



Quarks & Co „Lebensquell Regen“



Autoren:

Michael Fuhs
Christoph Goldbeck
Harald Raabe
Jo Siegler
Ismeni Walter

Redaktion:

Daniele Jörg

Am Regen spaltet sich die Menschheit: Die einen führen Regentänze auf, um ihn herbeizutieren, die anderen hoffen darauf, dass er möglichst lange fernbleibt. In Wüstenregionen gilt Regen als lebensspendend, in regenreichen Gebieten dagegen kennt man auch seine Zerstörungskraft.

Regnen kann es auf viele Arten: Es gibt Niesel-, Sprüh- oder Staubregen, Landregen, Regenschauer oder auch Wolkenbrüche. Aber gibt es auch „Blutregen“ und „Fischregen“?

Quarks & Co gibt Ihnen die Antwort darauf und auf folgende Fragen:

Woher kommt der Regen überhaupt und wohin geht er wieder?
Warum gibt es kleine und große Tropfen?
Kann man schon im Januar sagen, ob der Sommer verregnet wird?
Wie sähe die Erde ohne Regen aus?
Wodurch unterscheiden sich Platzregen, Sprühregen und Eisregen?
Und wie reagiert die menschliche Haut auf Dauerregen?

Regen in Deutschland

In Deutschland regnet es wie aus Eimern. Durchschnittlich 245 Zehn-Liter-Eimer Regen gehen pro Jahr in Balderschwang auf einem Quadratmeter Boden nieder. Das entspricht 2.450 mm Jahresniederschlag. Damit hält der kleine Ort im Allgäu den deutschen Regenrekord.

Bei uns in Deutschland fällt der meiste Regen im Sommer – aber die Winter holen auf! Um 30 Prozent sind die winterlichen Niederschlagsmengen in den letzten 100 Jahren gestiegen. Haben also all die Recht, die behaupten: „Früher war das Wetter schöner“? Obwohl im Sommer die Niederschlagsmenge in etwa gleich geblieben ist, haben die „Starkregentage“ – also die Tage mit besonders hohen Niederschlagswerten – zugenommen. Viele Wissenschaftler vermuten, dass diese Wetterveränderungen mit dem Treibhauseffekt zusammenhängen. Die Klimaveränderungen in Deutschland sind regional unterschiedlich: Im Westen Deutschlands ist der Trend zu mehr Regen am stärksten; im Osten hat sich diesbezüglich wenig verändert.

Schauen Sie auf unserer Tabelle nach, wo wie viel Niederschlag fällt, wo der trockenste Ort Deutschlands liegt und wie sich die Niederschläge in den letzten 100 Jahren verändert haben.

1	Kiel 750 mm/m ² 27 m ü. NN	Kiel liegt 27 Meter über dem Meeresspiegel. Durch die Nähe zu Nord- und Ostsee herrscht hier ein „maritimes“ Klima: Im Winter ist es nicht allzu kalt und im Sommer nicht sehr heiß. In Kiel fallen jedes Jahr 750 mm Niederschlag.
2	Hamburg 773 mm/m ² 11 m ü. NN	Mit Regen muss man in Hamburg jederzeit rechnen: An 203 Tagen im Jahr fallen 773 mm Niederschlag. Doch es regnet nicht überall in Hamburg gleich viel. Die Harburger Berge fangen einen Teil des Regens aus dem Südwesten ab; in ihrem Windschatten ist es deutlicher trockener.
3	Bremen 672 mm/m ² 4 m ü. NN	Der Jahresniederschlag liegt in Bremen bei 672 mm. Allerdings ist der Niederschlag auch hier in den letzten hundert Jahren gestiegen: im Sommer um fünf Prozent und im Winter um elf Prozent. Dieser Trend gilt für ganz Norddeutschland. Außerdem ist in Bremen ein weiteres Phänomen zu beobachten: Die Niederschlagsextreme, also Monate, in denen es besonders feucht oder besonders trocken ist, haben zugenommen.
4	Rostock 592 mm/m ² 4 m ü. NN	In Rostock an der Ostsee fällt im Mittel 592 mm Regen im Jahr. Etwas weiter im Osten, in Bath bei Strahlsund, wurde vor einigen Jahren ein Niederschlagsrekord registriert: Im Juli 1994 wurde hier der kleinstmögliche monatliche Niederschlag gemessen: 0 mm.

5	Magdeburg 494 mm/m ² 76 m ü. NN	In Magdeburg fallen durchschnittlich 494 mm Regen im Jahr. Südöstlich von Magdeburg liegt der trockenste Ort Deutschlands: Atzendorf. Im Regenschatten des Harzes gehen hier nur 399 mm pro Jahr nieder. Im Juli regnet es in Atzendorf zum Beispiel nur 50 mm/m ² , das sind nur fünf 10-Liter-Eimer Wasser. Im Vergleich dazu fallen auf Balderschwang im Juli ganze 27 Eimer voll Regen.
6	Dresden 696 mm/m ² 226 m ü. NN	In Dresden ist die Niederschlagsmenge im Winter in den letzten 100 Jahren fast gleichgeblieben. Die Meteorologen konnten nur eine Niederschlagszunahme um zwei Prozent feststellen. Im Sommer ist es sogar trockener geworden: Im Durchschnitt regnet es im sommerlichen Dresden acht Prozent weniger als vor 100 Jahren. Kaum zu glauben, wenn man an die Flutkatastrophe der Elbe im August 2002 denkt. Doch diese Flut entstand angesichts einer recht ungewöhnlichen Wetterlage und die Verkettung ungünstiger Umstände.
7	Leipzig 512 mm/m ² 144 mü. NN	In Ostdeutschland fällt im Allgemeinen weniger Regen als im Westen. In Leipzig liegt der Jahresniederschlag im Durchschnitt bei 512 mm. Die Winde, die in Deutschland meist von Westen her wehen, verlieren einen großen Teil der gespeicherten Feuchtigkeit, bevor sie den Südosten Deutschlands erreichen.
8	Köln 797 mm/m ² 92 m ü. NN	In Köln werden die Klimaveränderungen der letzten 100 Jahre besonders deutlich. Hier regnet es im Sommer sechs Prozent und im Winter sogar 20 Prozent mehr als vor 100 Jahren. Der Grund dafür ist eine Wetterlage, die in den Wintern der letzten 20 Jahre immer häufiger aufgetreten ist: Wenn parallel zu einem stark ausgeprägten Tief über Island ein stabiles Hoch über den Azoren liegt, fließt durch den Druckunterschied ständig feuchte und milde Meeresluft nach Nordwesteuropa. Das bringt vor allem im Westen Deutschlands viel Regen. In Köln liegt der durchschnittliche Jahresniederschlag bei 797 mm.
9	Dortmund 852 mm/m ² 120 m ü. NN	Glück für die Dortmunder – Pech für die Sauerländer. In Dortmund fällt im Jahr etwa 850 mm Regen: ein normaler Wert für das westdeutsche Tiefland. In den nahegelegenen Mittelgebirgen dagegen braucht man den Regenschirm viel dringender, dort sind die Jahresniederschläge deutlich höher. In Brilon im Sauerland beispielsweise fallen 1.077 mm Niederschlag im Jahr.

10	Koblenz 670 mm/m ² 85 m ü. NN	Deutschland liegt mit gemäßigt kühlem Klima in der Zone vorherrschender Westwinde. Im westdeutschen Tiefland und im Rheingraben bringen diese Winde vom Atlantik und der Nordsee her jährlich etwa 700 mm Niederschlag; in Koblenz sind es nur 670 mm im Jahr.
11	Ulm 744 mm/m ² 567 m ü. NN	Im Süden Deutschlands wurde es in den letzten 100 Jahren immer feuchter. Extreme Werte wurden dabei aber nicht erreicht. In Ulm liegt die Zunahme der Regenfälle im Sommer durchschnittlich bei vier Prozent; im Winter bei neun Prozent. Insgesamt fallen ca. 744 mm Niederschlag pro Jahr.
12	Freiburg 956 mm/m ² 269 m ü. NN	In Freiburg fallen 956 mm Niederschlag im Jahr. Die Stadt im Breisgau liegt 269 Meter über dem Meeresspiegel; der nahegelegene Feldberg ist 1.486 Meter hoch. Dort sind die Jahresniederschläge mit 1.754 mm fast doppelt so hoch wie in Freiburg. Kein Wunder, denn an den Westhängen der deutschen Gebirge sammeln sich die vom Meer kommenden, feuchten Niederschlagsmassen und regnen dort ab.
13	München 1009 mm/m ² 515 m ü. NN	Ist München eine Stadt der Wetterextreme? Das Klima in der Stadt selbst ist eher gemäßigt: ein Westwindklima mit 1.009 mm Niederschlag im Jahr. Diese Niederschläge fallen häufig als Schnee, manchmal auch als Hagel. Am 17. Juli 1984 verursachte der bisher teuerste Hagelsturm Deutschlands hier Schäden von drei Milliarden Mark. Die Gegend um München kann mit weiteren Wetterextremen aufwarten: In der Nähe von Sonthofen an der österreichischen Grenze liegt der nasseste Ort Deutschlands: In Balderschwang fallen durchschnittlich 2.450 mm Regen pro Jahr. Außerdem konnte man auf dem Zugspitzblatt im April 1944 die höchste Schneedecke Deutschlands bewundern: sie war über acht Meter hoch.
14	Erfurt 500 mm/m ² 316 m ü. NN	Erfurt liegt im Regenschatten von Thüringer Wald, Eichsfeld und Harz. Dieser Regenschatteneffekt wird besonders in den Monaten September und Oktober spürbar. Der Jahresniederschlag in Erfurt beträgt 500 mm.

15	Berlin 578 mm/m ² 51 m ü. NN	Berlin ist ein Lehrbuchbeispiel für eine Stadt mit kontinental geprägtem Klima. Die Winter sind kalt und trocken: Im Januar sinken die Durchschnittstemperaturen bis auf den Gefrierpunkt. Im Februar fallen durchschnittlich nur 36 mm Niederschlag. Aber auch im Juli ist es hier mit 55 mm Niederschlag viel trockener als an den meisten Orten im Westen Deutschlands. Die Kölner beispielsweise müssen in diesem Monat mit 86 mm Regen rechnen.
16	Frankfurt 611 mm/m ² 112 m ü. NN	Der meisten Regen fällt in Frankfurt im Juli: durchschnittlich 76 mm. Der April ist trockener: Nur 44 mm regnet es in diesem Monat. Der Jahresniederschlag in Frankfurt beträgt 611 mm.
17	Kassel 686 mm/m ² 231 m ü. NN	In Hessen herrscht ein warm-gemäßigtes Regenklima der mittleren Breiten. Feuchtigkeitsreiche Winde kommen vorwiegend vom Atlantik. Hessen unterliegt also einem ozeanischen Einfluss. Dieser nimmt von Nordwest nach Südost ab. In Kassel fallen jährlich 686 mm Niederschlag.
18	Stuttgart 666 mm/m ² 314 m ü. NN	In Stuttgart liegt der Jahresniederschlag bei 666 mm. Das ist weniger, als für einen Ort so weit im Westen Deutschlands zu erwarten wäre. Da Stuttgart aber im Windschatten von Schwarzwald und Schwäbischer Alb liegt, regnen sich feuchtigkeitsreiche Luftmassen an den Berghängen ab, bevor sie die Stadt erreichen.
19	Passau 934 mm/m ² 409 m ü. NN	Passau liegt im Grenzbereich von atlantischem und kontinentalem Klima; der Jahresniederschlag liegt bei 934 mm. Typisch für das Wetter im nahegelegenen Bayrischen Wald sind lange und schneereiche Winter, regenreiche Sommer und ein sonniger trockener Herbst. Hier fallen in Höhenlagen über 50 Prozent des Jahresniederschlages als Schnee.

Michael Fuhs



Wie entsteht Regen?



Das Vorspiel zu Regenwolken ist immer sonnig

Ohne Sonne gäbe es keine Wolken und ohne Wolken keinen Regen. Diese Voraussetzungen für Regen klingen sehr einfach, doch die Regenentstehung im Detail ist etwas komplizierter als man vielleicht denkt.

Grundsätzlich unterscheiden die Meteorologen zwischen zwei Arten von Regen: Zwischen „kaltem Regen“ und „warmem Regen“. Etwa 80 Prozent des Regens sind kalter Regen, die restlichen 20 Prozent warmer Regen. Der Unterschied liegt im Entstehungsprozess der Regentropfen – und nicht in der Temperatur, mit der uns die Tropfen auf den Kopf fallen.

Kalter Regen



Zu 80% kalt: Regen in Deutschland

Wenn die Sonne die Erdoberfläche erwärmt, verdunstet Wasser. Die erwärmte Luft und der gasförmige Wasserdampf steigen von der Erde auf. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wassermoleküle kann sie aufnehmen.

Neben dem Wasserdampf befinden sich überall in der Luft unsichtbare, kleine Aerosolpartikelchen. Sie sind so klein und leicht, dass sie von der Luft getragen werden, obwohl sie nicht gasförmig sind. Schwefelverbindungen (Sulfate) und Meersalzkerne sind die häufigsten Aerosolpartikel, aber auch Staub, Ruß und einige andere Partikelarten gehören dazu.

Mit steigender Höhe kühlt die Luft wieder ab. Je kälter die Luft wird, desto weniger Wasserdampfmoleküle kann sie halten – Wissenschaftler sagen dazu, kalte Luft ist früher gesättigt. Erst wenn die Luft völlig mit Wasserdampf gesättigt ist, können Wolken entstehen. Der überschüssige Wasserdampf kondensiert dann an den Aerosolpartikeln zu feinsten Tröpfchen: den Wolkentröpfchen. Sie sind so dünn wie ein Haar und so leicht, dass sie von der Luft gehalten werden.

Bei der Kondensation gibt der Wasserdampf die Energie wieder ab, die die Sonne benötigt hat, um das Wasser zu verdunsten. So heizt sich die umgebende Luft wieder etwas auf und kann noch höher steigen. Auf ihrem Weg nach oben, stoßen die Wolkentröpfchen zufällig zusammen und vereinen sich.

In den eiskalten Höhen ab etwa minus 20 Grad gefrieren die immer noch flüssigen, aber stark unterkühlten Wolkentröpfchen zum Teil zu Eiskristallen. Sie wachsen weiter, indem sie der Luft Wasserdampf entziehen. Wenn sie schwer genug sind, sinken sie wieder nach unten und sammeln dabei weitere Wolkentröpfchen ein. Die Kristalle verklumpen so zu Graupel- oder Hagelkörnern. Sobald sie die Temperaturgrenze von Null Grad übersteigen, schmelzen sie wieder und fallen als kalter Regen zur Erde. „Kalt“ ist der Regen also deshalb, weil seine Regentropfen zuvor gefrorene Graupel- oder Hagelkörner waren.

Warmer Regen

Warmer Regen entsteht zunächst auf die gleiche Weise wie kalter Regen. Allerdings gefrieren die Wolkentröpfchen nicht, sondern stoßen nur so lange aneinander, bis sie groß und schwer genug sind, um abzuregnen. Da während dieses Prozesses auch immer wieder Wolkentröpfchen verdunsten, dauert er in der Regel wesentlich länger als die Entstehung von kaltem Regen.

Saurer Regen

In den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts machte der so genannte „Saure Regen“ Schlagzeilen. Inzwischen scheint das Thema fast vergessen – zu Unrecht allerdings, denn den sauren Regen gibt es immer noch. Zwar sind die meisten toten Bäume abgeholzt und die Wälder wieder aufgeforstet, doch die Ursache ist längst noch nicht beseitigt. Nach wie vor entstehen bei Verbrennungsprozessen in Industrie und Verkehr Gase wie Schwefeldioxid und Stickoxide, die in die Umwelt gelangen. Mit dem Wasser der Regentropfen reagieren diese Gase zu Säuren. Der pH-Wert des Regentropfens verschiebt sich in den sauren Bereich. Der Regen im Erzgebirge – einer in den 80er Jahren besonders stark vom sauren Regen betroffenen Region – hat heute noch einen sauren pH-Wert von 4,2.



Die meisten Schwefeloxide entstehen in den Verbrennungsanlagen der Industrie



Verkehr gilt als der Hauptverursacher der Stickoxide

Im Boden beginnen die Säuren ihre schädigende Wirkung. Vor allem karge Gebirgsböden verkraften den sauren Regen schlecht, denn die Säuren lösen die Nährstoffe – beispielsweise Kalzium – aus der dünnen Humusschicht heraus. So geht das Kalzium den Bäumen verloren, obwohl sie es dringend für den Aufbau ihrer Zellen benötigen.

Darüber hinaus lösen die Säuren auch Schwermetalle und Aluminium im Boden. Sie schädigen entweder direkt die Wurzeln der Bäume oder gelangen mit dem Wasser bis in die Blätter oder Nadeln der Bäume und schädigen dort deren Gewebe. Die Folge: braune Verfärbungen.

Experten sagen voraus, dass in Europa im Jahr 2020 etwa ein Drittel weniger Schwefeloxide ausgestoßen werden als noch 1980. Doch dafür werden sie sich allein in Asien in diesem Zeitraum mehr als verdoppeln. Noch verheerender sind Stickoxide, die zum größten Teil als Verkehrsabgase in die Umwelt gelangen. Parallel zur weltweiten Verkehrszunahme erwarten die Experten einen Anstieg dieser Gase auf allen Kontinenten.

Ausgestanden ist die Gefahr des Sauren Regens also längst noch nicht. Im Gegenteil. Schnell wachsende Industrien und zunehmender Verkehr werden den Regen auch auf anderen Kontinenten sauer machen. Welche Auswirkungen der saure Regen auf die tropischen Wälder haben könnte, ist kaum auszudenken.

Harald Raabe

Warum der Regentropfen kein echter Tropfen ist

Regentropfen tropfen vom Himmel und sehen wahrscheinlich auch aus wie Tropfen. So wie die, die am verregneten Fenster herunterlaufen oder jene, die vom Wasserhahn tropfen. Unten rund und oben schön spitz. Falsch! Regentropfen sind gar keine Tropfen – jedenfalls nicht von der Form her.

Der Windkanal in Mainz

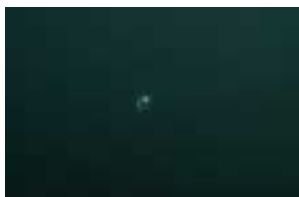


Im Mainzer Windkanal lassen Wissenschaftler Tropfen schweben

Wer wissen will, wie Regentropfen aussehen, wenn sie vom Himmel fallen, der muss nach Mainz fahren, ins Institut für Physik der Atmosphäre. Hier kann man in einem Windkanal einzelne Regentropfen in der Luft schweben lassen – ein weltweit einzigartiges Schauspiel.

Die Mainzer Wissenschaftler erforschen die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Regentropfen. Sie begasen beispielsweise die Tropfen, um das Phänomen des Sauren Regens zu untersuchen. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören die Bedeutung von Aerosolen und die Klimaentwicklung.

Aber auch welche Form die Regentropfen wirklich haben, kann man im Mainzer Windkanal beobachten. Dazu injizieren die Forscher mit einer Spritze ein Tröpfchen in den Kanal. Durch den senkrecht nach oben steigenden Luftstrom wird dieses Tröpfchen in der Schwebelage gehalten. So wird ein vom Himmel fallender Regentropfen simuliert. Sogar unterschiedlich große Tropfen kann man mit der Spritze in den Windkanal einspritzen. Und das ist ausschlaggebend für ihre Form.



Das Nieseltröpfchen ist eigentlich eine Nieselkugel

Tropfenformen

Die Tropfen des Nieselregens sind kugelförmig und sehr stabil. Sie haben einen Durchmesser von etwa 0,8 mm und behalten ihre Form, während sie relativ still im Luftstrom „stehen“.



Typische Regentropfen sind unten abgeflacht und eingedellt sowie oben rund

Normale Regentropfen haben etwa einen Durchmesser von 2 mm. Sobald sie sich von der Spritzennadel lösen, verändern sie ihre Form durch die Luftreibung. Sie sind unten abgeflacht und eingedellt; nur oben bleiben sie fast rund.

Je größer ein Tropfen wird, desto instabiler verhält er sich im Windkanal. Er beginnt zu schwingen, dehnt sich aus und verformt sich immer mehr – bis er irgendwann platzt. Diese Grenze liegt bei einem Durchmesser von etwa 9 mm. Größer kann kein Tropfen werden. Dies ist übrigens auch der Grund, warum beispielsweise der Wasserstrahl eines Brunnens nie als Ganzes im Brunnenbecken auftritt oder ein ausgeschütteter Eimer nicht als Block auf die Erde trifft.



Größere Tropfen sind instabil: Sie beginnen zu schwingen und verformen sich

Mit Hilfe eines Tricks können die Mainzer Wissenschaftler auch sichtbar machen, wie sich das Wasser in einem Regentropfen verhält: Sie beladen einen Regentropfen mit winzigen Kunststoffpartikelchen und zeigen so, wie das Wasser im Tropfen rotiert.

Harald Raabe



Lebendiger Regen

„It’s raining cats and dogs“, sagen die Engländer und meinen damit einen richtig heftigen Wolkenbruch. Ein bisschen dick aufgetragen ist das schon! Und dennoch steckt ein kleines Körnchen Wahrheit darin: Denn mit den Tropfen kann allerhand Lebendiges vom Himmel fallen ...

Achtung! Tieffliegende Fische!



Illustration eines Fischregens über Skandinavien, Radierung um 1580

Zahlreiche Legenden ranken sich um vom Himmel herabregnende Frösche oder Fische. So beschrieb der Autor Athenaeus bereits um 200 v. Chr. einen Fischregen in seiner Chronik Deipnosophistes. Und einer frühen urkundlichen Erwähnung zufolge regnete es in Sachsen im Jahr 689 n. Chr. ebenfalls Fische.

Im Jahr 1794 berichtete der französische Offizier M. Gayet, wie an einem heißen Sommertag in der Nähe des Dörfchens Lalain in Nordfrankreich plötzlich ein Sturm aufzog und in einem Wolkenbruch „Myriaden“ haselnussgroßer Kröten auf ihn und seine Division niederprasselten – und danach munter in alle Richtungen davonsprangen.

Was die Augenzeugen solcher Ereignisse damals nicht wussten:

Die Tiere regnen nicht wirklich aus den Wolken. Sie stammen aus Flüssen oder Teichen, die nicht weit vom Ort des Niederschlags entfernt liegen. Die Tiere werden bei stürmischem Wetter von so genannten Wasserhosen hochgerissen und kilometerweit mitgetragen. Löst sich der Wirbel wieder auf, fallen Fische oder Frösche wie Regen vom Himmel. Zum letzten Mal passierte das im Dezember 2002 in Nordgriechenland: In dem Dörfchen Korona fielen plötzlich Sardinen vom Himmel – eine Windhose hatte die Fische aus dem Mittelmeer mitgenommen.

Insektenregen



1858 regnete es in Les Herbiers an der Loire Grillen vom Himmel

Häufiger als Fische oder Frösche regnet es jedoch Insekten. Der Wind dient ihnen als Mittel der Verbreitung ihrer Art. So lassen sich Fliegen, Käfer, Wanzen & Co von den aufsteigenden Winden mit auf die Reise nehmen und erreichen dabei eine Reiseflughöhe bis zu 900 m – kleine, ungeflügelte Insekten und manche Spinnen schaffen es sogar bis in Höhen von 4.000 m. So können sie weite Strecken und Gebirgsketten überwinden. Wenn alles gut geht, segeln sie mit den absteigenden Luftmassen irgendwann wieder hinunter in neue Gefilde. Manchmal geraten die Insekten auf ihrer Reise in Gewitter oder Stürme. Dann kann es passieren, dass ein ganzer Insektenschwarm mit dem Regen vom Himmel „gespült“ wird. So geschehen 1858 in Les Herbiers an der Loire, als in einem schweren Nordweststurm ein Grillenschwarm vom Himmel fiel, oder im August 1901 in der Steiermark: Dort regnete es einen Schwarm geflügelter Ameisen.

Vom Winde verweht



Staub aus der Sahara wird bis nach Europa und Amerika geweht. Als blinde Passagiere mit dabei: die Zysten zahlreicher einzelliger Algen und Tiere

Eine ganze Reihe von Lebewesen benutzt den Regen regelmäßig als Transportmittel. Man bezeichnet sie als Aeroplankton, also Luftplankton. Dazu gehören vor allem Bakterien, einzellige Algen und winzige Tiere, die im Boden leben.

Die Einzeller bereiten sich intensiv auf die große Reise vor: Sie ändern ihre Gestalt, sobald die Lebensbedingungen für sie ungünstig werden. Wird es zu trocken oder gibt es zu wenig Nahrung, bilden sie Zysten: Diese schützen die Zelle im Inneren vor Trockenheit, Kälte, UV-Strahlung und niedrigem Druck. Die Zysten haften an Erdkrümeln oder Sandkörnchen und werden mit ihnen zusammen vom Wind in die Höhe getragen – bis in die untere Grenzschicht der Atmosphäre auf 6.000 m Höhe. Die Luftmassen transportieren sie über weite Strecken, manchmal sogar von Kontinent zu Kontinent. Die Bildung von Zysten ist lebenswichtig für die Einzeller: Aktive, ungeschützte Zellen würden bei den ungünstigen Lebensbedingungen in 6.000 m Höhe sofort zu Grunde gehen.

Regentropfen als Taxi



Ein Wimperntierchen, das eine weite Reise im Regentropfen hinter sich hat

Wenn sich Regenwolken bilden, schließen die Tropfen die etwa 3-40 µm kleinen Zysten ein und bringen sie wieder zurück auf die Erde. Unten angekommen, schlüpfen aus den Zysten wieder aktive Zellen, die schließlich einen neuen Lebensraum besiedeln. Unter den einzelligen Tieren sind Geißeltierchen die häufigsten Passagiere im Regentropfen. An zweiter Stelle liegen die Amöben, von denen einige nach dem Schlüpfen zu regelrechten Giganten heranwachsen: Sie erreichen eine Größe bis zu 1 mm – andere Einzeller schaffen in der Regel nur bis 40 µm. Sogar Zysten von Einzellern, die normalerweise in der Tiefsee leben, haben Wissenschaftler im Regen entdeckt. Die seltensten Einzeller, die mit dem Regen verbreitet werden, sind Wimperntierchen: Sie machen nur etwa 4 % der Zysten im Regenwasser aus.

Ismeni Walter

Der Sturm im Klimakanal



Der beste Regenschutz – unsere Haut?

Ein heftiger Schauer, der Regen peitscht horizontal über die Straße und kein Schirm weit und breit. Jeder hat das schon einmal erlebt. Manchmal friert man erbärmlich dabei – manchmal findet man den Regen sogar erfrischend. Woran es liegt, dass wir Regen so unterschiedlich empfinden, das wollten wir herausfinden und führten dazu ein einzigartiges Experiment durch.

Täglich schreckliche Unwetter



Tatkräftig unterstützt haben uns der Ingenieur Uwe Sorgalla und die Experten vom RTA in Wien.

Für das Experiment machen wir uns auf den Weg nach Wien, zum größten Klima- und Windkanal der Welt. Normalerweise prüft die RTA (Rail Tec Arsenal Fahrzeugversuchsanlage GmbH) hier die Belastbarkeit von Schienenfahrzeugen. Bremsen, Scheibenwischer, Türen und Heizungsanlagen werden unter extremen Wetterbedingungen Härte-tests unterzogen und so auf ihre Qualität hin untersucht.

Seit Ende 2002 wüten hier täglich die schrecklichsten Unwetter. Mit fast 300 km/h fegt der Wind durch den Kanal und „Starkregen“ prasselt mit (20 Litern pro Quadratmeter und Stunde) an die Wände. Es herrscht eine Luftfeuchtigkeit von 75 % und mehr, während die Temperaturen zwischen -50° und $+60^{\circ}$ Celsius schwanken. Den Zügen und Straßenbahnen wird der Qualitätstest nicht leicht gemacht!

Testperson Ranga Yogeshwar im Klimakanal



Weltweit größter Klima- und Windkanal Wien

Zwei Klimakanäle gibt es in Wien und in dem kleineren der beiden haben wir unser Experiment durchgeführt: Nur mit einer Badehose bekleidet lässt sich Ranga Yogeshwar beregnen. Wir beobachten ihn derweil mit einer Wärmekamera. Abwechselnd prasseln Nieselregen, Platzregen und horizontaler Regen mit Wind auf Ranga ein.

Wir beginnen mit etwa 10 Litern pro Quadratmeter und einer Tröpfchengröße von weniger als einem halben Millimeter: Ranga steht im Nieselregen. Eine Wärmekamera zeigt nach etwa einer Minute noch keine großen Wärmeverluste. Doch nach drei Minuten fängt Ranga an zu frieren. Zuerst kühlen Hände, Füße und Schultern aus, dann Arme und Beine.



Von Regen allein friert man nicht

Das gleiche passiert beim Platzregen, der mit einer Tröpfchengröße von ca. zwei mm und etwa 15 Litern pro Quadratmeter auf Ranga nieder strömt.

Erst als wir die Windmaschine dazuschalten, verändert sich das Wärmebild: Bei nur 40 Stundenkilometern kühlt sein Körper in weniger als einer Minute komplett aus. Die Wärmekamera zeigt nur noch dunkel- und hellblaue Flächen: kalte Körperbereiche.

Regen + Wind = Gänsehaut



Der Härtestest bei 100 km/h Windstärke und Regen

Von Regen alleine friert man in unseren Breitengraden also nicht unbedingt. Erst wenn sich Wind zu dem Regen gesellt, bekommen wir eine Gänsehaut. Bewegte Luft empfinden wir kälter als ruhende – auch wenn sie die gleiche Temperatur hat. Wir fühlen diese relative Kälte, weil unsere Hauttemperatur in der Regel höher ist als die Lufttemperatur.

Der Grund für Rangas Auskühlung ist jedoch ein anderer: Schon schwacher Wind greift unsere Wärmeisolation an: Die isolierende Luftschicht über der Haut wird weggeweht. Verdunstet dazu noch Schweiß, wird es uns noch kälter. Und ein bisschen schwitzen wir immer. Die Folge: Ranga kühlt aus. Dann bleibt ihm nur noch eins: Regenschutz überziehen.

Christoph Goldbeck

Kommen und Gehen des Eichener Sees



Der Eichener See bei Schopfheim im Südschwarzwald



Er erscheint nur in besonders feuchten Jahren



Viele eingestürzte Höhlen, so genannte Dolinen, prägen die Landschaft des Dinkelberges



Das Innere des Dinkelberges ist voller Hohlräume

Hin und wieder ist er da – meistens aber nicht. Manchmal taucht er über Nacht auf – wie zufällig und scheinbar aus dem Nichts. Und wenn er da ist, verweilt er ein paar Tage oder Wochen, um dann wieder im Nichts zu verschwinden. Der Eichener See erscheint nur, wenn es sehr lange geregnet hat oder zur Zeit der Schneeschmelze.

Am 10. Mai des Jahres 1772 ertranken vier junge Leute in einem kleinen See am Rande des Südschwarzwaldes. Nur wenige Tage später hätten die Unglücklichen hier, wo ihr kleines Ruderboot kenterte, noch nicht einmal mehr nasse Füße bekommen. Der See war einfach weg und an seiner Stelle erblühte eine Blumenwiese.

Aber wie kann es geschehen, dass ein ganzer See buchstäblich vom Erdboden verschluckt wird?

Ein Berg wie Schweizer Käse: Der Dinkelberg

Das Geheimnis des Eichener Sees liegt tief im Inneren des Dinkelberges verborgen: Dieser besteht fast vollständig aus Kalk, einem so genannten „löslichen Gestein“. Löslich deshalb, weil Säuren, die aus dem Regenwasser und aus der Humusschicht des Bodens stammen, durch feine Risse in das kalkige Gestein eindringen und es zersetzen. Im Laufe der Zeit können auf diese Weise riesige Höhlensysteme entstehen. Irgendwann stürzen diese Hohlräume ein und hinterlassen an der Erdoberfläche tiefe Mulden – Geologen nennen das dann „Doline“. Auch die Mulde, in der der Eichener See liegt, ist eine Doline – und zwar eine ganz besondere Doline!

Denn von Zeit zu Zeit entsteht hier ein See von durchaus beachtlichen Ausmaßen: Zu Rekordzeiten erreicht das Gewässer bei einer Länge von über 250 Metern und einer Breite bis zu 135 Metern eine Tiefe von etwa 3 Metern.

Keine Quelle und kein Bach

Doch woher stammen die bis zu 33.000 Kubikmeter Wasser? Es gibt hier weder eine Quelle noch einen Bach, die den See speisen könnten. Die Antwort liegt in der Tiefe: In diesem Bereich des Dinkelberges unterliegt der Grundwasserspiegel sehr starken Schwankungen: In den trockenen Sommermonaten steht das Grundwasser manchmal 30 Meter und mehr unter der Erdoberfläche. Doch in besonders feuchten Jahren – wenn es im Herbst viel regnet oder zur Zeit der Schneeschmelze – steigt der Spiegel des Grundwassers so stark an, dass er meterhoch über die Erdoberfläche hinausgeht: dann erscheint der See.

Auf einem Hügel in der Nähe des Sees haben Geologen eine Mess-Stelle für das Grundwasser eingerichtet. Ihre Messung ergab am 6. März 2003 eine Tiefe des Grundwassers von 8,10 m. übertragen auf den Pegel des Sees bedeutet das eine Seetiefe von 1,5 m. Aber der Grundwasserspiegel schwankt: Sinkt er ab, so versickert innerhalb weniger Tage auch der See. Doch schon im folgenden Winter könnten neue Niederschläge den See wieder erscheinen lassen.



Der Kiemenfußkrebse Tanyastix lacunae – ein Weibchen



Der Kiemenfußkrebse Tanyastix lacunae – ein Männchen

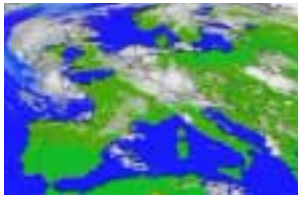
Wenn die Trockenzeit zu Ende geht – Leben im Eichener See

Sobald das Wasser des Sees aus der Erde sprudelt, regt sich im See neues Leben: Innerhalb weniger Tage schlüpfen kleine Kiemenfußkrebse – Tanyastix lacunae. Wahrscheinlich haben Wasservögel vor vielen Jahren ein paar Eier der bis zu 2 cm großen Gliederfüßer in ihrem Gefieder eingeschleppt. Die Krebse leben vom Plankton, das sie mit ihren elf Paar Ruderfüßchen aus dem Wasser in ihren Mund strudeln.

Doch sie haben nur wenig Zeit: Schon bald wird der See wieder verschwinden. Innerhalb von zwei bis drei Monaten legt ein Weibchen bis zu 10.000 Eier in das Gras. Diese Eier können eine ein- bis zweijährige Trockenperiode überstehen: bis der Eichener See das nächste Mal wiederkehrt.

Jo Siegler

Bergen – die verregneteste Stadt Europas?



Wo liegt sie, die regenreichste Stadt Europas?



So sieht die „verregneteste Stadt Europas“ aus



Die beiden Meteorologen Raidun Holmøy und Karsten Eitrheim



Sonne in Bergen – das Hoch über Mitteleuropa lenkt die feuchten Luftmassen nach Norden ab



Das norwegische Fernsehen schenkte uns den Beweis: Regen in Bergen

Wir wollten einen Bericht über die regenreichste Stadt Europas machen. Klar war, dass dieser Ort nicht im Süden zu suchen sei, sondern im hohen Norden - Großbritannien, Skandinavien oder Island. Wir fanden ihn schließlich im norwegischen Bergen. Doch als wir den regenreichsten Ort Europas besuchten, begrüßte uns schönstes Wetter: Sonne satt für das Filmteam aus Köln.

Welche Stadt bringen Sie mit einem europäischen Regenrekord in Verbindung? Das ewig vernieselte London? Falsch! Dort fallen im Durchschnitt 753 Millimeter Regen pro Quadratmeter im Jahr. Das ungemütliche Edinburgh in Schottland? Wieder falsch, denn dort gehen gar nur 668 Millimeter Regen nieder. Der nasseste Ort Europas liegt in Skandinavien – genauer in Norwegen: Bergen. Ungefähr 2.250 Millimeter Niederschlag plätschern hier pro Jahr aus den Wolken.

Ein Hoch über Mitteleuropa ...

Als wir in Bergen ankamen, war jedoch keine Spur von Regen – im Gegenteil: Bei blauem Himmel und Sonnenschein glaubten wir nicht mehr an die Geschichte von der regenreichsten Stadt Europas. Deswegen verabredeten wir uns mit den beiden Meteorologen Raidun Holmøy und Karsten Eitrheim. Sie sollten dieses Phänomen erklären.

Zu diesem Zweck nahmen sie uns mit auf eine kleine Rundreise durch Bergen. Bereits auf dem Dach des Meteorologischen Instituts erklärte Karsten das ungewöhnlich schöne Wetter am 15. März 2003: An diesem Tag lag ein Hoch über Mitteleuropa und lenkte die feuchten und wolkenreichen Luftströmungen weit in den Norden ab. Die Folge davon war ungetrübter Sonnenschein – selbst in Bergen.

Aber warum zählen die Meteorologen für Bergen durchschnittlich 235 Regentage im Jahr? Raidun erzählt uns, dass im Bereich von Bergen, ungefähr auf Höhe des 60. nördlichen Breitengrades, kalte polare Luft aus dem Norden auf feuchtwarme Luftmassen aus dem Süden trifft. Bei diesen Begegnungen entstehen weit draußen über dem Atlantik permanent Tiefdruckgebiete. Diese Tiefs wandern – beladen mit regenschweren Wolken – in Richtung der norwegischen Küste und prallen dort gegen das Gebirge: Als Folge davon regnen die Wolken aus.

Was genau ist eine Regnhytten?



Bei Regen soll das Wasser in einer Spirale durch das Dach und die ganze Hütte strömen

Der Regen prägt das Stadtbild Bergens: Raidun und Karsten führten uns zur "Regnhytten" – also zur Regenhütte –, einem Kunstwerk, das der nassesten Stadt Europas gewidmet ist. Bei Sonnenschein erinnert sie zwar eher an ein Observatorium, bei Regen jedoch soll sie sich in eine spektakuläre Wasserinstallation verwandeln – nur leider ...

Regen aus Südwesten



„In Bergen kommt der Regen immer aus Südwesten“

Bemerkenswert sind auch die vielen Fachgeschäfte für Regenschirme in Bergen. In einem dieser Läden erzählte uns Karsten die Geschichte eines Regenhutes, der offenbar in Bergen zu seinem Namen gekommen ist: der Südvester oder auf Norwegisch der „Sydvest“. In Bergen komme der Regen immer aus dem Südwesten und deshalb habe man diesen Hut eben „Sydvest“ genannt und Hut wie Namen in alle Welt exportiert.

„Ich geh mal kurz zum Automaten ...“



60,- norwegische Kronen kostet ein Regenschirm aus dem Automaten

Am Hafen, direkt neben dem berühmten Fischmarkt zeigten uns die beiden schließlich den überzeugenden Beweis dafür, dass es in Bergen wirklich häufig regnen muss:

Anderorts zieht man sich aus einem Automaten am Bahnhof Schokoriegel oder Gummibärchen; in Bergen zieht man sich einen Regenschirm: Scheckkarte einführen, Produkt wählen und Regenschirm entnehmen.



Auch bei Sonne ein guter Schutz: der Regenschirm

„Denn in Bergen“, sagt Raidun lachend, „kannst du immer vom Regen überrascht werden!“

Jo Siegler

Die Regentropfen-Zählmaschine zum Selberbauen

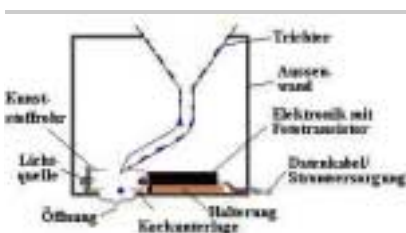
Weltweit wird in über 10.000 Wetterstationen täglich die Regenmenge gemessen. Dabei sind die vielen privaten Wetterstationen, die es zum Beispiel an Schulen gibt, nicht einmal mitgezählt.

Will man seine eigene Wetterstation aufbauen, kann man sich natürlich einen Regenmesser kaufen. Die einfachen und preiswerten Regenmesser haben aber einen großen Nachteil: Die Regenmenge muss vom Wettermann oder von der Wetterfrau persönlich abgelesen und ausgeleert werden. Denn diese Regenmesser bestehen aus einem Trichter, der den Regen in ein Messgefäß leitet. Gibt es Frost, besteht außerdem die Gefahr, dass das Messgefäß platzt. Deshalb hat Kai Stannigel für „Jugend forscht“ eine automatisierte Regentropfen-Zählmaschine entwickelt. Der ehemalige Schüler des Theodor Fliedner Gymnasiums in Düsseldorf hat Quarks & Co die Bauanleitung zur Verfügung gestellt.

Prinzip

Der Regen wird in einem Glastrichter gesammelt. Die Tropfen fallen vom Ausguss des Trichters durch eine Lichtschranke. Die Lichtschranke besteht aus einer Lichtquelle, die auf einen Lichtempfänger strahlt. Immer wenn ein Regentropfen den Lichtstrahl unterbricht, gibt die Lichtschranke ein elektronisches Signal. Die Signale werden gezählt. Nach der Eichung des Regenmessers, die weiter unten beschrieben wird, kann aus der Anzahl der Signale die Regenmenge berechnet werden.

Benötigte Materialien



Skizze der Regentropfen-Zählmaschine

Glastrichter mit 5-10 cm Durchmesser

Silikonspray

Sperrholz

Von innen schwarz lackiertes Rohr, ca. 1 cm Durchmesser und ca. 5 cm lang Lichtschranke oder Drehzahlmesser (erhältlich im Elektrohandel)

Bauanleitung

Den Ausguss des Trichters im Winkel von 45° biegen, wie es in der Abbildung gezeigt ist.

Den Trichter mit Silikonspray einsprühen, damit am Glas keine Regentropfen hängen bleiben. Am Ausguss eine Abtropfkante aus Silikon anbringen.

Ein geeignetes Gehäuse zum Beispiel aus Sperrholz bauen; siehe Abbildung.

Unter den Ausguss des Trichters das Rohr montieren. Oben und unten eine Öffnung bohren, so dass die Tropfen durch das Rohr fallen.

So wird das Glas beschichtet



Die Lichtschanke so an das Rohr anbringen, dass die Lichtquelle auf der einen Seite liegt und der Lichtempfänger auf der anderen Seite. Benutzt man einen Drehzahlmesser, hat man den Zähler gleich mit dabei.

Fertig!

Eichung

Wie viele Tropfen welcher Regenmenge entsprechen, hängt von der jeweiligen Trichter- und Tropfengröße ab. Also muss der Regenmesser zunächst geeicht werden. Dafür wird als erstes die Trichteröffnung berechnet – mit der Formel zur Berechnung einer Kreisfläche:

Trichteröffnung = $3,14 \times \text{Radius in cm zum Quadrat}$

Dann wird ein Milliliter (ml) Wasser so langsam in den Trichter geschüttet, dass sich am Ausguss Tropfen bilden. Die Tropfen werden mit dem Regenmesser gezählt.

Mit der Formel

Eichfaktor = $1 \text{ ml} / \text{Trichteröffnung} / \text{Zahl der Tropfen} \times 10$

wird die Regenmenge berechnet, die einem gezählten Tropfen entspricht. Mit dem

Faktor „10“ erhält man die übliche Einheit „Liter pro Quadratmeter“ (l/m^2), in der Regen gemessen wird. Manchmal findet man als Einheit zur Regenmessung auch

„Millimeter“. Da ein Liter einem tausendstel Kubikmeter entspricht, ist $1 \text{ l/m}^2 = 1 \text{ mm}$.

Jetzt ist die Regentropfen-Zählmaschine geeicht. Zählt man mit dem Regenmesser die Zahl der Tropfen und multipliziert sie mit dem berechneten Eichfaktor, erhält man die

Regenmenge in der Einheit l/m^2 .

Michael Fuhs

Lesetipps

„Farbatlas Wetterphänomene“

Ein schön bebildertes, kompaktes und handliches Buch, rund um alle Wetterphänomene. Hier wird nicht nur erklärt wie Wolken und Regen entstehen, auch alle anderen Wettererscheinungen wie Regenbogen, Schnee oder Wind werden erläutert. Grafiken helfen, die Physik hinter den Wetterphänomenen zu verstehen.

Autor: Hans Häckel

Verlagsangaben: Ulmer Verlag

ISBN: 3-8001-3511-6

Sonstiges: 336 Seiten, Preis ca. 19,90 Euro

„Meteorologie“

Wer es als Laie schafft, dieses Buch vollständig durch zu arbeiten, wird damit zum Wetterspezialisten. "Meteorologie" ist für diejenigen, die alles ganz genau wissen wollen: Jede Menge wissenschaftlicher Information rund um die Vorgänge in unserer Atmosphäre. Für Laien ist das allerdings nicht immer ganz einfach zu verstehen.

Autor: Hans Häckel

Verlagsangaben: Ulmer Verlag

Sonstiges: Preis ca. 29,90 Euro

„Bauernregeln aus meteorologischer Sicht“

Der Autor, Meteorologe an der Freien Universität Berlin, stellt jahrhundertealte Wetter- und Bauernregeln vor. Er erklärt, was dahinter steckt, und überprüft sie mit statistischen Aufzeichnungen. Etliche Regeln, die unsere Vorfahren durch genaue Naturbeobachtung aufgestellt haben, müssen jedoch erst einmal richtig interpretiert werden. Wenn in einer Regel von "gutem Jahr" die Rede ist, so denken heute die meisten vor allem an Sonnenschein. Für unsere Vorfahren war dagegen das Wetter gut, das eine gute Ernte versprach. Das hängt von der richtigen Mischung zwischen Regen und Sonne ab. Es zeigt sich: viele Regeln gelten noch heute, wenn man sie richtig interpretiert.

Autor: Horst Malberg

Titel: Bauernregeln aus meteorologischer Sicht

Verlagsangaben: Springer Verlag

ISBN: 3-540-65670-7

Sonstiges: 224 Seiten, Preis ca. 16,95 Euro

„Wettervorhersage, Mensch und Computer – Daten und Modelle“

Moderne Wettervorhersagen beruhen nicht nur auf Daten von Wetterstationen und Satelliten, sondern auch auf komplizierten Computersimulationen und auf der Erfahrung der Wetterexperten. Auf den richtigen Mix kommt es an. Die Autoren erklären auf hohem Niveau die Hintergründe der Vorhersage, von kurzfristigen Wettervorhersagen bis zu langfristigen Klimatrends. Überrascht erfährt der Laie, dass nicht nur Vorhersagen sehr kompliziert sind, sondern auch deren Überprüfung. Neben den aktuellen Methoden wird die Geschichte der modernen Meteorologie erzählt, die mit der Erfindung der Wetterkarten im 18. Jahrhundert ihren Anfang nahm.

Autor: Konrad Balzer, Wolfgang Enke, Werner Wehry

Titel: Wettervorhersage, Mensch und Computer – Daten und Modell

Verlagsangaben: Springer Verlag

ISBN: 3-540-64186-6

Sonstiges: 184 Seiten, Preis ca. 24,95 Euro

„Der Eichener See“

Dieses Buch ist ein wunderschöner Bildband mit Fotografien des Landschaftsfotografen Eugen Holdermann. Das Buch enthält weniger harte wissenschaftliche Fakten – dafür aber umso mehr Geschichten und Sagen rund um den Eichener See.

Autor: Karl Ückert

Verlagsangaben: Uehlin, Schopfheim 1998

ISBN: 3932738-01-2

Sonstiges: Preis ca. 17,79 Euro.

„Körper-Klima-Kleidung. Wie funktioniert unsere Kleidung“

Körper – Klima – Kleidung, stellt in verständlichen Worten die Ergebnisse der modernen, bekleidungsphysiologischen Forschung dar. Wie funktioniert unsere Kleidung? Wie regelt der Mensch seine Körpertemperatur? Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Witterungen auf unseren Körper?

Autor: Mecheels, Jürgen

Verlagsangaben: Schiele&Schön, Berlin 1998

ISBN: 3-7949-0619-5

Sonstiges: Preis ca. 28,65

Linktipps

Auf dieser Seite der Universität Zürich können Sie sich über die geologische Situation des Dinkelberges informieren. Viel Text und eine riesige Bilddatei!

<http://www.geo.unizh.ch/spelaion/Dinkelberg/>

Hier können Sie sich vor Ihrer nächsten Reise nach Bergen über das Wetter in der Innenstadt informieren.

<http://www.staendigevertretung.com/wetter.htm>

oder:

<http://www.netcamera.de/wcn/frameset.htm?earth/europe.htmlcontents.htm>

Der Klima-Wind-Kanal in Wien stellt sich vor.

<http://www.rail-tec-arsenal.at/>

Der Windkanal gibt nicht nur Auskunft über die Form von Tropfen. Mit seiner Hilfe können Wissenschaftler vom Institut für Physik der Atmosphäre spannende Fragen zur Wolkenphysik und -chemie erforschen. Damit tragen sie wesentlich dazu bei zu verstehen, wie zum Beispiel Umwelteinflüsse unser Klima verändern.

<http://www.uni-mainz.de/FB/Physik/IPA/welcome.htm>

Die Waldmessstationen in Oberbärenburg im Erzgebirge, einem stark vom sauren Regen betroffenen Gebiet Deutschlands:

<http://www.ioez.tu-freiberg.de/forschung/forschungsstationen/stationobb.html>

Wolkenbilder mit Beschreibung in allen Varianten.

<http://klima.physik.uni-mainz.de/~script/public/ExpMet3/WolkenBilderGalerie/>

Impressum:

Herausgegeben
vom Westdeutschen Rundfunk Köln

Verantwortlich
Quarks & Co.
Daniele Jörg

Redaktion
Daniele Jörg

Autoren
Michael Fuhs
Christoph Goldbeck
Harald Raabe
Jo Siegler
Ismeni Walter

Gestaltung
Designbureau Kremer & Mahler

Bildrechte
Alle: © WDR

Ausser:
S. 8: Annual Magazin of Natural History Series, 1929, Vol. 10, Nr. 3 p. 1-26
S. 9: ESA
S. 9: Ira Peterhoff, Universität Köln
S. 14: Eumetsat
S. 14: NRK 2

© WDR 2003