



## Quarks & Co Vorsicht Einsturzgefahr!

**Autoren:** Peter Krachten, Michael Ringelsiep, Vladimir Rydl, Eva Schultes, Jo Sieglér  
**Redaktion:** Anne Preger

Einstürzende Häuser gefährden Menschenleben. Viele Katastrophen lassen sich eigentlich verhindern. Denn Häuser kann man so sicher bauen, dass sie selbst Erdbeben standhalten. Ein Problem: Bauwerke werden zu wenig kontrolliert. Gibt es in Deutschland tickende Zeitbomben – Gebäude mit erhöhtem Einsturzrisiko? *Quarks & Co* erklärt, was in Köln unter dem Historischen Stadtarchiv wahrscheinlich passierte und wie der Einsturz hätte verhindert werden können.

### **Der Einsturz des Historischen Stadtarchivs in Köln ▶ *Eine Kette verhängnisvoller Fehlentscheidungen***

Die Bilder des eingestürzten Stadtarchivs gingen um die Welt. Der Verlust an historischen Dokumenten ist nicht zu beziffern. Zwei Menschen verloren ihr Leben. Es war eine verhängnisvolle Kette von Fehlentscheidungen, die ins Unglück vom 3. März 2009 führte. Der Einsturz hätte sich mit großer Wahrscheinlichkeit - selbst noch wenige Wochen vorher - verhindern lassen.

### **Nicht Erdbeben töten, sondern Häuser ▶ *Pfusch am Bau kostet in Italien Bebenopfern das Leben***

Fast ganz Italien gilt als erdbebengefährdet. Für Neubauten und öffentliche Gebäude gibt es daher strenge Baurichtlinien. Die Auflagen verursachen jedoch höhere Baukosten und werden deshalb von korrupten Baufirmen und bei vielen privaten Schwarzbauten immer wieder missachtet.

### **Von Rost und Rissen ▶ *Wie sicher sind unsere Brücken, Hallen und Gebäude?***

In Deutschland gelten höchste Sicherheitsstandards. Und trotzdem gibt es bei uns Gebäude und Brücken, die nicht mehr gut in Schuss sind – nach dem Krieg gebaut kommen sie jetzt in die Jahre. Pflege und Instandsetzung sind teuer, doch Kommunen sparen. Wie gefährdet sind wir?

### **Bergschäden – nur eine Frage der Zeit ▶ *Hausbesitzer verzweifeln***

Ein fünf Jahre altes Haus und schon mit Altersschwäche versehrt. Ein gigantisches Stollen- und Schachtnetz liegt unter Nordrhein-Westfalen. Der Bergbau verlässt das Land nach und nach, doch Probleme werden noch jahrzehntelang auftreten: Bergschäden verursachen jedes Jahr Millionenschäden.

### **Staufen – eine Stadt hebt ab ... ▶ *Wie eine Bohrung nach Erdwärme zur Katastrophe wird***

Staufen im Südschwarzwald ist eigentlich eine ganz normale, hübsche, kleine Stadt am Rande des Südschwarzwaldes. Hier hauchte vor über 500 Jahren ein gewisser Doktor Faustus sein Leben in einer Explosion aus und wurde damit zur Vorlage für Goethes Faust. Im Sommer 2007 begann eine neue Tragödie in der Stadt.

### **Einsturz nach Maß ▶ *Eine Frage der Statik***

Drei, zwei, eins – Zündung! Eine Sprengung ist ein Einsturz nach Maß. Ein Sprengmeister kennt die Schwachstellen eines Gebäudes genau. Seine Kunst: Zur richtigen Zeit, am richtigen Ort, die richtige Menge an Sprengstoff zünden zu lassen. Der Sprengmeister zeigt dabei nur den Weg – die Schwerkraft geht ihn.

## Verhängnisvolle Fehler

### Der Einsturz des Historischen Stadtarchivs in Köln



Trümmer des eingestürzten Archivs aus der Luft fotografiert. Zu sehen sind der Trichter, in den das Haus stürzte, und die Baugrube

Rechte: AP, Mark Keppler

Mitten im Zentrum Kölns tut sich am 3. März 2009 die Erde auf und verschluckt eines der bedeutendsten städtischen Archive Europas. In den ersten Tagen nach der Katastrophe war noch nicht klar, was im Untergrund unter dem Historischen Stadtarchiv passiert ist. Aber die Indizien deuten schnell auf Probleme beim Bau der neuen Nord-Süd U-Bahn.

Direkt vor dem Stadtarchiv unter der Severinstraße wird eine unterirdische Rangierhalle gebaut. Eine besondere Herausforderung für die Ingenieure, denn die Halle muss hier über 20 Meter tief ins Grundwasser hineingebaut werden. Zunächst dachte man, dass die Betonwände dieser Baugrube gebrochen oder undicht geworden waren. Doch inzwischen gehen die meisten Experten davon aus, dass die Ursache ein sogenannter hydraulischer Grundbruch ist. Das bedeutet, dass große Mengen Wasser und Erdreich von unten in die Baugrube eingedrungen sind und zu einem Trichter außerhalb der Grube führen. Doch wie konnte es zu diesem Phänomen kommen? Und wie hätte man den Grundbruch verhindern können?

#### Hydraulischer Grundbruch

*Er kann zum Beispiel dann auftreten, wenn die Baugrube während des Baus unten nicht durch eine Betonplatte abgedichtet wird, sondern nur durch vermeintlich dichte Bodenschichten. Wird das Grundwasser innerhalb der Grube mit Brunnen abgepumpt, entstehen große Druckunterschiede. Das Grundwasser drückt von unten mit hohem Druck in die Grube. Diese Kraft ist so groß, dass der Boden hoch gedrückt oder durchbrochen werden kann. Nur wenn genügend schweres Material innen in der Grube auf der abdichtenden Schicht liegen bleibt, verhindert sein Gewicht, dass das Wasser den abdichtenden "Stopfen" durchbricht und einströmendes Wasser riesige Mengen Erdreich mit sich reißt.*

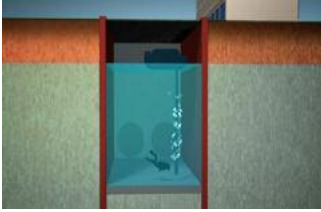
#### Spurensuche

Der Einsturz des Historischen Stadtarchivs in Köln beweist vor allem eines: Es wurden Fehler beim U-Bahnbau gemacht. Aber welche? Offizielle Informationen dazu gibt es bislang nicht. Wir haben daher alle verfügbaren Pressemeldungen und Fachveröffentlichungen gesichtet und mit Hilfe von Experten versucht, die Vorgänge zu rekonstruieren. Heraus kam eine Chronologie von Warnhinweisen. Sie wurden allesamt während des Bau-Projektes übersehen oder offenbar nicht ausreichend beachtet.



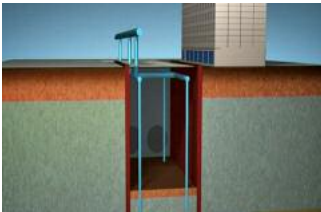
Das Historische Stadtarchiv Juni 2008

### Fatale Alternative



Sichere Methode: Unterwasserbeton

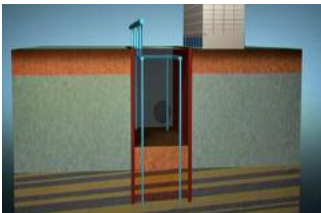
Die Ausschreibung des U-Bahn-Baus im Jahr 2002 sah für die 28 Meter tiefe Baugrube eine äußerst sichere Methode vor: Sie sollte mit Schlitzwänden aus Beton zu den Seiten hin abgedichtet und der Kies in der Mitte unter Wasser ausgebaggert werden. Erst, nachdem Taucher 20 Meter unter dem Grundwasserspiegel die Bodenplatte betoniert und gesichert hätten, sollte das Wasser aus der Grube gepumpt werden. Zwar ist Unterwasserarbeit recht teuer. Aber am Grubenboden gibt es dadurch keine Druckunterschiede. Zu einem Grundbruch hätte es dann nicht kommen können.



Preiswerte Alternative: Abdichtung durch Untergrund

Stattdessen erhalten die Baufirmen im Jahr 2003 den Zuschlag für eine billigere Lösung: Die Grube soll dabei zunächst nicht von Beton, sondern von relativ wasserundurchlässigen Bodenschichten in 35 Metern Tiefe abgedichtet werden. Zwei Meter sollten die seitlichen Betonwände in diese Schichten hineinreichen. Brunnen, die das nachströmende Wasser abpumpen, sollten die Grubensohle trocken halten. Der Boden der Grube sollte dabei monatelang relativ ungesichert bleiben.

### Fehleinschätzung des Untergrunds



Der gebaute Kompromiss, maximale Grundwasserabsenkung

Doch es kommt anders als geplant. Die Baufirmen wollen sich für die Abdichtung der Baugrube nach unten auf Schichten mit ganz speziellen Eigenschaften verlassen, leicht schräg gestellte Lagen von Braunkohle und Feinsand.

Der Geologische Dienst NRW kennt diese sogenannten „Kölner Schichten“ seit langem. Der Dienst ist das geologische Gedächtnis des Landes, verwaltet in seinem Archiv Daten von 260 000 Bohrungen. Er berät Kommunen und Bauherren bei Großprojekten. Prof. Josef Klostermann, der Leiter des Dienstes, hätte diese Schichten nicht empfohlen, um eine Grube abzudichten und erklärt, was sie so unzuverlässig macht: „Das Besondere ist die intensive Wechsellagerung von Braunkohle mit Feinsanden: Die Braunkohlen dichten ab, die **Feinsande** nicht. Das heißt, wenn man jetzt das Wasser in der Baugrube absenkt, dann kann das dazu führen, dass das Wasser horizontal in die Baugrube hinein zutritt, und dann von unten nach oben hin gedrückt wird. ...“

Die Baufirmen ändern ihre Planungen. 2006 berichteten Mitarbeiter der Baufirmen auf einem Fachkongress, der Baugrundtagung in Bremen, über Probleme beim Bau. Die Kölner Schichten würden horizontal viel mehr Wasser durchlassen als erwartet. Für die Ausschreibung hatte man 37 Meter tiefe Schlitzwände geplant. Laut Berechnungen seien aber bei diesem Untergrund teilweise mehr als 60 Meter tiefe Wände notwendig, um vor einem hydraulischen Grundbruch sicher zu sein. Solch tiefe Wände seien aber nicht mehr zuverlässig zu bauen und dicht zu bekommen. Die Baufirmen erläuterten ihren Kompromiss: Nur 45 Meter tiefe Seitenwände, dafür aber zusätzliche Brunnen, die das Wasser bis zur Unterkante der Wände absenken. Ihre Vorstellung dabei offenbar: Das trockenere und schwerere Füllmaterial der Grube gleicht die weniger tiefen Seitenwände aus und wirkt dem Druck des einströmenden Wassers entgegen.

### Die letzten Warnzeichen



30. Juni 2008: Ein neuer Brunnen wird in Betrieb genommen

Ende Juni 2008 nehmen die Baufirmen zusätzliche Pumpen in Betrieb. Denn von Anfang an hatten die Firmen das eindringende Wasser offenbar nicht im Griff. Am 8. September 2008 dringt trotzdem Wasser von unten durch den Boden der Grube unter der Severinstraße: Alarmzeichen für einen drohenden hydraulischen Grundbruch. Doch noch reicht das Gegengewicht des Kieses in der Baugrube – gerade noch. Denn 9 Meter waren noch nicht ausgebaggert. Die Baufirmen greifen danach zu einer Notlösung. Es werden noch mehr Brunnen gebaut, insgesamt 23 statt der geplanten vier. Und es wird mehr Wasser abgepumpt: zuletzt pro Stunde 750 Kubikmeter – soviel wie ein kleines Hallenbad fasst. Stunde für Stunde.

Im Dezember 2008 stellt ein Gutachter Risse im Stadtarchiv fest, bis zu vier Zentimeter breit. Er empfiehlt, nach den Ursachen zu forschen. Anfang Februar 2009, einen Monat vor dem Unglück, sackt das Archiv an einem einzigen Tag um sieben Millimeter ab; seit Beginn der Bauarbeiten sogar um 20 Millimeter. Nach und nach weggespültes Material könnte zu diesem Zeitpunkt bereits unter dem Archivgebäude gefehlt haben.



Nasser Feinsand kann wie Wasser fließen

Aber die Feinsande unter dem Stadtarchiv können nicht nur leicht abgetragen werden. Sie sind wegen ihrer einheitlichen Korngröße viel gefährlicher. Sie sind ► **thixotrop**, können als Ganzes in Bewegung geraten und fließen wie Wasser. Unter welchen Bedingungen, erklärt Prof. Klostermann: „Die Bewegung kommt erst dann da rein, wenn es Druckunterschiede gibt. Und diese Druckunterschiede sind hervorgerufen worden durch das Absenken des Grundwasserspiegels unter der Baugrube. Und dann gerät der Sand ins Fließen.“

Am 3. März 2009 bemerken die Arbeiter wahrscheinlich genau das: Wasser quillt aus dem Grund der Grube. Erst von diesem Moment an ist das Unglück nicht mehr aufzuhalten. Sehr wahrscheinlich lässt ein hydraulischer Grundbruch das Historische Stadtarchiv in den entstehenden Trichter stürzen. Zwei Menschen aus einem Nachbarhaus sterben.

Das Tragische: Das Unglück hätte höchstwahrscheinlich bis kurz davor vermieden werden können: Man hätte die Grube nur fluten müssen, um den immensen Wasserdruck von der anderen Seite der Schlitzwand auszugleichen und dann unter Wasser zu Ende zu bauen.

### War das Unglück in Köln ein Einzelfall?

U-Bahn-Baustellen machen weltweit Probleme. 1994 stürzte in München ein voll besetzter Linienbus in ein Loch, das sich über der U-Bahn auftat. Ende 2008 passierte dasselbe in Peking. In Amsterdam sind durch den U-Bahnbau seit 2008 eine ganze Reihe von Gebäuden einsturzgefährdet. Und in

Barcelona bangt die Bevölkerung um Gaudis Kathedrale Sagrada Familia, neben der ein Bahntunnel geplant wird. Bereits 2005 verschwanden dort mehrere Häuser in einem eingestürzten Tunnel und Hunderte von Menschen mussten umgesiedelt werden. Köln ist beileibe kein Einzelfall.

Autor: Vladimir Rydl

► **Feinsande**

Sand mit Korngrößen von 0,063 bis 0,2 Millimeter Durchmesser.

► **Thixotropie**

Thixotrope Materialien ändern durch Bewegung ihre Viskosität. Ketchup wird etwa durch Schütteln kurzzeitig flüssiger.

Wassergesättigte Feinsande einheitlicher Korngröße können sich zum Beispiel auch durch Erdbeben spontan verflüssigen.

## Nicht Erdbeben töten, sondern Häuser

*Pfusch am Bau kostet in Italien Menschenleben*



Das Beben beschädigte und zerstörte fast eine halbe Millionen Häuser

Die italienischen Abruzzen, 100 Kilometer nordöstlich von Rom: Nachts um drei Uhr brechen am 6. April 2009 die Dächer über den Schlafenden zusammen, sacken Alt- und Neubauten wie Kartenhäuser zusammen. Der Grund: ein Erdbeben fünf Kilometer tief unter der Stadt mit einer Stärke von 6,3 auf der Richterskala. Es dauert 30 Sekunden. Fast 300 Menschen sterben. Über 1000 wurden durch Trümmer verletzt und über 35.000 obdachlos. Unter den Toten sind auch viele Bewohner des Studentenheims in dem Ort L'Aquila. Dabei galt das moderne Gebäude als erdbebensicher, genauso wie das Spital „Zum Heiligen Erlöser“, das teilweise einstürzte, weil die Stahlstreben im Beton Rost angesetzt hatten. 350 Patienten mussten evakuiert werden. Just als die Klinik am dringendsten gebraucht wurde, war sie unbrauchbar. Der Grund: Pfusch am Bau. Die Baufirma soll minderwertigen Beton verwendet haben. Die Staatsanwaltschaft ermittelt.

### Italien: ein Erdbebenland

Dabei gelten die Richtlinien für erdbebensicheres Bauen in Italien als vorbildlich. Mittel-Italien ist ein klassisches Erdbebengebiet. In den Abruzzen prallen zwei **▶ tektonische Platten** – die afrikanische und die eurasische – aufeinander. Da Afrika sich Richtung Norden bewegt, reiben sich die Platten und verkanten. Eine enorme Spannung entsteht. Irgendwann gibt eine Platte nach. Der Druck löst sich ruckartig: Die Erde bebt. In den Abruzzen gab es deshalb in den vergangenen Jahren immer wieder Erdstöße. Mit einem so starken Beben wie am Morgen des 6. April 2009, mussten die Behörden jederzeit rechnen.

### Stahlstreben verhindern Einsturz



Jedes Gebäude schwingt

Ein Erdbeben verursacht horizontale Schwingungen. Sie sind besonders gefährlich, weil sie die Häuser seitwärts hin und her bewegen und die Spannung in den tragenden Wänden Stoß für Stoß hochschaukeln. Bei Neubauten in Erdbebengebieten müssen deshalb alle tragenden Wände mit diagonalen Stahlstreben im Beton verstärkt werden. Sie wirken genauso wie das Stützkreuz an der Rückseite einfacher Holzregale und verleihen dem Gebäude eine höhere Stabilität. Zudem sollten die Decken und Wände mit Hilfe von Stahlstreben fest verbunden werden. Im Gegensatz zum starren Beton reagiert Stahl flexibel und schwingt mit. Er verhindert, dass Decken von ihrer Wandaufgabe rutschen und die Schlafenden erschlagen. Der Grundriss des Gebäudes sollte möglichst rechteckig sein. Bei verwinkeltem Fundament – zum Beispiel in Form eines L, H oder U – sollten Fugen den Grundriss in einzelne Rechtecke aufteilen. Grundsätzlich sollten Bauherren in Erdbebengebieten auch nicht hoch und schlank bauen. Der Abstand zum Nachbarhaus sollte auch so groß sein, dass die Gebäude nicht zusammenstoßen können, wenn sie hin- und herschwingen.



Der Taipei Tower 101: Ein 660 Tonnen schweres Pendel hält ihn im Lot

### Eine 660-Tonnen-Kugel sichert das zweithöchste Gebäude der Welt

Baut man trotzdem in die Höhe, müssen sich Statiker technisch aufwändige und teure Gegenmaßnahmen überlegen. Das Taipei Financial Center („Taipei 101“) – mit 508 Metern das zweithöchste Gebäude der Welt – steht in Taiwan, direkt auf der Nahtstelle zwischen der eurasischen und der philippinischen Kontinentalplatte. Etwa 200 Mal im Jahr bebt in Taiwan die Erde

und lässt den Turm erzittern. Eine 660 Tonnen schwere und 5,5 Meter große Stahlkugel hängt deshalb an Seilen als Pendel zwischen dem 87. und 91. Stockwerk. Das Pendel dient als Schwingungsdämpfer. Es wirkt den Erdbebenstößen entgegen und kann die Schwankungen des Gebäudes bis zur Hälfte auffangen. In Kalifornien und Japan, wo die Erde ebenfalls oft bebt, stehen viele Häuser auf federnden Stelzen, Vibrationsdämpfern oder auf einem zweiten Fundament, das nicht starr mit dem Boden verbunden ist. Dadurch können die Gebäude in gewissen Grenzen frei schwingen, ohne dass sie einstürzen.

### **Die Staatsanwaltschaft ermittelt**



Viele Opfer könnten noch leben. Die Staatsanwaltschaft ermittelt wegen Pfusch am Bau

Alle diese Maßnahmen kosten Geld. Ein erdbebensicherer Neubau ist mindestens zehn Prozent teurer als ein herkömmliches Bauprojekt. 2010 werden die nationalen Normen für erdbebensicheres Bauen europaweit durch den einheitlichen Standard „Eurocode 8“ ersetzt. Das ist ein rein formaler Akt, denn die nationalen Normen in Italien und Deutschland entsprechen schon heute dem künftigen Standard. Die besten Richtlinien nützen aber nichts, wenn sie missachtet werden. Das Studentenwohnheim und Teile des Krankenhauses hätten nicht einstürzen dürfen. Viele Opfer des Erdbebens könnten noch leben. Die italienische Staatsanwaltschaft ermittelt.

Autor: Michael Ringelsiep

### **► Tektonische Platten**

Die Oberfläche der Erde besteht aus einer nur etwa acht bis 40 Kilometer dünnen Kruste, die auf dem Erdmantel aus glühendem, flüssigen Gestein – dem Magma – schwimmt. Die Kruste ist gebrochen und besteht aus mehreren Stücken – den sogenannten tektonischen Platten. Sie treiben auf dem Magma wie Eisschollen im Meer. Durch ihre Bewegung stoßen die Platten aufeinander, verzahnen sich und bleiben aneinanderhängen. Dabei bauen sich gewaltige Kräfte auf. Irgendwann ist der Druck so stark, dass die Platten ihn nicht mehr standhalten können. Mit einem gewaltigen Druck rutschen sie weiter – die Erde bebt.

## Von Rost und Rissen

*Wie sicher sind Brücken, Hallen und Gebäude in Deutschland?*



Beim Einsturz dieser Turnhalle im Münsterland konnten sich die Kinder rechtzeitig retten



Um zu überprüfen, ob die Tiefgarage noch sicher ist, müssen Proben entnommen werden

Wenn Bauwerke plötzlich einstürzen, sterben oft auch Menschen. Bad Reichenhall im Januar 2006: Der Zusammenbruch der Eishalle forderte 15 Menschenleben. Auch in Nordrhein-Westfalen stürzten Häuser ein: 1999 brach in Duisburg das Dach eines Gemeindezentrums zusammen: Vier Tote wurden aus den Trümmern geborgen. In Krefeld stürzte 2000 eine Schwimmhalle ein: 25 Verletzte. 2005 brach in Duisburg ein Supermarkt zusammen – zum Glück nachts: Niemand wurde verletzt. Gründe genug, genauer hinzuschauen: Wie sicher sind Bauwerke in Deutschland?

### Risiko Hallen

Gebäude müssen hohe Lasten tragen und sind Wind und Wetter ausgesetzt – und zwar über viele Jahre. Das ist immer auch ein Sicherheitsrisiko. Viele Gebäude in Deutschland wurden nach dem Krieg errichtet. Bei einer Lebenserwartung von rund 50 Jahren sind nun einige in die Jahre gekommen. Nach der Katastrophe in Bad Reichenhall wurden überall in Deutschland Hallen mit großen Spannweiten untersucht. Sie sind besonders gefährdet. Dr. Heinrich Bökamp, Präsident der Ingenieurkammer-Bau NRW, war damals als Prüfenieur beteiligt: „Fünf bis zehn Prozent der untersuchten Bauwerke wiesen standsicherheitsrelevante Mängel auf. Die wären irgendwann eingestürzt.“ Die Prüfenieure entdeckten Risse, Verformungen, Abplatzungen, nicht mehr tragfähige Fundamente und durchgerostete Stahlträger. Die damals bemängelten Gebäude wurden inzwischen saniert. „Bei solchen Mängeln darf man nicht abwarten, sondern muss sofort handeln“, erklärt Bökamp. Unter den unsicheren Gebäuden waren damals nicht nur alte Hallen, sondern auch neue. Bei manchen Bauwerken werden anscheinend schon in der Planung Fehler gemacht. Bökamp wünscht sich daher dringend die Rückkehr zu einem wichtigen Sicherheitsstandard: das Vier-Augen-Prinzip, bei dem ein unabhängiger Experte die Baupläne von Gebäuden überprüft. Doch nach Bad Reichenhall wurden nicht alle Hallen untersucht, oft wurden lediglich Stichproben gemacht. Was ist mit den übrigen? Bökamp fordert regelmäßige Kontrollen. Nur so sieht er unsere Sicherheit auch in Zukunft gewährleistet.

### Über 40.000 Brücken sanierungsbedürftig



Nur ausgebildete Brückenprüfer können den Zustand einer Brücke richtig beurteilen

Brücken sind besonderen Belastungen ausgesetzt: Wind, Wetter und ständig zunehmender Verkehr. Die meisten Brücken wurden zwischen 1960 und 1985 gebaut. Während dieser Boomphase benötigte man rasch neue Straßen. Viele Brücken wurden mit Spannbeton errichtet, jedoch ohne große Erfahrung mit dieser neuen Technik zu haben. Die Spannbetonbrücken ermüdeten viel schneller als man damals erwartet hatte; das ist heute ein großes Problem.

Im Gegensatz zu Gebäuden gibt es bei Brücken allerdings vorgeschriebene regelmäßige Überprüfungen nach festgelegter DIN-Norm. Die Mängel der älteren Brücken gelten daher offiziell als bekannt und beherrschbar. 2007 testete der ADAC 50 Brücken in 13 deutschen Städten. Das Ergebnis: Fünf fielen durch, eine Brücke in Chemnitz musste sogar sofort gesperrt werden. Bei den untersuchten Brücken handelte es sich um kleinere kommunale Brücken. Das Ergebnis über-

rascht die Experten keineswegs. Brückenexperte Professor Martin Mertens von der Hochschule Bochum: „Wir haben die Erfahrung gemacht, dass die Prüfungen bei kleineren Kommunen nach dem billigsten Preis vergeben werden. Man hat früher gedacht, man könne eine Brücke dem Verkehr übergeben und dann getrost einige Jahrzehnte vergessen. Das hat sich als Irrtum erwiesen. Brücken müssen ständig gepflegt und unterhalten werden und das kostet viel Geld und belastet vor allem die kleinen Kommunen immens.“

### **Teure Sicherheit**

Der Straßenbrückenbestand in Deutschland wird auf 120.000 Brücken geschätzt; genau weiß das niemand. Mindestens 40 Prozent müssen in den nächsten zehn Jahren instand gesetzt werden, prognostiziert Martin Mertens. „Wenn das nicht geschieht, werden sie zwar nicht direkt einstürzen, aber wir werden diese Brücken nach und nach sperren müssen. Die Verantwortung können wir dann nicht mehr tragen.“ Auf rund 80 Milliarden Euro schätzen Experten den jährlich erforderlichen Aufwand für die Instandsetzung und Erhaltung der Bausubstanz in Deutschland. Eine hohe Summe, die nach Expertenmeinung derzeit nicht annähernd aufgebracht wird.

Autorin: Eva Schultes

## Krater hinterm Haus

*Nicht nur im Ruhrgebiet machen alte Stollen in der Tiefe Ärger*



Bergschäden verursachen Schieflagen von Häusern und Risse in den Wänden

Risse im Putz, schiefe Böden und verzogene Türen – das lässt Hausbesitzer verzweifeln. Ein fünf Jahre altes Haus und schon altersschwach? Die Ursache kann aus der Tiefe kommen: Unter Nordrhein-Westfalen liegt ein gigantisches Stollennetz. Der Bergbau verlässt das Land nach und nach, doch Probleme werden noch jahrzehntelang auftreten: ▶ **Bergschäden** verursachen jedes Jahr Millionenschäden.

### Wenn eine Garage plötzlich in der Erde versinkt

Die letzte Zeche in der Gegend hatte schon vor Jahrzehnten dicht gemacht, an die alten Stollen dachte kaum noch jemand in Siegen als sich plötzlich die Erde auftat und ein acht Meter breites und mindestens 10 Meter tiefes Loch zwischen zwei Mehrfamilienhäusern entstand. Das war im Februar 2004.

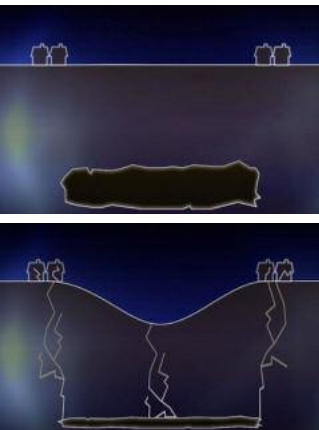


Das „Bochumer Loch“ musste mit ca. 50.000 Kubikmetern Beton aufgefüllt werden

Solche sogenannten ▶ **Tagesbrüche** stellen ein unkalkulierbares Risiko dar. Sie entstehen dann, wenn der Stollen nahe unter der Erdoberfläche war. Gerade der südliche Teil des Ruhrgebiets ist betroffen. Die Kohle lag hier nicht so tief unter der Erde. Bricht ein solcher Stollen zusammen, entsteht ein Loch – meist mit einem Durchmesser von etwa zwei Metern und einer Tiefe von ein bis fünf Metern. Das im Jahr 2000 entstandene „Bochumer Loch“ erreichte aber ganz andere Größenordnungen. Gleich zwei Krater mit Durchmessern von rund 20 Metern und einer Tiefe von etwa zwölf Metern taten sich auf und verschluckten eine ganze Garage. Da half nur eins: Das ganze Loch musste mit über 5000 Kubikmetern Beton verfüllt werden. Nur so konnte ein weiteres Einbrechen verhindert werden.

### Ruhrgebiet – tiefergelegt

Doch in den meisten Gegenden des Ruhrgebietes sind die Auswirkungen der eingestürzten Stollen erst auf den zweiten Blick erkennbar: Riesige Flächen, die sich mit der Zeit absenken. Die Ursache dafür liegt in größerer Tiefe: Bricht dort ein Stollen ein, sacken die darüberliegenden Gesteinsschichten langsam nach, und an der Erdoberfläche entsteht dadurch ein riesiger Trichter – ein sogenannter Senkungstrog. Einige Gegenden haben sich so bereits um etwa 30 Meter gesenkt. Häuser, die mitten in solch einem absackenden Gebiet stehen, erleiden keine großen Schäden, soweit sich die Erde gleichmäßig senkt. Für die Gebäude am Rande solcher Senken sind die Folgen jedoch umso deutlicher: Rissen in den Wänden und schiefe Böden. Die Schäden müssen aufwändig repariert werden. Bei manchen Häusern hilft aber nur noch eins: Ausziehen. Die Kosten der Reparatur muss das verursachende Bergbauunternehmen tragen.



Bergschäden entstehen, wenn alte Stollen einstürzen und der Boden nachsackt

Das einzig Beruhigende: Fachleute gehen davon aus, dass sich der Boden über tiefgelegenen Stollen nach fünf Jahren stabilisiert. Die leeren Stollen in großer Tiefe stürzen nämlich relativ schnell ein, weil so viel Gestein von oben auf sie drückt. Sind also fünf Jahre vergangen – und wird unter dem geschädigten Haus keine Kohle mehr abgebaut – kann eine Sanierung dauerhaft helfen.

### **Wann und wo**

Während die Schäden in den größeren Senkungsgebieten irgendwann aufhören, wird es Tagesbrüche auch in Zukunft immer wieder geben. Das große Problem ist, dass niemand genau weiß, wo sich überall die oberflächennahen Stollen befinden. Gerade in der Not der Nachkriegszeit kam es zu illegalem Bergbau. Aus dieser Zeit gibt es keinerlei Aufzeichnungen, wo überall gegraben wurde. Doch auch der offizielle Bergbau ist nur unzureichend dokumentiert. Die Karten aus den Anfängen des Bergbaus sind ungenau und teilweise unvollständig: Eine Kartierungspflicht gibt es erst seit 1865. Allein in Nordrhein-Westfalen sind 17.000 alte Zugänge zum Schachtsystem des Bergbaus bekannt. 40.000 sollen es aber insgesamt sein. Viele Tagesbrüche bleiben auch aufgrund ihrer geringen Größe unentdeckt, so dass lediglich etwa 130 Tagesbruch-Meldungen bei der zuständigen Bezirksregierung Arnsberg eingehen. Davon werden jedoch nur etwa 30 Prozent als "bergbaulich verursacht" eingestuft. Es gibt geschätzte 2000 alte Schächte im Ruhrgebiet, von denen viele nur unzureichend gesichert sind. Die Frage ist also nicht ob, sondern wann und wo der nächste Tagesbruch entsteht.

Autor: Peter Krachten

#### ► Bergschaden

Durch Bergbaubetrieb an der Erdoberfläche entstandener Schaden an Grundstücken, Gebäuden oder anderen Anlagen.

#### ► Tagesbruch

Ein an der Erdoberfläche deutlich sichtbarer Einsturz eines Stollens.

## Staufen – die Geister, die ich rief ...

*Wie eine Bohrung nach Erdwärme zur Katastrophe wird*



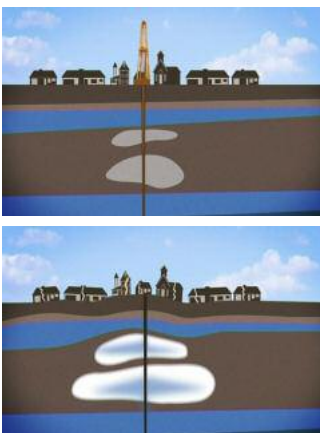
Risse in den Häusern der Altstadt

Rechte: SWR

Im September 2007 entdecken die Bewohner Risse in mehreren Häusern der Altstadt. Besonders das vor kurzem unter großem Kostenaufwand sanierte Rathaus ist stark betroffen. Der Bürgermeister ist alarmiert und startet umgehend die Suche nach der Ursache. Hilfe bekommt er von den Geologen des Regierungspräsidiums Freiburg. Irgendetwas tief unten im Gestein unter der Stadt muss in Bewegung geraten sein. Messungen der Wissenschaftler in der Altstadt zeigen, dass sich die Erde auf einer Fläche von 300 mal 300 Metern jeden Monat durchschnittlich um einen Zentimeter anhebt.

### Was hat die Hebungen verursacht?

Der erste Verdacht fällt auf eine Erdwärmebohrung, die im Auftrag der Stadt Staufen im Spätsommer 2007 durchgeführt wurde – also nur wenige Wochen, bevor die ersten Schäden auftraten. In diese Bohrlöcher senkten die Forscher nach den ersten Schäden an den Häusern Temperatursonden ab, um Hinweise auf das Geschehen dort unten zu finden. In einer Tiefe von 60 bis 80 Metern stellen sie fest, dass die Temperatur dort ungewöhnlich hoch ist. Für die erfahrenen Geologen ist das ein klarer Hinweis auf eine sogenannte exotherme Reaktion, wie sie zum Beispiel bei der Entstehung von Gips zu beobachten ist. Der verantwortliche Geologe Professor Ralph Watzel entwirft zwei mögliche Szenarien, wie es dazu kommen kann: ein natürliches und ein von Menschen gemachtes.



Eine Bohrung nach Erdwärme könnte das Unglück von Staufen ausgelöst haben

### Szenario 1: Die Bohrungen nach Erdwärme

Die Erdwärmebohrungen reichen bis in eine Tiefe von 140 Metern und durchstoßen dabei einerseits Gesteinsschichten, die Grundwasser führen und andererseits Schichten, die das Mineral Anhydrit enthalten. Durch die Bohrlöcher dringt Grundwasser in den Anhydrit ein und setzt damit eine chemische Reaktion in Gang: Der Anhydrit wandelt sich allmählich in Gips um und quillt dabei stark auf. Dadurch werden die darüberliegenden Gesteinsschichten nach oben gedrückt. Das Problem: Wenn immer mehr Wasser eintritt, stoppt der Quellvorgang erst, wenn der gesamte Anhydrit vollständig in Gips umgewandelt worden ist. Niemand kann bisher voraussagen, wann das sein wird.



Eine leichte Verschiebung der Gesteine unter Staufen könnte Grundwasser mit Anhydrit in Kontakt gebracht haben

### Szenario 2: Natürliche Verschiebungen im Unterrund

Staufen liegt in einer tektonisch recht aktiven Zone am Übergang des Schwarzwaldes zum Oberrheingraben – einem gewaltigen Riss, der sich quer durch den europäischen Kontinent zieht. So kommt es in dieser Region immer wieder zu Verschiebungen des Untergrundes, die manchmal, aber nicht immer mit Erdbeben einhergehen. Vielleicht ausgelöst durch eine minimale Bewegung des Untergrundes könnte Grundwasser allmählich in die Anhydrit-Schichten eingedrungen sein und dort das Gips-Quellen verursacht haben.

### **Bisher kann man nur beobachten**

Welches Szenario auch das richtige ist: Bisher können alle Betroffenen, Anwohner wie Wissenschaftler, nur zuschauen und hoffen, dass der fatale Hebungsprozess unter Staufens Altstadt bald stoppt. In der Zwischenzeit werden die Hebungen mit Messfühlern am Boden und per Satellit genauestens registriert und dokumentiert. Im Juli 2008 richteten die Betreiber den Erderkundungs-Satelliten TerraSar-X auf Staufen aus. Aus einer Höhe von 514 Kilometern scannt er die Erdoberfläche der Stadt ab. Bis Januar 2009 konnten die Wissenschaftler anhand der Messdaten für Staufen Hebungen von unterschiedlicher Intensität berechnen: Bis zu acht Zentimeter sind es bisher. Die Geologen vor Ort bestätigen diese Beobachtungen und kommen seit dem eigentlichen Beginn der Hebungen im Herbst 2007 sogar rund zwölf Zentimeter.

### **Wer ist Schuld?**



Risse in den Häusern der Altstadt

Rechte: SWR

Mittlerweile weisen in Staufens Altstadt rund 160 Häuser zum Teil bedrohliche Risse auf. Der Schaden ist bereits in zweistellige Millionenhöhe gestiegen und noch immer ist kein Ende abzusehen. Das erste Gebäude, ein städtisches Archiv, musste bereits vollständig geräumt werden, weil Einsturzgefahr besteht. Und wahrscheinlich werden weitere folgen. Die ausführende Bohrfirma hatte sich vor dem Beginn der Bohrungen abgesichert. Ein geologisches Gutachten bescheinigte, dass diese unbedenklich sind: Anhydrit wurde bisher nirgendwo im Untergrund in der Umgebung Staufens festgestellt.

Geologen klären jetzt mit einer Forschungsbohrung, wie es dazu kommen konnte, dass ausgerechnet unterhalb der Altstadt von Staufen noch Schichten des Minerals Anhydrit lagern. Nach der Analyse der Bohrkerne wird man hoffentlich endlich auch Prognosen stellen können, wann die Hebungen enden und wie man sie vielleicht sogar unterbrechen könnte. Doch schon jetzt muss dringend etwas zur Sicherung der Gebäude unternommen werden, bevor auch Menschen zu Schaden kommen.

Autor: Jo Sieglar

#### **► Anhydrit und Gips**

Anhydrit ist ein Mineral, nämlich wasserfreies Kalziumsulfat. Fein gemahlen kann man das als Estrich nutzen.

Auch Gips ist Kalziumsulfat – allerdings sind in Gips pro Kalziumsulfatmolekül zwei Wassermoleküle fest in das Kristallgitter eingebaut. Wenn Anhydrit mit Wasser zu Gips reagiert, nimmt dessen Volumen um 50 Prozent zu.

## Einsturz nach Maß

*Eine Frage der Statik*



Heinrich bringt 10.000 t auf die Waage – ein richtiges Schwergewicht

„Und Achtung, ich zähle: 3 – 2 – 1 – Zündung!“ Endlich der Satz, auf den alle gewartet haben. Monatlang hat er alles bis ins letzte Detail geplant. Die Anspannung ist am Höhepunkt angekommen. Ist die Arbeit erfolgreich? Kommt es zu Schäden an den Nachbargebäuden?

Martin Hopfe ist seit mehr als 25 Jahren Sprengmeister und begeistert von seinem Beruf. Fast 1.000 Gebäude hat er mit seinem Team schon zu Fall gebracht und dennoch ist ihm die Anspannung kurz vor der Sprengung auf dem Kraftwerksgelände Scholven in Gelsenkirchen anzusehen. Das Kesselhaus H, liebevoll Heinrich genannt, hat nach mehr als 30 Jahren ausgedient und soll weichen.

### Sprengen – aber wann?



Rainer Melzer hat die Schwachpunkte berechnet und für die Schwächung Heinrichs gesorgt

Das Abbruchunternehmen hat seinen Teil der Arbeit schon geleistet: Das Treppenhaus und alle Nebengebäude sind entfernt. Auch am restlichen Gebäude wurde gearbeitet: Die Fassade ist schon komplett entfernt. Übrig bleibt nur noch ein Stahlskelett, das auf seine Sprengung wartet. Der große Vorteil einer Sprengung – sie geht schnell! Der Abbruch einer Autobahnbrücke zum Beispiel würde den Berufsverkehr wochenlang beeinträchtigen. Auch die Belastung der Anwohner durch Staub und Lärm lässt sich so zeitlich einschränken. Außerdem kommt man mit normalen Abbruchmethoden nicht in jede Höhe. Heinrich ist stolze 67 Meter hoch, so dass ihn nur eine Sprengung beseitigen kann. Doch die Sprengung verursacht andere Sorgen: Das restliche Kraftwerk ist in vollem Betrieb. Die Fallrichtung ist zwar berechnet, ein Umkippen auf eine andere Seite würde aber zu einer Katastrophe führen.

### Sprengen – aber wie?!



Die Sprengung – monatlang wurde sie vorbereitet.

Neben Sprengmeister Martin Hopfe steht heute auch Sprengstatiker Rainer Melzer in der Sicherheitszone. In den vergangenen Wochen hat er das Konzept der Sprengung erarbeitet. Er hat sich die Baupläne angeschaut und ausgerechnet, wo Heinrichs Schwachpunkte liegen. Mögliche Klagen der Anwohner aufgrund von Erschütterungsschäden lassen ihn nicht unruhig werden. In den vergangenen Tagen hat er in der Umgebung Messgeräte installiert. Nach der Sprengung sollen diese beweisen, dass seine Berechnungen korrekt waren und der Aufprall der gewaltigen 10.000 Tonnen Stahl in der Umgebung nicht für Schäden an den Nachbarhäusern verantwortlich ist. Gerade bei größeren Gebäudekomplexen wird oft auch ein Sprengstatiker um Rat gefragt. Er schlägt vor, wo die Sprengladung angebracht wird, der Sprengmeister entscheidet darüber, welche Technik angewandt wird. Martin Hopfe hat sich bei Heinrich für eine sogenannte Vollraumsprengung entschieden. Dafür benutzt er ein recht ungewöhnliches Sprengmaterial: Wasser. Heinrich steht auf acht hohlen Hauptsäulen. Vier hat Hopfe mit Wasser aufgefüllt. In die Mitte hängt eine Sprengschnur, die unter Wasser zündet. Der Trick dabei – Wasser lässt sich nicht verdichten. Die Kraft der Sprengung wirkt so gleichmäßig auf die Schweißnähte der Stahlsäulen. Diese sollen aufplatzen und Heinrich „die Beine wegreißen“.

### **Sprengen – eine unheimliche Stille**



Martin Hopfe ist zufrieden –  
die Sprengung war erfolgreich

Martin Hopfe läuft hin und her. Immer wieder schaut er noch mal zu Heinrich. Hat er an alles gedacht? Er weiß: Die Kunst liegt darin, so wenig wie möglich Sprengstoff zu verwenden, aber wird die Menge ausreichen? Auch wenn er alles richtig gemacht hat – eine Gefahr bleibt: Unter Heinrich werden alte Fliegerbomben vermutet. Werden etwaige Blindgänger durch die Explosion zünden? Endlich die letzten Rückmeldungen seines Teams. Die Sicherheitszone ist frei. Es ist soweit. Er darf sie sagen, die erlösenden Worte: "Und Achtung, ich zähle: 3 – 2 – 1 – Zündung!" Ein unglaubliches Bild tut sich auf. Die Säulen explodieren. Wasser spritzt aus den Schweißnähten – und Heinrich fällt langsam um. Eine unheimliche Stille. Und dann plötzlich doch ein ohrenbetäubender Knall. Die Erde wackelt. Heinrich liegt schon am Boden – bedeckt von einer riesigen Staubwolke. Alles ging wie berechnet. In den nächsten Tagen darf sich niemand Heinrich nähern. Eine Nachzündung der Fliegerbomben ist zu gefährlich. Martin Hopfes und Rainer Melzers Arbeit ist getan. Sie machen sich auf den Heimweg und hoffen, dass sie nichts mehr von dem Kraftwerk hören. Zumindest bis in einem halben Jahr. Dann ist das nächste Kesselhaus dran: Gustav.

### **Fehlsprengungen**

Nicht immer verlaufen Sprengungen reibungslos. Im Hamburger Kraftwerk Moorburg löste sich 2004 bei der Sprengung eines 15.000 Tonnen schweren Schornsteins ein Metall-Belüftungsgitter eines Kesselhauses und flog in eine anliegende Schachtanlage. Es kam zu einem Kurzschluss: Notabschaltung.

2006 sollte die Haupttribüne des Gladbacher Böckelbergstadions gesprengt werden. Die Sitzreihen stürzten wie geplant ein, doch das Tribünendach und die Flutlichtmasten wehrten sich und blieben von der Sprengung unbeeindruckt. Auch das ARAG-Gebäude in Düsseldorf blieb 1991 standhaft. Bei der Sprengung sackten nur einige Stockwerke ein.

Egal wie gut man im Vorfeld eine Sprengung plant; ein Restrisiko bleibt. Die größte Gefahr dabei ist es, wenn die Baupläne nicht mit dem tatsächlichen Bau übereinstimmen. Dann nützt auch die beste Vorbereitung nichts.

Autor: Peter Krachten

## Lesetipps

### **Bewertung von Bergschäden**

Autor:	Johannes Schürken, Detlev Finke
Verlagsangaben:	Oppermann, Isernhagen 2008
ISBN:	3876040256
Sonstiges:	496 Seiten
Preis:	98,00 Euro

Das Buch behandelt alles rund um Bergschäden, wie Schadensregulierung, die Erkennbarkeit von Bergschäden und eine Abgrenzung zu Bauschäden. Sehr informativ, aber aufgrund des Preises sicher eher für Betroffene und Fachleute interessant.

## Linktipps

### **Sonderseite zum Einsturz des Kölner Stadtarchivs**

[http://www.wdr.de/themen/panorama/26/koeln\\_hauseinsturz/uebersicht.jhtml?rubrikenstyle=politik&rubrikenstyle=panorama&rubrikenstyle=panorama](http://www.wdr.de/themen/panorama/26/koeln_hauseinsturz/uebersicht.jhtml?rubrikenstyle=politik&rubrikenstyle=panorama&rubrikenstyle=panorama)

Unsere Kollegen von wdr.de haben ihre umfangreichen eigenen Recherchen und Berichte aus anderen Redaktionen zu einer umfassenden Sonderseite zusammengefasst.

### **Geologischer Dienst NRW**

<http://www.gd.nrw.de>

Es dürfte wohl kaum eine Stelle in Nordrhein-Westfalen geben, wo mehr geologisches Wissen versammelt ist. Diese Seite gibt einen Überblick über die vielen interessanten Aspekte der Arbeit dieser wissenschaftlichen Landesbehörde – von der Erdbebenkartei bis zur geologischen Karte.

### **Informationen zum Bau der Kölner „Nord-Süd-Stadtbahn“**

<http://www.nord-sued-stadtbahn.de/>

Wer sich über die Baumaßnahmen rund um den Bau der Kölner Nord-Süd-Stadtbahn informieren möchte, findet auf dieser Seite der Kölner Verkehrsbetriebe sehr viel Interessantes. Allerdings sind die Informationen der Bauherren zur Baumaßnahme am Historischen Stadtarchiv bislang nicht sehr ausführlich.

### **Quarks & Co: Erdbeben – wenn die Erde zuschlägt**

[http://www.wdr.de/tv/quarks/sendungsbeitraege/2007/0612/uebersicht\\_erdbeben.jsp](http://www.wdr.de/tv/quarks/sendungsbeitraege/2007/0612/uebersicht_erdbeben.jsp)

Wie entsteht ein Erdbeben? Was ist eigentlich die so genannte Richterskala und ist sie tatsächlich nach oben offen? Quarks & Co geht diesen Fragen nach und erklärt, warum für die türkische Metropole Istanbul höchste Alarmstufe gilt und ob Tiere Erdbeben spüren können. Außerdem berichtet ein Augenzeuge über das verheerende Erdbeben 1999 in der türkischen Stadt Izmit.

### **Erdbebenrisikokarte von Italien**

<http://esse1.mi.ingv.it>

Die Karte wurde im Auftrag der italienischen Regierung erstellt und zeigt, in welchen Regionen die Erdbebengefahr besonders hoch ist.

### **Brücken im Test**

[http://www.adac.de/Tests/Mobilitaet\\_und\\_Reise/Brueckentest/default.asp](http://www.adac.de/Tests/Mobilitaet_und_Reise/Brueckentest/default.asp)

2007 führte der ADAC einen Test an 50 Brücken in 13 deutschen Städten durch. Das Ergebnis war alarmierend.

### **Informationen zu Bergschäden**

<http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/dieBezirksregierung/aufbau/abteilungen/abteilung6/>

Auf der Seite der Bezirksregierung finden sich Informationen und Ansprechpartner. Besonders interessant ist der Jahresbericht der Bergbehörde sowie eine Liste von Ingenieuren und Vermessern im Bergbau (sogenannten Markscheidern), die Bergschäden beurteilen können

**Informationen zu Bergschäden und Meldungsmöglichkeit**

<http://www.rag-deutsche-steinkohle.de/content.php?id=699>

Service-Center für Informationen und zur Meldung von Bergschäden der „RAG Deutsche Steinkohle“

**Verein bergbaugeschädigter Haus- und Grundeigentümer**

<http://www.vbhg.de/>

Auf dieser Seite präsentiert sich der Verein bergbaugeschädigter Haus- und Grundeigentümer. Sie finden Ansprechpartner und Ratschläge für Bergbauschäden.

**Aktuelle Forschung zu computergestützten Sprengsystemen**

<http://www.sprengen.net/>

Die „Forschungsgruppe 500“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschäftigt sich mit computergestützten Sprengsystemen und mit Computermodellen

**Deutscher Sprengverband**

<http://www.sprenginfo.com>

Der Deutsche Sprengverband veröffentlicht dreimal pro Jahr seine Zeitschrift SprengInfo. Zudem findet man Informationen über Ausbildungsmöglichkeiten und Adressen von Gutachtern, Spreng- und Pyrotechnikern.

**Planet Wissen: Alfred Nobel**

<http://www.planet-wissen.de/pw/Artikel,,,,,,,,,36789786C7F52596E0440003BA5E08BC,,,,,,,,,,,,,,.html>

Informationen über Alfred Nobel – den Erfinder des Dynamits.

Impressum:

Herausgegeben  
vom Westdeutschen Rundfunk Köln

Verantwortlich:  
*Quarks & Co*  
Claudia Heiss

Redaktion:  
Anne Preger

Gestaltung:  
Designbureau Kremer & Mahler

Bildrechte:  
Alle: © WDR

außer:  
bezeichnet

© WDR 2009