

Mission Blubberblasen



Begleitheft

für
Lehrkräfte


zur

„Mission Blubberblasen“






Original Mineralwasserflasche der Bodendorfer Thermal-Sprudel GmbH
Foto: Christof Gloger, Sinzig

	Mission Blubberblasen	
	Begleitheft für Lehrkräfte	3

Inhaltsverzeichnis

1. **Das Technikmuseum in Bad Bodendorf**
2. **Das Konzept „Mission Blubberblasen“**
3. **Geschichte der Kohlendioxidverflüssigung**
4. **Die besondere Geschichte der Kohlendioxidverflüssigung in Bad Bodendorf**
5. **Kohlendioxid oder Kohlensäure**
6. **Kohlendioxid, technische Daten**
7. **Kohlendioxidkreislauf**
8. **Erfrischender Geschmack**
9. **Herkunft des Kohlendioxid**
 - 9.1. Natürliche CO₂ - Quellen
 - 9.2. Abgase aus biologischen Prozessen
 - 9.3. Abgase aus chemischen Prozessen
 - 9.4. Abgase aus Verbrennung
10. **Woher kommt das Kohlendioxid in Bad Bodendorf**
11. **Mineralwasser- und Kohlensäurevorkommen der Region**
12. **Kohlendioxidverflüssigung**
13. **CO₂ - Produktion in Bad Bodendorf und moderne Anlagen im Vergleich**
 - 13.1. Rohgaserfassung
 - 13.2. Verdichtung
 - 13.3. Kühlung/Verflüssigung
 - 13.4. Lagerung
 - 13.5. Vergleich mit heutiger Technik
 - 13.6. Moderne CO₂ - Gewinnung
14. **Anwendung für das Kohlendioxid**
 - 14.1. Verpackung
 - 14.2. CO₂ - Düngung in Gewächshäusern
 - 14.3. CO₂ - Feuerlöscher
15. **Versuche und Demonstrationen**
 - 15.1. Sicherheit
 - 15.2. Versorgung mit Kohlendioxid
 - 15.3. Versuch 1: Feuerlöscher Variante 1
 - 15.4. Versuch 2: Feuerlöscher Variante 2
 - 15.5. Versuch 3: Herstellung von Carbonaten, CO₂ - Nachweis
 - 15.6. Versuch 4: Diskothek
16. **Referenzliste**
17. **Impressum**

	Mission Blubberblasen	
4	Begleitheft für Lehrkräfte	

1. Das Technikmuseum in Bad Bodendorf

Die ehemalige Kohlendioxidverflüssigungsanlage bildet den Mittelpunkt eines Technikmuseums in Bad Bodendorf. Mit dem Maschinenbestand wurde von 1919 bis 1967 natürliches Kohlendioxid gewonnen und verflüssigt. Nach 1967 geriet diese Anlage in Vergessenheit. Durch das Engagement von Eckhard Hoffmann ist diese Anlage jetzt wieder der Öffentlichkeit zugänglich. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- 1 Abscheider
- 3 Kompressoren von Riedinger, Augsburg
- 1 Rieselkühler
- 2 Pumpen von Maschinenfabrik Esslingen, Esslingen
- 1 Flaschenfüllstation mit 2 Waagen
- 1 Elektromotor von Garbe & Lahmeyer, Aachen
- 1 Transmission zum Antrieb aller Aggregate

Diese Anlage ist gleichzeitig ein Symbol für die

- Geschichte der Entdeckung des Gases CO₂
- die technische Entwicklung der Kohlendioxidgewinnung
- die Geschichte der Suche nach Rohstoffen im Mittelrheingebiet
- die Geschichte des Ortes Bodendorf als „Bad“

Wie in den Nachbargemeinden waren natürliche Wasser- und Kohlendioxidaustritte, Hinweise aus der Bevölkerung und die Beobachtung der Natur der Anlass dafür, nach den beiden besonderen „Bodenschätzen“ natürliches Mineralwasser und Quellenkohlendioxid zu bohren.



Foto: Daniela Gloger, Koblenz

2. Das Konzept „Mission Blubberblasen“


Das Technikmuseum will nicht nur die Erwachsenen auf diese Technologie aus den Anfängen der Kohlendioxidgewinnung ansprechen, sondern auch die Kinder für diese Anlage und die Geschichte Bad Bodendorfs interessieren. Mit Hilfe des Detektivs Blasius Bizzel können die Kinder diese Anlage und deren Funktionen entdecken. Die Anregung einer Lehrerin führte zur Idee weitergehende Materialien über Kohlendioxid und die Verflüssigungsanlage in Form eines Begleitheftes für Lehrkräfte bereitzustellen. Damit können die Schülerinnen und Schüler vor einer Besichtigung der Kohlendioxid-Verflüssigungsanlage vorbereitet werden. Informationen und Anregungen dieses Begleitheftes können, natürlich im Rahmen des Lehrplanes, in den Unterricht einbezogen werden.

3. Geschichte der Kohlendioxidverflüssigung

Schon in den römischen Bädern war die erfrischende und belebende Wirkung von kohlensäurehaltigen Quellwässern bekannt. In der Antike bestanden noch keine Vorstellungen über die chemische und physikalische Beschaffenheit dieser Mineral- und Heilwässer, jedoch weist schon Hippokrates auf die Unterschiede hin: „Der Arzt muss die Wirkungen der Arten des Wassers bedenken, wie sie sich in Geschmack und Gewicht unterscheiden, so auch in ihren Kräften.“ Eine Nutzung der Quellen unserer Region durch die Römer ist schon im 1. Jahrhundert v. Chr. nachweisbar. Das belegen beispielsweise Münzfunde bei Reinigungsarbeiten am alten Heilbrunnen des Tönissteiner Sprudels und die Entdeckung eines römischen Opferaltars bei dem Bau der Bleiweißfabrik in Burgbrohl.

Die Gewinnung von CO₂ und dessen gezielter Einsatz waren jedoch erst später möglich. Die Stationen der Entwicklung:

- | | |
|------|--|
| 1767 | Erste künstliche Kohlensäurebereitung und Lösen derselben in Wasser |
| 1770 | Erste Vorrichtung zum Sättigen von Wasser mit Kohlendioxid |
| 1780 | Lavoisier prägt den Begriff „acide carbonique“ |
| 1800 | Erste Mineralwasserherstellung mit Eigengewinnung von CO ₂ |
| 1820 | Herstellung von Limonaden mit Kohlensäure |
| 1823 | Faraday und Davy verflüssigen eine kleine Menge von CO ₂ |
| 1844 | Kohlendioxidverflüssigung mit der „Natterer-Pumpe“ |
| 1870 | Mechanische Kompression des CO ₂ durch Dr. Raydt |
| 1874 | Industrielle Verflüssigung des Kohlendioxids (seit 1881 auch in Deutschland) |
| 1925 | Trockeneisproduktion (seit 1927 auch in Deutschland) |

	Mission Blubberblasen	
	Begleitheft für Lehrkräfte	5

4. Die besondere Geschichte der Kohlendioxidverflüssigung in Bad Bodendorf

Mit der industriellen Entwicklung in Deutschland stiegen gleichzeitig der Bedarf an Rohstoffen und die technischen Möglichkeiten der Gewinnung und des Transportes der Güter. Die erste Eisenbahn in Deutschland fuhr 1835. Schon um 1900 standen 50 000 Eisenbahnkilometer zur Verfügung. Am 17.09.1880 wurde das erste Teilstück einer Schienenstrecke im Ahrtal eröffnet. Damit waren die Produkte aus dem Ahrtal und der Eifel leichter erreichbar und konnten auch einem größeren Markt zur Verfügung gestellt werden. Nicht nur die Bodenschätze Mineralwasser und Kohlendioxid wurden mit der neuen Eisenbahn in die Welt transportiert, sondern es kamen auch vermehrt Touristen und Kurgäste in das Ahrtal und nach Bad Bodendorf.

- 1598 Aus der Landskronischen Chronik (Tobias Stiffel): „Es sind etliche saure Trinkbome wie zu Bodendorf, Ehlingen, Heppingen und an mehreren Orten daselbst im Tal.“
- 1900 Erste Bohrungen in Bad Bodendorf durch Josef Hardt auf der rechten Ahrseite: „Ahrquell“
- 1913 Weitere Bohrung und Sprengung: „Josefssprudel“ (1914)
- 1919 Inbetriebnahme der Kohlendioxidverflüssigung
- 1930 Weitere Bohrung: „St. Josef Sprudel“, Tiefe 80 m
- 1935 Verleihung des Prädikates „Heilbad“
- 1967 Verkauf des „Bodendorfer Thermalsprudel“ durch den Krupp-Konzern an die Firma „Tönissteiner Sprudel“, die den Bodendorfer Betrieb aus Konkurrenzgründen über Nacht stilllegte. Damit standen von diesem Zeitpunkt an auch die Räder der Kohlendioxidverflüssigungsanlage still.

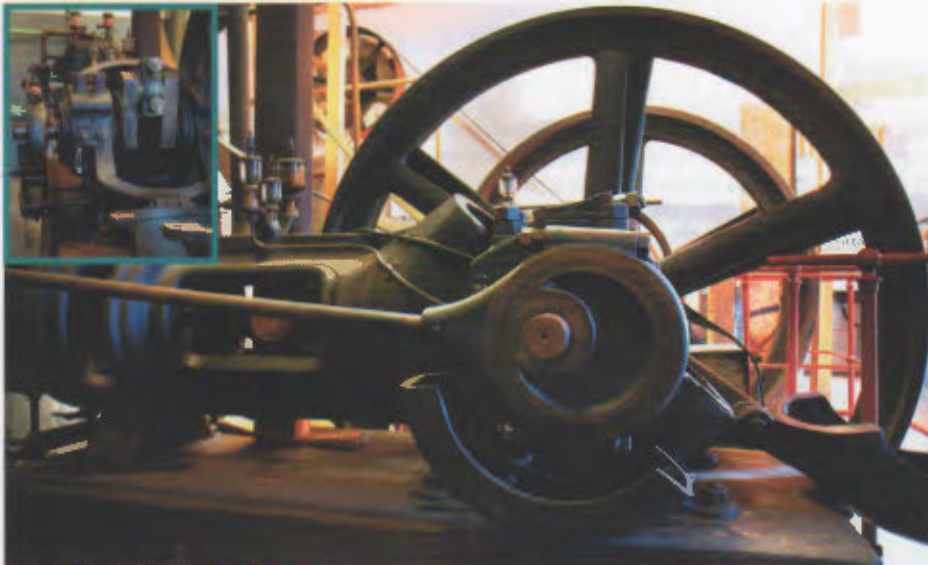
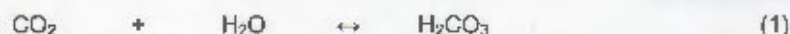


Foto: Daniela Gloger, Koblenz
Kompressor in der Kohlendioxidverflüssigungsanlage Bad Bodendorf von 1919 (Detail: Kurbetrieb des gleichen Kompressors)

5. Kohlendioxid oder Kohlensäure


Das Kohlendioxidmolekül (CO₂) ist keine Säure, da es Protonen nicht zur Verfügung stellen kann. Erst nachdem man Kohlendioxid in Wasser eingeleitet hat, reagiert ein kleiner Teil, ca. 0,1 %, zur schwachen Kohlensäure:



In freier Form ist Kohlensäure nicht bekannt. Die Kohlensäure ist eine zweiprotonige Säure und dissoziiert in zwei Stufen:



Obwohl Kohlendioxid - chemisch gesehen - das Anhydrid der Kohlensäure (H₂CO₃) ist, werden im Handel die beiden Begriffe Kohlensäure oder Kohlendioxid für das unter Druck verflüssigte und gelagerte Gas CO₂ synonym verwendet.

	Mission Blubberblasen	
6	Begleitheft für Lehrkräfte	

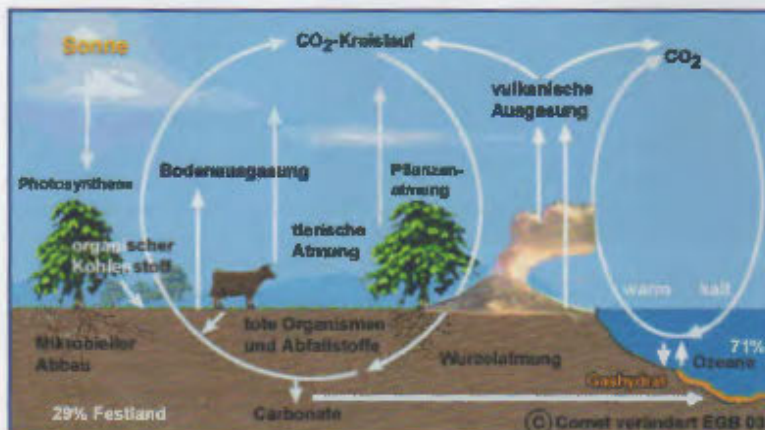
6. Kohlendioxid, technische Daten

Unter normalen Temperatur- und Druckbedingungen ist das CO₂ ein farbloses, geruch- und geschmackloses Gas. Es ist 1,5 - fach schwerer als Luft und nicht brennbar. Unter atmosphärischen Bedingungen existiert es gasförmig und fest. Seine besonderen Eigenschaften, wie beispielsweise eine fast inerte Wirkung auf Grund der Reaktionsträgheit, seine hohe Löslichkeit in Wasser und die Kälte von -78,9 °C, die bei der Entspannung entsteht, machen CO₂ zu einem Gas, das sich vielseitig in zahlreichen Bereichen der Wirtschaft einsetzen lässt.

Name:	Kohlendioxid
Chemische Formel:	CO ₂
Synonyme Bezeichnungen:	Kohlendioxid, Kohlenstoffdioxid, Kohlensäure, Trockeneis (für die feste Form)
Molekulargewicht:	44,01 kg/mol
Dichte des Gases:	1,977 kg/m ³ (oder 0,513 m ³ Gas/kg CO ₂ bei 0 °C und 101,3 kPa)
Relative Dichte des Gases:	1,529 (Luft = 1 bei 0 °C und 101,3 kPa)
Kritischer Punkt:	31 °C, 73,83 bar
Tripelpunkt:	56,6 °C, 5,18 bar
Sublimationspunkt (Trockeneis):	- 78,9 °C, 0,981 bar
Löslichkeit in Wasser:	1960 g/m ³ (Durch Druckerhöhung und Temperatureniedrigung wird die Löslichkeit erhöht.)
Atmosphärengehalt:	ca. 400 ppm v/v

7. Kohlendioxidkreislauf

Kohlendioxid ist ein Produkt, das eng mit den Lebensvorgängen verbunden ist. Die gesamte Biomasse besteht aus Kohlenstoffverbindungen, die von Produzenten aus Kohlendioxid gebildet werden. Produzenten sind die Pflanzen an Land und im Wasser, die durch die Photosynthese einen Teil des atmosphärischen Kohlendioxids fixieren und Sauerstoff freisetzen. Durch Fraß und Abbau werden die Kohlenstoffverbindungen an Konsumenten bzw. Destruenten weitergegeben. Diese erzeugen selbst Biomasse mit Kohlenstoffverbindungen und verbrauchen diese. Dabei bauen Sie - unter Aufnahme von Sauerstoff - die Kohlenstoffverbindungen ab, bis der komplette fixierte Kohlenstoff wieder als CO₂ freigegeben wird.




Quelle: <http://keepbanderabeautiful.org/>

8. Erfrischender Geschmack

Der erfrischende Geschmack kohlendioxidhaltiger Getränke ist auf die Bildung der Kohlensäure zurückzuführen. Lässt man Getränke in offenen Gefäßen stehen, so entweicht Kohlendioxid und der angenehme Geschmackseindruck geht verloren. Dieser Effekt ist auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Durch innermolekulare Umlagerung im Kohlensäuremolekül verlagert sich das Reaktionsgleichgewicht in Gleichung (1) zu Gunsten des Kohlendioxids.
- Das Kohlendioxid wird sehr schnell an die Luft abgegeben. Bei Wärmeeinwirkung wird die Löslichkeit des Kohlendioxids in der wässrigen Phase zusätzlich herabgesetzt. Eine mechanische Wirkung, z. B. schütteln oder rühren beschleunigen dieses Prinzip.
- Nur etwa 0,1 % des physikalisch gelösten Kohlendioxids bildet überhaupt Kohlensäure.

	Mission Blubberblasen	
	Begleitheft für Lehrkräfte	7

9. Herkunft des Kohlendioxid

Für die Gewinnung des Kohlendioxids werden unterschiedliche Vorkommen genutzt:

- Natürliche CO₂ – Quellen
- Abgase aus biologischen Prozessen
- Abgase aus chemischen Prozessen (Ammoniak, Ethylenoxid)
- Abgase aus Verbrennung fossiler Brennstoffe
- Von geringerer Beutung sind CO₂ – Vorkommen aus Erdgasbohrung oder aus Salzstöcken

9.1. Natürliche CO₂ – Quellen

Die Kohlendioxidverflüssigungsanlage in Bad Bodendorf nutzt eine natürliche CO₂ - Quelle. In Verbindung mit jungem Vulkanismus und geologischen Verwerfungen strömt Kohlendioxid selbsttätig aus der Erde. Meist treten diese Kohlensäurequellen in Verbindung mit Wasserquellen auf, gelegentlich tritt nur Kohlendioxid zu Tage. Wo Vorkommen bekannt sind, werden Quellen erbohrt. Die Bohrung in Bad Bodendorf ist ca. 80 m tief. In Deutschland gibt es bis zu 1000 m tiefe Bohrungen.

9.2. Abgase aus biologischen Prozessen


Bei der Vergärung von Kohlenhydraten durch Hefe, z. B. bei der Bier- und Weinherstellung, entsteht Alkohol und CO₂. Pro hl Bier steht ungefähr 1,5 kg bis 2 kg Kohlendioxid zur Verfügung. Die Schwankungen sind verfahrensbedingt und von der Hefeaktivität abhängig. Das Kohlendioxid wird zur Spülung des Gärbehälters eingesetzt bevor die Gewinnungsanlage in Betrieb genommen wird und verbleibt teilweise gelöst im Bier. Zunehmend steht in jüngster Zeit auch CO₂ aus der Bioethanolherstellung zur Verfügung

9.3. Abgase aus chemischen Prozessen

Bei einer Reihe von chemischen Prozessen fällt Kohlendioxid als Nebenprodukt an, z. B. bei der Ammoniaksynthese. Für diese Synthese werden Wasserstoff und Stickstoff benötigt. Bei der Wasserstoffherstellung fällt zunächst Kohlenmonoxid an, das aus dem Gasgemisch getrennt werden muss. Anschließend wird das giftige Kohlenmonoxid in ungiftiges Kohlendioxid „konvertiert“.

9.4. Abgase aus Verbrennung

Durch vorgeschichtliche Ablagerung von kohlenstoffhaltigen Materialien sind fossile Brennstoffe entstanden. Bei deren Verbrennung wird der ursprünglich durch Fotosynthese gespeicherte Kohlenstoff als Kohlendioxid wieder frei. Dabei schwankt der Kohlendioxidgehalt im Rauchgas in Abhängigkeit von Brennereinstellung und verwendetem Brennstoff zwischen 7 % und 14 %. Dieses Verfahren wird in Europa seit der Energiekrise nicht mehr verwendet.

	Mission Blubberblasen	
8	Begleitheft für Lehrkräfte	

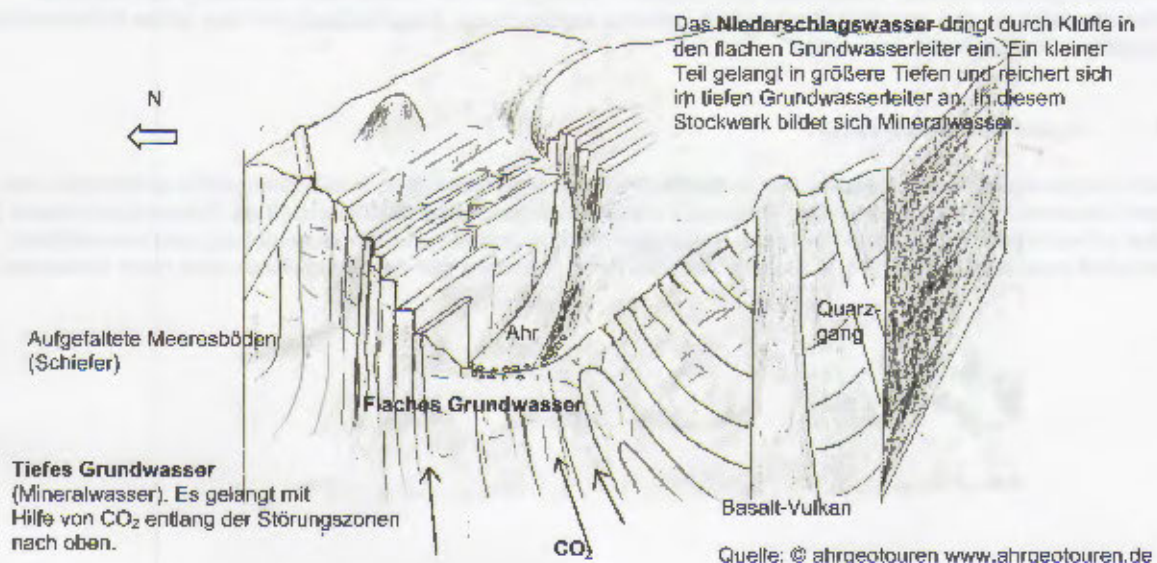
10. Woher kommt das Kohlendioxid in Bad Bodendorf?

Säuerlinge und Kohlendioxid treten in unserer Region meist gleichzeitig auf. Auffällig ist die Verbindung mit dem Vulkanismus der Region insbesondere der vorderen Eifel. In der Diskussion über die Ursache werden immer wieder unterirdische Magmakammern in 3 bis 5 km Tiefe vermutet, die bei der Abkühlung CO_2 freisetzen. Die Kohlendioxidvorkommen werden als ausklingende magmatische Tätigkeit oder als Ankündigung für eine zukünftige Aktivität gedeutet. Nach vorsichtigen Schätzungen werden auf diese Weise in der vorderen Eifel und der Westeifel mehr als 750 000 t CO_2 pro Jahr freigesetzt.

Zur Bildung der kohlendioxidhaltigen Mineralwässer müssen Wasser und Kohlendioxid aufeinander treffen. Niederschläge versickern im Boden und bilden das Grundwasser. In tieferen Schichten trifft das Grundwasser auf das aufsteigende CO_2 . Abhängig von den Druck- und Temperaturverhältnissen in der Tiefe löst sich das Kohlendioxid im Wasser. Das Gaswassergemisch ist spezifisch leichter als das umgebende Grundwasser ohne Gas. Dadurch kann es entlang von Störungszonen an die Oberfläche aufsteigen (Gaslift), ähnlich dem Herausschießen des Gaswassergemisches aus einer Mineralwasserflasche nach dem Schütteln. Für die weitere Nutzung wird an der Quelfassung Wasser und gasförmiges CO_2 voneinander getrennt. Während das Wasser für die Mineralwasserabfüllung verwendet wird, wird das CO_2 aufbereitet und verflüssigt.

In einem Gutachten der „Preussischen geologischen Landesanstalt“ vom 23.06.1930 beschreibt Herr Dr. Ebert die geologischen Verhältnisse im Bereich der Bohrungen:

„... Die Bohrungen wurden ausgeführt auf Grund von Kohlensäure-Austritten am Fusse des Mühlenberg-Höhenrückens. Diese Erscheinung weist darauf hin, dass die Quellen aus der Tiefe unterhalb des Bergzuges aufsteigen und an der Stelle des geringsten Widerstandes, also an der Grenzlinie des Höhenzuges mit der Ahrtaube, zu Tage treten. ... Die dargestellten Verwerfungen beruhen auf relativ sicherer Beobachtung. Zwei Spaltensysteme sind zu erkennen; ein System NNW-SSO-Richtung und ein anderes mit NW-SO-Richtung. Das erstere Bruchsystem ist das jüngere und führt erfahrungsgemäss Thermalwasser, wenn eine Verbindung mit den Vulkanherdresten, die heute noch die Schlussphase zeigen besteht, wie z. B. die benachbarten Quellen von Bad Neuenahr. Die geologische Aufnahme zeigt, dass die beiden Quellen auf zwei grossen NNW-SSO verlaufenden Spalten sitzen.“



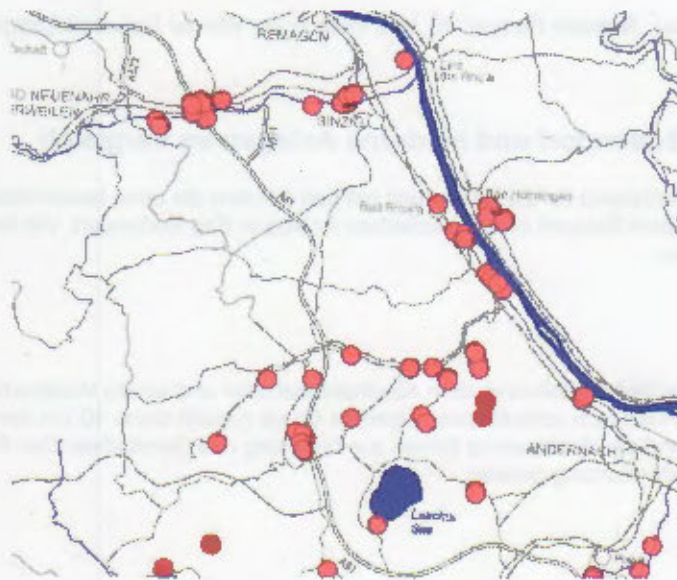


11. Mineralwasser- und Kohlensäurevorkommen der Region

Mineralwasser und Kohlensäurevorkommen unserer Region finden sich in der hohen Eifel, im Ahrtal, im Brohltal, im Rheintal und den Nebentälern. Aber auch in angrenzenden Gebieten: Rhens, Lahnstein, Roisdorf, Bad Godesberg. Beispiele von Mineralwasserbetrieben mit eigener Kohlensäure:

- Sinziger Mineralbrunnen
- Tönissteiner
- Apollinaris

Weitere Mineralwasservorkommen in unserer Region



Quelle: <http://www.lgb-rlp.de/mineralwasser>.

Beispiele von Kohlensäurebetrieben:

- Carbo Kohlensäurewerke GmbH & Co. KG, Bad Honningen und Wehr
- Tyczka Kohlensäure GmbH & Co. KG, Geretsried (Burgbrohl)
- Yara GmbH & Co. KG, Dölmern (Bad Honningen)



12. Kohlendioxidverflüssigung

Heute ist die Verflüssigung von Kohlendioxid ein komplexer Prozess. Dieser wird geprägt durch hohe Anforderungen an die Rohgasqualität und die Qualität des Endproduktes „verflüssigtes CO₂“. Sinnvolle Energienutzung, redundante Anlagenkonzepte für kontinuierliche Prozesse und nicht zuletzt die kaufmännische Überwachung einer solchen Anlage führen zu einer für den Laien schier unübersichtlichen verfahrenstechnischen Anlage. Dennoch lässt sich die Gewinnung und Verflüssigung von CO₂ vereinfachend so beschreiben:

- Rohgaserfassung
- Verdichtung
- Kühlung/Verflüssigung
- Lagerung

Schon die ersten Demonstrationen mit einer „Natterer Pumpe“ im Jahr 1844 in der Wiener Universität folgten diesem Prinzip.

13. CO₂ - Produktion in Bad Bodendorf und moderne Anlagen im Vergleich

Der Detektiv Blasius Bizzel entdeckt stellvertretend für die Kinder und mit den Kindern die oben beschriebenen Verfahren zur Kohlendioxidgewinnung an dem Beispiel einer historischen Anlage in Bad Bodendorf. Wir bleiben bei den vereinfachten übersichtlichen Schritten:

13.1. Rohgaserfassung

Die Rohgaserfassung besteht aus der eigentlichen Bohrung, dem Abscheidebehälter und einem Vorabscheider für mitgerissene Tröpfchen. Das Wasser-Gas-Gemisch schießt unter eigenem Druck (Gaslift siehe 10.) in den Abscheidebehälter. Die Druckentlastung und die Verrieselung führen zur Trennung des Gemisches. Das Rohgas wird über einen Tröpfchenabscheider zur Verdichtung geleitet.

13.2. Verdichtung


In Bad Bodendorf wurde das Kohlendioxidgas 3-stufig verdichtet. Bei jeder Verdichtung wird das Gas heiß. Das gilt für jede Verdichtung von Gasen, z. B. auch für Luft in einer Luftpumpe. Daher erfolgt nach jeder Stufe eine Kühlung mit Wasser. Alle Aggregate in Bad Bodendorf werden über einen einzigen Elektromotor und die Transmission angetrieben. Dies kann man besonders anschaulich an den Treibriemen und den Antriebsrädern erkennen, die als Halbschalen zusammengesetzt sind.

13.3. Kühlung/Verflüssigung







Die besonderen physikalischen Eigenschaften des CO₂ erlauben eine Verflüssigung bei Bedingungen unter 31 °C und 73,83 bar (der kritische Punkt für CO₂) mit Wasser. Hierzu wurde in Bad Bodendorf ein Riesekühler eingesetzt.


13.4. Lagerung





1919 standen Druckbehälter nur in Form von Stahlflaschen zur Verfügung, in welche das Kohlendioxid nach der Verflüssigung geleitet wurde. Damit diese nicht überfüllt oder überdrückt wurden, hat man diese mit Hilfe von Waagen befüllt. In eine Flasche, die für 25 kg CO₂ zugelassen war, durften auch nur 25 kg eingefüllt werden. Für einen kontinuierlichen Ablauf wurden zwei Stahlflaschen wechselweise angeschlossen. Für die Füllung von Stahlflaschen mit CO₂ gilt das Prinzip heute noch. Die Waagen sind heute moderner, die Füllabläufe sind, soweit es möglich ist, automatisiert.

	Mission Blubberblasen	
	Begleitheft für Lehrkräfte	11

13.5. Vergleich mit heutiger Technik

	Damals (Bad Bodendorf)	Heute (Beispiele)
Rohgas	 <p style="text-align: center;">Foto: Daniela Gloger, Koblenz Die Rohgaserfassung besteht aus der eigentlichen Bohrung, dem Abscheidebehälter und einem Vorabscheider für mitgerissene Tröpfchen.</p>	 <p style="text-align: center;">Um heutige Vorschriften zu erfüllen, werden Quellen umfangreich überwacht. Überschüssiges Wasser muss geregelt abgeleitet werden. Da Luftsauerstoff die folgenden Prozesse stört, wird ein Zutritt wirksam verhindert.</p>
Verdichtung	 <p style="text-align: center;">Foto: Daniela Gloger, Koblenz 3-stufige Verdichtung mit drei Verdichtern. Leistung: Ca. 300 kg/h</p>	 <p style="text-align: center;">2 - stufige Verdichtung mit einem Verdichter (2 Kolben, V-förmig angeordnet). Druck ca. 16 bar bis 20 bar. Leistung: Bis zu 2500 kg/h</p>
Kühlung/Verflüssigung	 <p style="text-align: center;">Foto: Daniela Gloger, Koblenz Kühlung mit Wasser durch offene Berieselung. Drei parallele Rohrschlangen. Verflüssigung bei Wassertemperatur. Dabei wird die Temperatur unter 31 °C abgesenkt.</p>	 <p style="text-align: center;">Kühlung mit einem konventionellen Kältemittel, z. B. Ammoniak, in einem geschlossenen Kreislauf. Verflüssigung bei -35 °C bis -20 °C.</p>

	Mission Blubberblasen	
12	Begleitheft für Lehrkräfte	

	Damals (Bad Bodendorf)	Heute (Beispiele)
Lagerbehälter	 <p style="text-align: center;">Foto: Christof Gloger, Sinzig Nach der Verflüssigung wurde das Kohlendioxid in Stahlflaschen geleitet. Damit diese nicht überfüllt oder überdrückt wurden, hat man diese auf Waagen befüllt.</p>	 <p style="text-align: center;">Heute wird das verflüssigte CO₂ in Großtanks (übliche Größe ca. 100 t bis ca. 300 t) gelagert und mit Tankfahrzeugen zu dem Kunden geliefert. Lagerbedingungen: 13 bar bis 16 bar, -35 °C bis -25 °C.</p>
Antrieb	 <p style="text-align: center;">Foto: Christof Gloger, Sinzig Ein einziger Elektromotor treibt die Transmission, von der alle Aggregate angetrieben werden, an.</p>	 <p style="text-align: center;">Jedes Aggregat wird jeweils mit einem eigenem Elektromotor angetrieben (hier ein V-Kompressor).</p>

13.6. Moderne CO₂ - Gewinnung

Bei allen heutigen Aufbereitungsverfahren erfolgt die Kohlendioxidverflüssigung nach folgendem Prinzip:


- Rohgaswäscher
- CO₂ - Verdichter (in der Regel 2-stufig)
- Trockner
- Aktivkohle
- Verflüssiger (mit Kältemittel im geschlossenen Kreislauf)
- CO₂ - Lagerbehälter (bei ca. 13 bar bis 16 bar, ca. -35 °C bis -25 °C)

Die weitere Verarbeitung ist abhängig von der Rohgasquelle, der Rohgasmenge, der Rohgasqualität, insbesondere den beteiligten Spurengase, dem Rohgasdruck und nicht zuletzt von der erwarteten Endqualität des fertigen verflüssigten Kohlendioxids. Weitere mögliche Verfahrensschritte zur Reinigung und Vorbereitung des Gases: Gaswäscher und Gaskühler, unterschiedliche katalytische Verfahren, Permanganatwäscher, Abscheider, Stripper, Pufferbehälter, Zwischenkühler, Kondensatabscheider, dotierte Aktivkohlen.

Nach der Vorreinigung des zunächst drucklosen Gases erfolgt eine meist zweistufige Verdichtung auf ca. 3 bar bzw. ca. 16 bar. Vor, zwischen und hinter den jeweiligen Verdichtungsstufen sind Kühler vorgesehen, um die Verdichtungswärme abzuführen. Gleichzeitig wird Feuchtigkeit auskondensiert und abgeleitet.

Nach der Verdichtung wird das Gas getrocknet. Der Trockner besteht aus zwei Behältern, die mit einem Trockenmittel, einem so genannten Molsieb, gefüllt sind. Während einer der beiden Behälter für die Trocknung mit dem Gas durchströmt wird, wird der andere Behälter regeneriert. Beide Behälter werden im Wechsel betrieben.

Im Anschluss erfolgt eine Feinreinigung mit Hilfe von Aktivkohlefiltern. Dabei werden Geruchs- oder Geschmacksstoffe und höher molekulare Kohlenwasserstoffe herausgefiltert. Je nach Rohgasqualität wird der Aktivkohlefilter als Wechsel oder Einfachbehälter betrieben. Darüber hinaus kann die Aktivkohle mit Wirksubstanzen dotiert werden.

	Mission Blubberblasen	
	Begleitheft für Lehrkräfte	13

Nach der Feinreinigung wird das CO₂ verflüssigt. Die Verflüssigung erfolgt bei einem Druck von ca. 13 bar bis 20 bar und einer Temperatur von -35 °C bis -20 °C. Im Kältekreislauf werden bekannte Kältemittel, beispielsweise Ammoniak, eingesetzt. Gleichzeitig ist die Verflüssigung auch ein Reinigungsschritt in dem die sogenannten „Inerten“ (Gase mit einer niedrigeren Verflüssigungstemperatur als CO₂) abgeleitet werden.

Am Ende erfolgt die Lagerung in isolierten Behältern bei 13 bar bis 16 bar und einer Temperatur von -35 °C bis -25 °C. Die üblichen Behältergrößen sind ca. 100 t bis ca. 300 t. Solche Tanklager befinden sich meist bei Produktionen oder werden als Umschlaglager in regionalen Verteilzentren vorgesehen.

14. Anwendungen für das Kohlendioxid

14.1. Verpackung

Nach der Verarbeitung unterliegen Lebensmittel biologischen, chemischen und physikalischen Veränderungen. Das führt zur Minderung der Qualität und der Haltbarkeit. Meist ist der Sauerstoff der Luft an diesen Vorgängen beteiligt. Daher versucht man nicht nur bei der Verpackung den Luftsauerstoff auszuschließen, sondern auch bei vor gelagerten Prozessen, z. B. beim Mischen, beim Aufschlagen, beim Fördern, und bei Lagerbehältern. In der Verpackung von Lebensmitteln wird der Sauerstoffausschluss durch das Erzeugen eines Vakuums und/oder durch das Spülen mit CO₂ - Schutzgas erreicht. So wird der Luftsauerstoff aus der Verpackung verdrängt. Neben CO₂ wird auch Stickstoff als Verpackungsgas eingesetzt. Beide Gase verdrängen den Sauerstoff.

Daneben hat CO₂ noch eine „aktive“, bakteriostatische Wirkung. Es hemmt das Wachstum von Mikroorganismen. Über diesen Effekt hat man schon im Jahre 1885 berichtet (Verpackung von Eiern unter CO₂). Heute werden Lebensmittel, wie Fleisch, Wurstwaren, Tee, Kaffee, Brot, Käseprodukte automatisch mit einer Schutzgasatmosphäre verpackt. Beispiele:

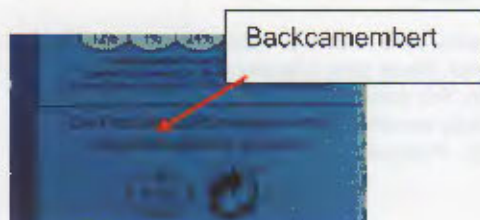


Foto: Christof Gloger, Sinzig

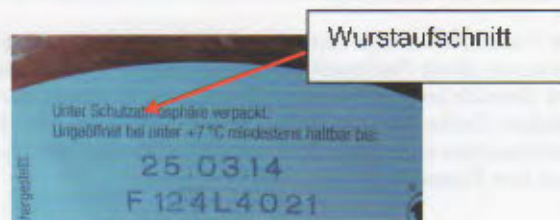



Foto: Christof Gloger, Sinzig

14.2. CO₂ - Düngung in Gewächshäusern

Nach Justus Liebig, 1855: Die knappste Ressource begrenzt das Wachstum von Pflanzen. Diese Ressource wird als Minimumfaktor bezeichnet.

CO₂ ist ein wichtiger Bestandteil der Fotosynthese. Vereinfacht produzieren Pflanzen mit dem Chlorophyll aus CO₂ und Wasser Kohlenwasserstoffe und Sauerstoff. Dabei benötigt die Pflanze Licht und Nährstoffe. Sind alle Voraussetzungen für die Pflanze optimal, z. B. in Gewächshäusern, ist in der Regel der CO₂-Gehalt der Atmosphäre der beschränkende Minimumfaktor. Tatsächlich führt die Fotosynthese zur Verringerung des CO₂-Anteils in der Atmosphäre. In Gewächshäusern wird daher der „Nährstoff“ CO₂ in der Atmosphäre deutlich erhöht, was zu gesünderen Pflanzen und zu höheren Ernteerträgen führt. Die Toleranz der Pflanzen ist dabei von der Sorte und der Wachstumsphase abhängig.

Zur Steuerung wird der CO₂-Gehalt in der Gewächshausatmosphäre gemessen und auf einem eingestellten Niveau gehalten. Dabei werden die anderen Parameter der Gewächshaussteuerung ebenfalls überwacht. Eine CO₂ - Düngung ist nur sinnvoll, wenn die Fenster geschlossen sind oder ausreichend Licht für die Fotosynthese zur Verfügung steht. Je nach Pflanze wird der CO₂ - Gehalt bis zu ca. 1300 ppm, also auf das mehr als 4-fache des tatsächlichen Luftanteils, angehoben.

	Mission Blubberblasen	
14	Begleitheft für Lehrkräfte	

14.3. CO₂ - Feuerlöscher

Nicht immer ist Wasser das beste Löschmittel, z. B. wenn der Schaden durch das Löschwasser genauso verheerend ist, wie der Brand selbst oder der Brand mit Wasser gar nicht zu bekämpfen ist. Das ist der Fall bei EDV-Zentren, bei Archiven mit wertvollen Dokumenten sowie bei technischen und chemischen Anlagen, oder Gefahrstofflagern. So wird CO₂ bei der Aluminiumfertigung oder bei Ölbädern als Löschmittel eingesetzt. Immer ist es das Ziel mit dem unbrennbaren Kohlendioxid den Sauerstoff zu verdrängen: Das Feuer wird erstickt oder eine Brandentwicklung solange verhindert, bis verfahrenstechnische Schritte wieder in beherrschtem Rahmen ablaufen.

Beispiel: CO₂-Flutung von Industrieanlagen



Bevor die Feuerlöschanlage über eine Brandmeldezentrale gestartet wird, wird mittels akustischem und optischem Signal gewarnt, damit Personen den Gefahrenbereich verlassen können. Nach dem Löschvorgang muss der betroffene Bereich belüftet werden, bevor dieser betreten werden kann. Für zentrale Feuerlöschanlagen wird das CO₂ in großen Tanks gelagert. Für den räumlich begrenzten Feuerschutz werden fahrbare oder tragbare Feuerlöschflaschen eingesetzt. Die Pulverlöscher sind mit kleinen CO₂- Patronen ausgerüstet, mit deren Hilfe das Pulver aus den Flaschen geschossen wird.

15. Versuche und Demonstrationen

15.1. Sicherheit


Selbstverständlich ist beim Umgang mit Chemikalien besondere Umsicht erforderlich. Beachten Sie die Sicherheitsbestimmungen in Ihrem Hause und die Ihrer Versicherung. Die nachfolgenden Beschreibungen setzen voraus, dass diese Vorschriften beachtet werden. Einige wesentliche Informationen:

- Essen, Trinken und Rauchen verboten
- Schutzbrille und Kittel tragen
- Lange Haare nach hinten zusammenbinden
- Kleidung: Geschlossene Schuhe, lange Hosen, langärmelige Oberbekleidung
- Rechnen Sie damit, dass sich die Schüler begeistert beteiligen. Nutzen Sie Ihre Weisungspflicht.

Zur Sicherheit und um ein Gelingen zu gewährleisten: Probieren Sie die Versuche zunächst ohne Schüler.

15.2. Versorgung mit Kohlendioxid

Alle Versuche sind davon abhängig, dass CO₂ in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Kohlendioxid kann man in Flaschen beim örtlichen Getränkehandel oder im Aquarienhandel (dabei gleich ermitteln, welche Anwendung dahinter steckt) erhalten. Lassen Sie sich gleich einen Druckminderer mit einem ca. 1 m langen Schlauch mitgeben. Einige Demonstrationen lassen sich auch mit Trockeneis durchführen.

	Mission Blubberblasen	
	Begleitheft für Lehrkräfte	15

15.3. Versuch 1: Feuerlöscher Variante 1

Geräte/Chemikalien

- Backpulver
- Zitronensäure
- 2 Bechergläser (oder andere größere Glasgefäße)
- 2 Teelichter

Durchführung:

Ein Becherglas mit Backpulver füllen.
 In beide Bechergläser Teelichter stellen (in dem Ersten auf das Backpulver).
 Beide Teelichter anzünden.
 Ca. 2 Esslöffel Zitronensäure vorsichtig, am Rand vorbei aber zügig in das Backpulver laufen lassen.

Beobachtung:

Das Backpulver braust auf unter CO_2 - Gasbildung.
 Die Kerze in diesem Becherglas erlischt, die andere brennt weiter.

Interpretation:

Die stärkere Säure verdrängt die schwächere Säure aus ihren Verbindungen.
 Backpulver ist also gebundenes CO_2 , das als Treibmittel in Backprozessen eingesetzt wird.
 Das CO_2 unterbricht die Verbrennung und ist nicht brennbar.
 CO_2 ist nicht sichtbar.
 CO_2 füllt das Becherglas von unten.

Anwendung:

Mit CO_2 wird Feuer gelöscht.
 Carbonate werden als Backtriebmittel eingesetzt.
 Arbeitssicherheit: CO_2 füllt Räume von unten (z. B. Silos, Höhlen, Bergwerke, Hundsgrotte).

Diskurs Gase:

Die meisten Gase sind nicht sichtbar. Zur Luft besteht meist ein großer Dichteunterschied. Gase, schwerer als Luft, „fallen“ nach unten, z. B. CO_2 , Propan. Gase leichter als Luft „steigen“ nach oben, z. B. Wasserstoff oder Helium (da Helium nicht brennbar ist, wird es als Traggas in modernen Luftschiffen eingesetzt).

15.4. Versuch 2: Feuerlöscher Variante 2

Geräte/Chemikalien:

- 2 Bechergläser (oder andere größere Glasgefäße)
- 1 Glaskanne
- 2 Teelichter
- Trockeneis oder Kohlendioxid aus einer Stahlflasche (Druckminderer, Schlauch)

Durchführung:

Trockeneis in die Glaskanne geben (oder CO_2 aus der Stahlflasche vorsichtig einhauchen lassen).
 Die Glaskanne abdecken. Bei der Verwendung von Trockeneis: Zwei Minuten warten.
 In beide Bechergläser Teelichter stellen und anzünden.
 Vorsichtig das Gas aus der Glaskanne in ein Becherglas gießen.

Beobachtung:

Die Kerze in dem Becherglas, in das das Gas eingegossen wurde, erlischt, die andere Kerze brennt weiter.

Interpretation:

Das CO_2 unterbricht die Verbrennung und ist nicht brennbar.
 CO_2 ist nicht sichtbar.
 CO_2 ist schwerer als Luft.
 CO_2 füllt das Becherglas von unten.
 Bei der Verwendung von Trockeneis: Bei der Sublimation entsteht gasförmiges CO_2 . Um die Kanne mit ausreichender Menge Gas zu füllen, wird Zeit benötigt.

Anwendung:

Mit CO_2 wird Feuer gelöscht
 Arbeitssicherheit: CO_2 füllt Räume von unten (z. B. Silos, Weinkeller, Höhlen, Bergwerke, Hundsgrotte)



15.5. Versuch 3: Herstellung von Carbonaten, CO₂ - Nachweis

Geräte/Chemikalien:

- 2 Erlenmeyerkolben
- Kalkwasser
- Zitronensäure
- Kohlendioxid aus einer Stahlflasche (Druckminderer, Schlauch)

Durchführung:

Beide Erlenmeyerkolben mit Kalkwasser füllen.
In einen Kolben CO₂ einleiten.
Anschließend in diesen Kolben Zitronensäure einleiten.

Beobachtung:

Das Kalkwasser bildet eine deutliche Trübung.
Die Trübung löst sich mit Zitronensäure auf, geringfügige Gasbildung.

Interpretation:

CO₂ reagiert mit Kalkwasser.
Das entstehende Carbonat bildet eine Trübung.
Die stärkere Säure verdrängt die schwächere Säure aus ihren Verbindungen.

Anwendung:

Carbonate werden mit Hilfe von CO₂ hergestellt.
Zitronensäure befindet sich in Kalkreinigern.
Kalkreiniger dürfen nicht auf Marmor angewendet werden, da Marmor eine besondere Form des Kalkes ist und sich ebenfalls auflösen würde.
Kalkwasser dient zur Identifikation von CO₂.

15.6. Versuch 4: Diskothek

Geräte/Chemikalien:

- Heißes Wasser
- Schüssel (vorzugsweise Metall)
- Trockeneis

Durchführung:

Trockeneis in die Schüssel geben.
Heißes Wasser darauf gießen.

Beobachtung:


Heftiges „Aufkochen“.
Starke Nebelbildung.

Interpretation:

Explosionsartige Freisetzung des Gases.
Wassertröpfchen werden mitgerissen und verteilt.

Anwendung:

Nebelherstellung in Diskotheken.
Arbeitssicherheit: Starke Nebelbildung beim Freisetzen von kaltem CO₂ behindert die Sicht.

	Mission Blubberblasen	
	Begleitheft für Lehrkräfte	17

16. Referenzliste

- | | |
|--|---|
| <p>AGA
www.aw-wiki.de
Brüning-Schmitz, Susanne</p> | <p>Gas Handbook, AGA AB, Lidingö, Sweden, 1985
Internetseite
AhrGeoTouren,
Am Kurgarten 52
53489 Bad Bodendorf
Telefon 02642/993021
Internet www.ahrgeotouren.de
Vortragsunterlagen</p> |
| <p>BUSE Gastek GmbH & Co. KG
Ebert, Artur, Dr.</p> | <p>Diverse Broschüren und Prospekte
Geologisches Gutachten über die Bodendorfer Thermal sprudel bei Bodendorf a. d. Ahr, 23.06.1930</p> |
| <p>European Industrial Gas Association
Fachverband Kohlensäureindustrie e. V.
Gebett, Adrian</p> | <p>Diverse Veröffentlichungen
Properties of Carbon Dioxide
Latest Developments in the use of atmosphere gases, Food review, 10/1984</p> |
| <p>Gerling Holz & Co</p> | <p>Gasebuch, GHC, Holz & Co. Handelsgesellschaft mbH, 5. Aufl., 1996</p> |
| <p>Gloger, Christof</p> | <p>Kohlenstoffdioxid – Gewinnung, Eigenschaften, Anwendungen, PdN-Ch 5/43, S. 7 - 11, Jg. 1994,</p> |
| <p>Gloger, Christof</p> | <p>Carbon dioxide, Physics - Technology - Properties, 3. International Carbon Dioxide Conference, Lecture Consensus Conference 1999, Freiburg</p> |
| <p>Gloger, Christof</p> | <p>Kohlendioxid oder Kohlensäure - Physik und Physiologie, Heilbad und Kurort, S. 42 - 44, 03/2000</p> |
| <p>Gloger, Christof</p> | <p>Eine besondere Anwendung für Kohlendioxid - Lagerung und Verpackung von Lebensmitteln, 4. International Carbon Dioxide Conference, Vortrag: Consensus Conference 2000, St. Moritz</p> |
| <p>Haffke, Jürgen</p> | <p>Träume und Alpträume?, Eine Chronik des Fremdensverkehrs in Bad Bodendorf, S. 7 - 16, 2002</p> |
| <p>Haffke, Jürgen; Bernhard Koll
Hansen, H., Prof.</p> | <p>Sinzig und seine Stadtteile - gestern und heute, Stadt Sinzig 1983,
Der Einsatz hoher CO₂-Konzentrationen bei Transport und Lagerung von Weichobst, Obstbau, 06/1986</p> |
| <p>Hartmann, Bernd, Dr.</p> | <p>Natürliche Kohlensäurequellen und Mofetten, Evidente Kurmittel – CO₂, Heilmittel und Arzneimittel, Heilbad und Kurort, S. 26 - 28, 11-12/2005</p> |
| <p>http://keepbanderabeautiful.org/
Krininger, Klaus-D.
Lenz, F., Dr., Prof.</p> | <p>Internetseite
Kohlendioxid - Kohlensäure - CO₂, Moderne Industrie, 1996
Wirkung steigender CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf die Nutzpflanzen, 45. Hochschultagung, Rhein. Friedrich Wilhelms Universität, Bonn 1993</p> |
| <p>http://www.lgb-rlp.de/mineralwasser.html
Stoffels, Matthias; Thein, Jean</p> | <p>Internetseite
Die Mineral- und Heilquellen der Region Brohltal/Laacher See, Koblenz, 2000</p> |



17. Impressum

Herausgeber:

Christof Gloger
In den Ahrwiesen 25
53489 Sinzig
cgloger.sin@t-online.de

Kontakt

Eckhard Hoffmann
Technikmuseum Bad Bodendorf
Bäderstraße 69
53489 Sinzig-Bad Bodendorf
technikmuseum.ahrco2@bad-bodendorf.de

Autor

Dipl. Oecotrophologe Christof Gloger

Geologische Beratung

Dipl. Geologin Susanne Brüning-Schmitz

Titelbild

Conny Fuhs

Erscheinungsjahr

2014

Druck

Druckerei Horst Dreesbach
Zehnerstraße 20
53498 Bad Breisig
info@druckerei-dreesbach.de

Bildrechte

BUSE Gastek GmbH & Co. KG
Christof Gloger, Sinzig
Daniela Gloger, Koblenz

Alle Rechte vorbehalten. Die Wiedergabe - auch teilweise - darf nur mit Genehmigung des Herausgebers erfolgen.

Mit freundlicher Unterstützung

durch

Dr. rer. pol. Dieter Thomae, MdB a. D., Bad Bodendorf



Rotary Club
Remagen-Sinzig

Rotary Club Remagen-Sinzig

Tulpenweg 5

53424 Remagen-Kripp

Telefon: 02642/44796



BRUNNEN - APOTHEKE

Brunnen-Apotheke

Frank Wegner

Bahnhofstrasse 9

3489 Sinzig - Bad Bodendorf

Telefon: 02642/41200

Fax: 02642/44023