedenen Standorten (1. Standort: landwirtschaftlich genutzte Ackerfläche= Standort der Regenmessungen, 2. Wald-Standort) und bereiten diese mit einem Bodenkoffer so vor, dass die Bodenextrakte anschließend mit Reagenzien auf die relevanten Umweltparameter (Nitrat/Nitrit, Ammonium, Phosphat, pH-Wert, etc.) getestet werden können.
2. Die Schülergruppen testen die Bodenextrakte mit entsprechenden Test-Kits (z.B. Visocolor School).
3. Alle Werte werden in einer Excel-Tabelle für jeden Standort separat eingetragen.
4. Im nächsten Schritt macht man an beiden Standorten eine Messung der Korngröße mit Bodensieben.
5. Alle Messungen für die Bodenanalyse werden mindestens 3-mal an unterschiedlichen Tagen durchgeführt zur gleichen Uhrzeit und idealerweise im Zeitraum Mai-September. Im Winter kann der Boden gefroren sein, was die Messung erschwert oder unmöglich macht.

Für die Bodenanalysen (Versuch 2) sind ebenfalls Tabellen vorzugsweise in EXCEL anzulegen!

4. Datenanalyse und Auswertung

Alle Daten sollen in einer Tabelle eingetragen werden. Hier ein Beispiel für Versuch 1.

Bericht

Das vorgegebene Dokument erleichtert Ihnen eine Einteilung der Daten.

Verwenden Sie eine geographische Karte. Mit einem Filzstift die zwei Messstandorte und die Lage der Schule einzeichnen. Erkundigen Sie sich über Industriestandorte und Bauernhöfe in der Nähe der Standorte. Markieren Sie Industriestandorte, große Städte etc. auf der Karte (am Besten in verschiedenen Farben).

Schule: _____

Ort: _____

Ungefähre geographische Beschreibung der Standorte (z.B. 20 km südöstlich von Stuttgart)

Die durchschnittlichen Tagesniederschläge in ml: _____

Der Durchschnitt der pH-Werte und der Wetterdaten (z.B. Tempertaur) wird als Monatswert ermittelt. Weiterhin kann man angeben, welches die häufigste monatliche Windrichtung war.

Außerdem ist eine ökologische Beschreibung der Standorte sinnvoll.

- 1) Ackerfläche, Entfernung zum nächsten Waldgebiet, Vegetation die auf Ackerfläche angebaut wird (wenn ersichtlich), Dünnung, Strauchschichten, Leitelemente, Nähe zu Städten/Dorfern/Straßen, Weiden in der Nähe?
- 2) Waldstandort: Baumdichte, dominante Baumarten, Baumalter (wird gemessen mit dem BHD=Brusthöhendurchmesser, das können die Schüler mit einem Maßband an mehreren Bäumen durchführen, um die Methode zu lernen). Außerdem sind Unterschichten mit Vegetation zu dokumentieren und wenn vorhanden Totholzbäume in der Karte markieren. Im Hinblick auf den Artenschutz können die Schüler auch noch Baumhöhlen/Spalten kartieren (d.h. die Standorte auf der Karte eintragen oder in einem GPS Gerät einspeichern, dies ist auch sehr sinnvoll, da diese Tätigkeit in Planungsbüros im Artenschutz angewendet wird).

Durch die Recherchen im Internet können rückwirkend noch weitere Wetterdaten wie z.B., Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, etc. ergänzt werden. Der Smart Wettersensor misst alle wichtigen Wetter-Daten sowie den Standort automatisch.

Für den Bodenversuch sollten ebenfalls alle umweltrelevanten Parameter mit den jeweiligen Werten in einer Excel-Tabelle eingetragen werden und anschließend am besten in einer Hausarbeit in Hinblick auf den sauren Regen und die Nährstoffverfügbarkeit im Boden diskutiert werden.

Die Schüler sollten auch Standorte in der Karte eintragen, an denen die Umwelt belastet wird, was zu saurem Regen führt (z. B. Schwerindustrie, Großstädte und Ballungszentren, Stirkraftwerke und Raffinerien...). Weiterhin sollten Orte oder Regionen eingetragen werden, an denen "normaler Regen" produziert wird:

- Wälder
- Landwirtschaftlich geprägte Regionen
- Kleinerer Ortschaften
- Wasserflächen

Lassen Sie Ihre Schülerinnen und Schüler eine Hausarbeit anfertigen um das gelernte Wissen zu vertiefen. Dort sollen alle Daten gelistet und diskutiert werden.

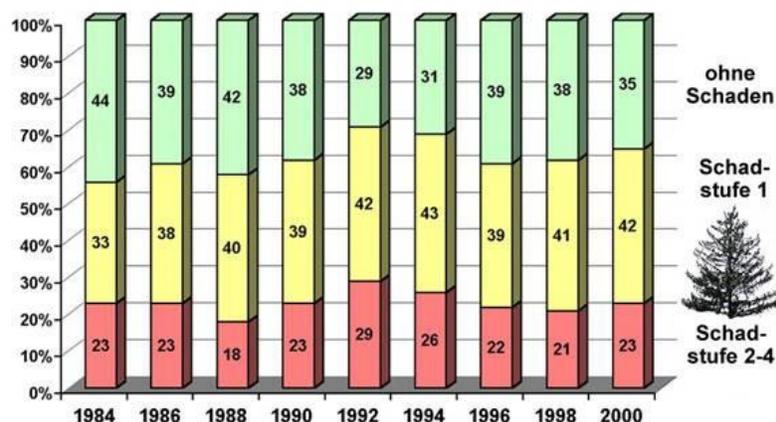
Auswertung

1. Beschreiben Sie in eigenen Worten, ob die Messungen Ihre Vermutung bestätigen.
2. Falls Sie nicht die Ergebnisse erzielt haben, die Sie erwartet haben, kann es sein, dass die Messungen falsch waren?
3. Gibt es noch andere Faktoren, die den sauren Regen entstehen lassen?

Schadstufenanteile für alle Baumarten

in Deutschland seit 1984

digitalefolien.de



Quelle: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

Und was dann?

Eine Schule kann über einige Monate/Jahre Daten sammeln und auswerten. Selbstverständlich hat es Sinn, wenn man Daten und Analysen mit anderen Schulen oder auch Ländern austauscht. In diesem Zusammenhang wäre es bestimmt interessant, wenn man die Auswertungen des Waldschadensbericht einmal genauer im Unterricht untersucht. Die Einbeziehung von regionalen Waldschadensberichten wären hier sehr wertvoll.

Die Projektgruppe „Saurer Regen/Bodenversauerung“ kann z.B. ihre Ergebnisse regelmäßig auf die Homepage der Schule setzen. Natürlich wäre es wünschenswert, wenn man dieses Projekt erweitert und logische Folgeprojekte anhängt.

In Deutschland gibt es bisher relativ wenig Schulen, die solche Untersuchungen und Analysen durchführen. Ein Blick ins Internet lohnt sich.

5. Allgemeine Fragen

Mögliche Fragen um das gelernte Wissen zu überprüfen wäre:

Warum führt saurer Regen zu einer Bodenversauerung und wie beeinflusst diese das Wurzelwachstum von Bäumen? Erklären Sie den ökologischen Zusammenhang!

Warum sind Bodenkalkungen sinnvoll?

Klimastabile Wälder benötigen die Umstellung der Baumarten hin zu klimatoleranten Baumarten! Ist die Regeneration stark versauerter Böden durch Bodenschutzkalkung eine wesentliche Voraussetzung dafür?

Wird Klima- und Trockenstress bei Bäumen durch Bodenversauerung verstärkt?

Intensivieren und vertiefen Waldkalkungen die Grob- und Feinwurzeln von Bäumen?

Bitte beachten Sie, dass diese Versuchsanleitung lediglich als Orientierung dient. Sie ersetzt keine fachgerechte Unterrichtsvorbereitung. Sie wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt. Dennoch können wir keine Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität übernehmen und bitten Sie, die jeweiligen Aussagen und Quellen vor Verbreitung zu überprüfen.