

Salz



Salze in Deutschland

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover

Autor: Dr. Harald Elsner

Kontakt: Dr. Harald Elsner
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover
harald.elsner@bgr.de

Layout: Jolante Duba

Karten: Annegret Tallig

Stand: Juni 2016

ISBN: 978-3-943566-74-1 (Druckversion)
978-3-943566-73-4 (PDF)

Titelbild: Im Kalibergwerk Zielitz nördlich Magdeburg kommt ein Diesellader mit 17 t Schaufelinhalt zum Transport des durch Bohren und Sprengen gewonnenen Rohsalzes zum Einsatz, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Salze in Deutschland

Juni 2016



Inhaltsverzeichnis

<i>Einleitung</i>	4
<i>1 Übersicht und Definitionen</i>	5
<i>2 Entstehung und Alter</i>	9
<i>3 Verwendungsbereiche</i>	13
<i>4 Rohstoffanforderungen</i>	23
<i>5 In Abbau stehende Lagerstätten in Deutschland</i>	31
5.1 Steinsalz	32
5.2 Sole	38
5.2.1 Sole zur industriellen Nutzung	39
5.2.2 Sole für balneologische Zwecke	45
5.3 Siedesalz	55
5.4 Meersalz	59
5.5 Kalisalz	61
5.6 Magnesiumsalze	67
<i>6 Salzgewinnung und Tourismus</i>	69
<i>7 Wertschöpfung in der weiterverarbeitenden Industrie</i>	79
<i>8 Salze und Naturschutz</i>	85
<i>9 Gibt es noch genug?</i>	93
<i>10 Kleine komplizierte Produktionsstatistik der Salze</i>	97
<i>11 Weiterführende Literatur</i>	102

Einleitung

„Deutschland ist arm an Rohstoffen“. Dieser oft und immer wieder gehörte Satz entspricht in seiner Einfachheit so nicht der Wahrheit und muss stark relativiert werden.

Zwar produziert Deutschland derzeit nur verschwindend geringe Mengen an Metallerzen, kann aber auf ein großes Sekundärangebot an Metallen aus dem Recycling zurückgreifen. Auch bei den Energierohstoffen – Erdgas, Erdöl und Kohle – wird zumindest ein Teil noch in Deutschland produziert. Zudem verfügt unser Land weiterhin über bedeutende Vorräte an Braun- und Steinkohlen.

Noch wesentlich besser sieht es bei den Baurohstoffen und den Industriemineralen aus. Bei allen Baurohstoffen – Ton, Sand, Kies, Splitt, Gips/Anhydrit sowie Kalkstein für die Zementherstellung – ist Deutschland ein bedeutender Produzent, von Importen unabhängig und verfügt über weitreichende Vorräte.

Auch einige Industrieminerale, z. B. Quarzsand, Kaolin, Feld-, Fluss- und Schwerspat sowie Graphit, kommen in Deutschland vor, stehen in Abbau und reichen teils zur Deckung unseres eigenen Bedarfs.

Beim Wissen um die Gewinnung und Nutzung vieler nicht-metallischer mineralischer Rohstoffe ist Deutschland weltweit führend und deshalb in aller Welt ein sehr geschätzter Ansprechpartner. Besonders in den großen und viel eher mit Rohstoffen in Verbindung gebrachten Bergbauländern, wie Australien oder Kanada, fehlt dieses Wissen dagegen weitgehend und behindert deshalb dort die Entwicklung eigener Projekte.

Zu den nicht-metallischen mineralischen Rohstoffen, die wichtige wirtschaftliche Bedeutung besitzen und bei denen Deutschland vollständig von Importen unabhängig ist, gehören die Salze. Salze sind die natürlich auftretenden Verbindungen von Natrium, Kalium und Magnesium, wobei Steinsalz (Natriumchlorid) das bekannteste ist. Steinsalz kennt jeder, denn es ist „das Salz in der Suppe“. Aber genauso wichtig sind die Kalisalze, denn ohne Kalium können Pflanzen nicht wachsen. Ohne Kalidünger gäbe es daher praktisch keine Landwirtschaft in Deutschland – fast alles Gemüse und Obst müsste importiert werden.

Nimmt man Steinsalz nur zum Salzen oder es ist es noch für etwas anderes nützlich? Was ist das Besondere an den deutschen Kalisalzen? Welche Salze können aus den deutschen Salzlagerstätten überhaupt gewonnen werden? Warum gibt es in Deutschland Salz sowohl in den Alpen als auch an der Küste und in fast allen Bundesländern? Und welche Industrien sind dem Salzbergbau in Deutschland nachgelagert?

Diese und andere Fragen rund um die Industriemineralgruppe der Salze sollen in dieser Broschüre beantwortet werden.

Salze – Rohstoffe für die deutsche Industrie!

1

Übersicht und Definitionen

Ausreichend mächtige Salzlagerstätten werden weltweit durch Bergleute in Bergwerken (bergmännisch bzw. „untertage“) oder durch Lösung mit durch Bohrlöcher eingepresstes Wasser (sog. Aussolung) abgebaut. In Ländern, die nicht über fossile Salzlagerstätten verfügen, kann Salz auch durch Verdunstung in sog. Salzgärten aus „Salzpfannen“ an der Küste oder an Salzseen im Landesinneren gewonnen werden.

Deutschland ist dermaßen reich an Salzlagerstätten, dass eine Ernte von Salz aus Salzgärten an der Nordsee oder gar der Ostsee nicht notwendig ist. Auch die klimatischen Bedingungen in Norddeutschland sprechen gegen eine kommerzielle Nutzung von Meerwasser als Salzquelle. Nur in der Sylter Meersalzmanufaktur auf Sylt wird für Liebhaber Meersalz aus Nordseewasser produziert. Ähnlich beliebt bei Gourmets ist Fleur de Sel bzw. Flor de Sal (auf Deutsch „Salzblume“), ein besonderes Meersalz, das sich nur an heißen windigen Tagen als zarte Kruste in Meeresbuchten bzw. in Salzgärten formt. Es wird von Hand abgeschöpft und getrocknet, ist selten und daher auch teuer. Ein dem echten Fleur de Sel ähnliches Salz wird in der Saline Luisenhall in Göttingen produziert.

Generell sollen in dieser Broschüre nur die in Deutschland produzierten Salze näher betrachtet werden. Folgende Salze sind dabei zu unterscheiden:

Steinsalz ist bergmännisch, d. h. durch Bergleute untertägig gewonnenes Natriumchlorid. Häufig schon von Natur aus relativ rein wird Steinsalz, sofern erforderlich, noch aufgereinigt, um etwaige Verunreinigungen, wie Ton, zu entfernen. In verschiedenen Formen, meist aufgemahlen, kommt es dann in reiner Form in den Handel.

Steinsalz

Sole

Sole ist eine Lösung von Steinsalz oder auch anderen Salzen in Süßwasser. In Deutschland werden nur wässrige Salzlösungen, die mindestens 14 g gelöste Stoffe (genauer 5,5 g Natrium- und 8,5 g Chlorid-Ionen) in 1 kg bzw. 1 l Wasser enthalten, als Sole bezeichnet. Solch eine Sole ist 1,4%ig, während gesättigte Sole 26,4%ig ist. Gesättigte Sole enthält pro Kubikmeter 318 kg bzw. pro Tonne 264 kg Natriumchlorid. Mehr ist nicht möglich, dann kristallisiert das Salz aus.

Siedesalz

Siedesalz entsteht durch das Verdampfen des Wassers aus einer Sole in Salinen. Dies geschieht heute kaum noch durch Sieden der Sole in großen Pfannen, sondern energiesparend, z. B. durch Vakuumverdampfung oder Thermokompression. Hierbei entsteht ein hochreines Natriumchlorid.

Meersalz

Meersalz ist normalerweise ein in großen Salzgärten aus Meerwasser gewonnenes natürliches Mischsalz. Wie schon erwähnt, wird es in Deutschland nur auf der Insel Sylt aus mehrfach gereinigtem Nordseewasser produziert und in leicht feuchter Form ausschließlich zum Verfeinern von Speisen genutzt.

Kalisalz

Kalisalz ist eine Bezeichnung für verschiedene Kaliumsalze. In Deutschland sind dies vor allem Kaliumchlorid, aber auch Kalium-Magnesiumchlorid, und ein Kaliumchlorid-Magnesiumsulfat-Mischsalz. In Deutschland werden Kalisalze mit einer Ausnahme nur bergmännisch, in anderen Ländern aber ebenfalls in großem Stil durch Aussolung gewonnen.

Magnesiumsalz

Magnesiumsalze sind in deutschen Salzlagern nicht selten, wobei aus den verschiedenen Kalium-Magnesium-Salzmineralen und dem Magnesiumsulfatsalz reines Magnesiumchlorid und Magnesiumsulfat (umgangssprachlich Bittersalz) gewonnen werden.

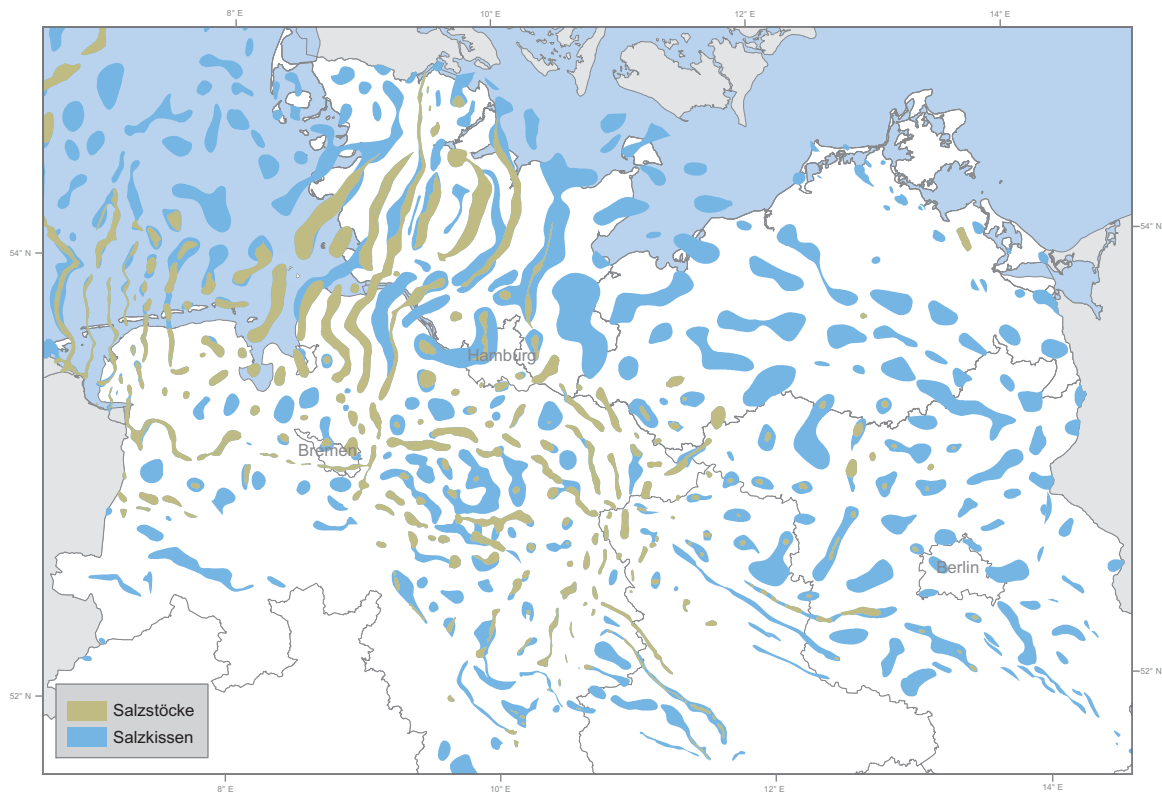




Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

2

Entstehung und Alter



Verbreitung von Salzstrukturen in Norddeutschland, Grafik: BGR, umgezeichnet nach REINHOLD et al. (2014).

In Deutschland gibt es außerordentlich große Salzlagerstätten, die besonders im norddeutschen Raum konzentriert sind. Die Ablagerung der Salze in einem flachen Teilbecken des damaligen Nordozeans über Jahrmillionen hinweg führte zur Ablagerung von mehreren 100 m mächtigen Salzschieben. Diese werden in Norddeutschland geologisch dem Zechstein, vor 257 bis 251 Mio. Jahren, zugerechnet und sind damit noch älter als die ersten Dinosaurier.

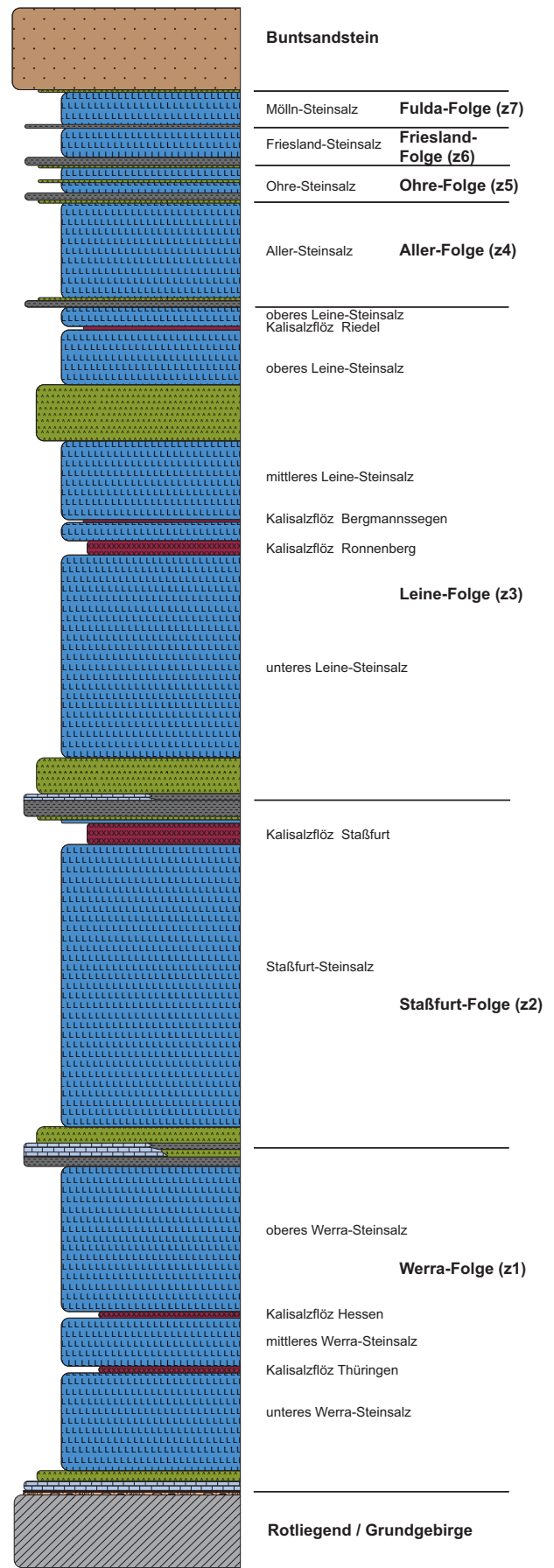
Dort, wo wasserundurchlässige Gesteinsschichten die Salzlager vor Wiederauflösung schützten, wurden die Salze allmählich bis in Tiefen von 3.000 – 5.000 m abgesenkt. Unter den hohen Druck- und Temperaturbedingungen in diesen Tiefen wurde das Salz plastisch verformbar. Sehr langsam, d. h. in geologischen Zeiträumen, drangen die ursprünglich horizontal lagernden Salzschieben bei Bewegungen der Erdkruste in Form von flachen und breiten Salzkissen bis hin zu pilz-

förmigen Salzstöcken wieder auf. Diese stehen heute mit ihrem „Hut“ oft nur 100 bis 200 m unter der Erdoberfläche an, was einen Salzabbau natürlich wesentlich erleichtert.

Bei der Salzablagerung im norddeutschen Zechstein-Meer im damaligen heißen und trockenen Klima (dieses Meer lag etwa 10 – 15° nördlich des Äquators) wurden die im Wasser gelösten Salze entsprechend ihrer Löslichkeit ausgeschieden. So wurden zuerst Kalziumkarbonat (Kalk) und Magnesium-Kalziumkarbonat (Dolomit), danach Kalziumsulfat (Gips und Anhydrit) und erst zum Schluss die leicht löslichen Chloride in Form von Steinsalz, Magnesium- und Kaliumchlorid sowie die Kalium-Magnesiumsulfate abgelagert. Dieser Vorgang wiederholte sich in Norddeutschland in sieben Zyklen, die aber aufgrund der Ablagerungsbedingungen nicht vollständig sein müssen und auch nicht überall vorkommen. Nur die Salzabfolgen der ersten drei Zyklen enthalten Kalisalzflöze.

Übrigens:

- Aus einer 1.000 m mächtigen Meerwassersäule entsteht bei vollständiger Verdunstung des Wassers eine Salzschrift von nur 15,75 m Dicke. Im Wendland, im Zentrum des damaligen Zechstein-Meeres, war die Salzfolge ursprünglich möglicherweise über 1.400 m mächtig, bei Hannover bis zu 1.200 m.
- Das Teilbecken, in dem sich das Salz damals ablagerte, war nicht viele Kilometer tief, sondern recht flach und senkte sich langsam ab. Immer wieder floss über Schwellen frisches Meerwasser zu, das dort verdunstete – die Salzschriften konnten so immer dicker werden.
- Kalium- und Magnesiumsalze fallen erst aus, wenn bereits 98 % des ursprünglichen Meerwassers verdunstet sind. In Deutschland erreichen die Kali(salz)flöze bis zu 40 m Mächtigkeit, in Falten innerhalb von Salzstöcken sogar bis zu 90 m.
- Die Salzstöcke in Norddeutschland enthalten überwiegend Steinsalz; häufig begleiten aber auch Kalisalzflöze die Steinsalzschriften. Magnesiumsalze finden sich wiederum nur in Vergesellschaftung mit den Kalisalzen.



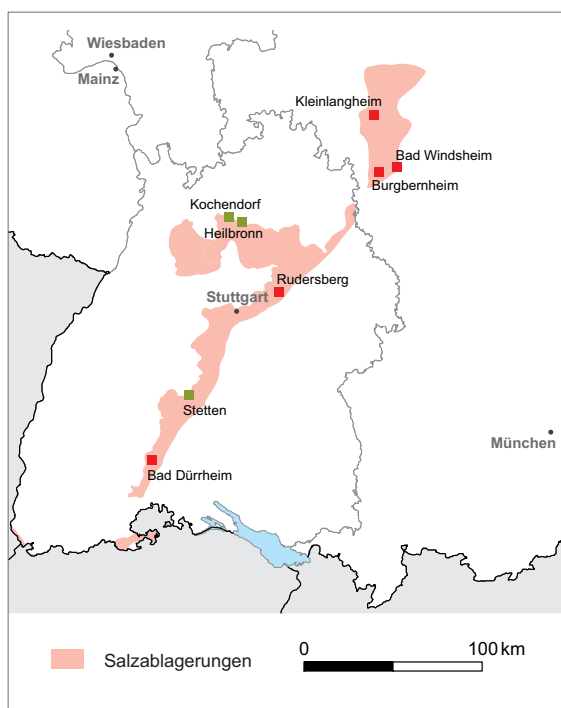
Schematische Gliederung des norddeutschen Zechstein mit Namen der Salzhorizonte, Grafik: BGR.



Gewinnungsstellen von Salz in den bayerischen und österreichischen Alpen. Nur in Bad Reichenhall und Berchtesgaden wird auch heute noch Salz gewonnen, Quelle: REINHOLD et al. (2014).

Ähnlich alt wie das Salz in Norddeutschland ist das Salz, das seit Jahrtausenden in den nördlichen bayerischen und österreichischen Alpen gewonnen wird. Lange vor Entstehung der Alpen gab es hier, umgeben von Wüsten – ähnlich dem Roten Meer heute – einen Meeresarm, in dem immer mal wieder Steinsalz ausfiel. Im Rahmen der Alpenbildung wurden diese Salze mit anderen Ablagerungen vermischt, ausgewalzt und stark zerbrochen. Zurück blieb ein durch Steinsalz verkittetes Trümmergestein aus Ton, Gips und Dolomit, das sog. „Haselgebirge“. Dieses erlaubt nur an sehr wenigen Stellen einen wirtschaftlichen bergmännischen Abbau, aber lokal zumindest eine Aussohlung.

Rund 10 Mio. Jahre später, im geologischen Zeitalter des Mittleren Muschelkalk, vor rund 240 bis 239 Mio. Jahren, kam es nicht nur erneut in Norddeutschland, sondern auch in Teilen Thüringens und Süddeutschlands zur Salzausfällung. Damals wurde erstmals in Baden-Württemberg und dem angrenzenden Nordwest-Bayern ein Teilbecken des damaligen großen Weltozeans Tethys von der Frischwasserzufuhr abgeschnitten und neben reichlich Anhydrit fiel auch Steinsalz aus. Zur Ablagerung von Kalisalzen kam es aber nicht, dafür ging die Eindampfung des Meerwassers nicht weit genug. Auch Salzstöcke haben sich in der nachfolgenden Erdgeschichte in Süddeutschland nicht gebildet.



Die zu anderen geologischen Zeiten in Deutschland abgelagerten Salze, so

- vor 270 – 260 Mio. Jahren im Elbmündungsgebiet und in Schleswig-Holstein,
- vor rund 244 Mio. Jahren in Norddeutschland und in Thüringen,
- vor 232 – 229 und 224 – 221 Mio. Jahren in Teilen Norddeutschlands,
- vor rund 145 Mio. Jahren im südwestlichen Niedersachsen und
- vor 41 – 31 und 23 Mio. Jahren im Oberrheingraben,

werden derzeit nicht abgebaut und daher in dieser Broschüre nicht näher beschrieben.

Verbreitung von Salzablagerungen des Mittleren Muschelkalk in Süddeutschland, in grün: Steinsalzbergwerke, in rot: Förderung von Bädersonnen, Grafik: BGR, umgezeichnet nach REINHOLD et al. (2014).

3

Verwendungsbereiche

Die in Deutschland gewonnenen Salze finden verschiedene, oft ganz unterschiedliche Verwendungszwecke:

Natriumchlorid ist ein unverzichtbarer Bestandteil unseres Lebens und besonders vielseitig einsetzbar. Es steuert die Erregbarkeit von Nerven und Muskeln und reguliert unseren Wasserhaushalt. Ein Liter menschliches Blut enthält 9 g Natriumchlorid. Bereits der große deutsche Chemiker und Pionier des künstlichen Mineraldüngers JUSTUS VON LIEBIG (1803 – 1873) würdigte daher die elementare Bedeutung von Natriumchlorid mit dem Satz: „Salz ist unter allen Edelsteinen, die uns die Erde schenkt, der Kostbarste.“

Natriumchlorid ist das in unserer Küche für die menschliche Ernährung verwendete Salz, kurz Kochsalz oder **Speisesalz**. Es wurde früher teuer bezahlt und durch den Handel mit Speisesalz, dem „weißen Gold“, wurden viele Städte reich und wohlhabend. Speisesalz dient zum Würzen vieler Lebensmittel und Speisen. Ohne „Salz in der Suppe“ schmecken Speisen meist fad. Zudem verringert die Gegenwart von Speisesalz die „Löslichkeit“ von organischen Gewürzen wie Pfeffer, Paprika oder Knoblauch und erhöht dadurch deren Wahrnehmung im Geschmack.

Außer zum individuellen Würzen ist Speisesalz zudem bei der Lebensmittelherstellung unentbehrlich. Hierzu zählt das Pökeln von Fleisch, die Fleisch-, Fisch- und Gemüsekonservierung, die Herstellung von Suppen, Soßen, Dressings, Marinaden, Gewürzmischungen, Brot, salzigen



Viel Salz hilft viel, meint zumindest dieser Koch, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Backwaren (z. B. Laugenbrezeln), Milch-, Käse-, Wurst- und Fleischprodukten, Fertiggerichten und Konserven.

Der tägliche Bedarf eines Menschen an Speisesalz beträgt je nach Statur und klimatischem Umfeld zwischen mindestens 3 bis 6 g und höchstens 16 bis 20 g. Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt eine Salzzufuhr von 5 g für Erwachsene. Daraus ergibt sich ein individueller Jahresbedarf von 1,8 bis 6,4 kg Speisesalz pro Person.

Genauso wie der Mensch benötigen auch Tiere Salz für ihre Ernährung. Tiere in freier Wildbahn suchen sich ihre Salzquellen selbst und sorgen für das Gleichgewicht in ihrem Natriumhaushalt. Nutztiere (Rinder, Pferde, Schafe, Ziegen, Schweine) benötigen dagegen zusätzliches Natrium, um den Mangel aufgrund eines ungenügenden Natriumgehalts der üblichen Futterpflanzen auszugleichen. Natrium erhält unter anderem den osmotischen Druck in den Zellen aufrecht, es reguliert den Wasserhaushalt und spielt für die Impulsübertragung im Nervengewebe sowie die Erregungsleitung in den Muskelfasern eine herausragende Rolle. Viehsalz fördert die Verdauung, die Fruchtbarkeit, die körperliche Entwicklung und die Kondition der Tiere. Salz als **Futtermittel** sowohl für Wild- als auch für Nutztiere wird in Form von Lecksteinen oder in Futtermittelmischungen angeboten. Vor allem an Lecksteinen bedienen sich die Tiere instinktiv gemäß ihrem individuellen Bedarf.

Auftausalz ist eine besonders wirksame Mischung aus feinen und groben Salzkristallen. Während die feinen Kristalle für eine schnell einsetzende Tauwirkung sorgen, garantieren die gröberen Kristalle die erforderliche Langzeitwirkung bei dickeren Eis- und Schneeschichten.

Für Straßenmeistereien kann bei extremen klimatischen Bedingungen zudem ein sofortiger und umfassender Tautvorgang wichtig sein. Dies wird durch Befeuchten des Auftausalzes mit einer Salzlösung, genauer einer konzentrierten Natriumchlorid-, Kalziumchlorid- oder auch Magnesiumchlorid-Sole erreicht. In modernen, elektronisch geregelten Dosiereinrichtungen von Streufahrzeugen werden erst kurz vor dem Aufbringen 70 % Auftausalz mit 30 % Sole vermischt. In den letzten Jahren wurde zunehmend die reine Flüssigstreuung (100 % Salz-Sole) getestet und in den Winterdienst integriert.



In modernen Streufahrzeugen kommen ergänzend Auftausalz und Sole zum Einsatz, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Die Wasserhärte des Leitungswassers variiert in ganz Deutschland, je nachdem woher das Wasser ursprünglich stammt. Grundwasser aus kalksteinreichen Gebieten ist dabei besonders hart, da es besonders viele der Härtebildner Kalzium und Magnesium (bzw. deren Ionen) enthält. Für zahlreiche industrielle Prozesse, aber auch in privaten Haushalten, ist jedoch weiches Wasser von Vorteil. Hartes Wasser reduziert die Waschwirkung von Waschmitteln, führt zur Bildung unerwünschter Kalkflecken oder gravierender zur Verkalkung bzw. Kesselsteinablagerung in Rohrleitungen und Apparaten.

Zur notwendigen **Wasserenthärtung** hat sich seit vielen Jahren das Ionenaustausch-Verfahren bewährt. Hierbei strömt das Wasser durch einen Behälter, der ein Kationenaustauscherharz enthält. In diesem werden vorwiegend die Kalzium- und Magnesiumionen gegen eine äquivalente Menge Natriumionen getauscht und das Wasser wird dadurch weicher. Die Regenerierung eines erschöpften Kationenaustauscherharzes erfolgt mit einer 8 – 12%igen Natriumchlorid-Lösung (Regeneriersalz). Bei der Regenerierung wird die vom Ionenaustauscherharz aufgenommene Härte (Kalzium- und Magnesiumionen) gegen die Natriumionen der Salzlösung wieder ausgetauscht und die Enthärtung kann fortgesetzt werden.

In Privathaushalten und Gaststätten sind alle Geschirrspüler mit solchen Kationenaustauschern ausgestattet. Das in den Geschirrspüler einzufüllende Salz dient also der Regeneration des eingebauten Kationenaustauscherharzes. Zudem wird durch Geschirrspülsalz die Geschirrspülmaschine vor Kalkablagerungen geschützt und die Reinigungsleistung erhöht.

Bei größeren Wasserenthärtungsanlagen, z. B. für Hotels, Krankenhäuser oder Wäschereien, erfolgt die Regeneration dagegen oft automatisch und in festen Zeitintervallen, abhängig von der Menge des verbrauchten Wassers oder von der Qualität des aufbereiteten Wassers.

Neben Salz als Futtermittel und für die Wasserenthärtung kommt **Gewerbesalz** in zahlreichen anderen Bereichen von Industrie und Handwerk zum Einsatz:

- Salz ist das wichtigste und älteste Konservierungsmittel für Fisch. Das heute in Deutschland produzierte reine und weiße **Fischeisalz** ist speziell geeignet für verschiedene gewerbliche Anwendungen in der Fischindustrie. Es dient dem Trocken- und Nasssalzen von Fisch, der Konservierung von Fischteilen und als Garungsmittel. Es eignet sich ebenfalls zur

Herstellung von künstlicher Sole, die als Würzmittel für Marinaden und Aufgüsse verwendet wird.

- Bei der **Konservierung von Tierdärmen** für die fleischverarbeitende Industrie, d. h. für Würsthüllen, spielt Salz eine wesentliche Rolle. Frische Tierdärme müssen mit einem qualitativ hochwertigen, reinen Salz bearbeitet werden, um sie für die Weiterverarbeitung optimal vorzubereiten. Geschmack, Farbe und Qualität der späteren Würste dürfen nicht beeinträchtigt werden.
- **Häutesalz** wird für die Erstbehandlung von Tierhäuten (Rinder-, Kalbs- und Schweinehäute) und Pelzen sowie beim Gerben von Leder verwendet. Salz konserviert frisch abgezogene Felle, entwässert sie, hemmt eventuelles Bakterienwachstum, verhindert zuverlässig den Verfall und erlaubt erst dadurch eine Lagerung. Außerdem bereitet es das wertvolle Material auf die Weiterverarbeitung vor.
- In der Textilindustrie wird **Färbesalz** bei der Herstellung, Verarbeitung und Veredelung von Geweben und Stoffen verwendet, wie zum Beispiel für das Färben von Baumwolle oder das Bedrucken von Stoffen. Färbesalz bewirkt, dass die Farbe das Gewebe vollständig durchdringt, besser gebunden wird und so für den entsprechenden Färbevorgang sorgt.
- Salz ist auch bei der Herstellung von **Seife** unabdingbar. Seifen werden in der Regel aus pflanzlichen oder tierischen Fetten hergestellt. Zur Herstellung werden diese mit einer Lauge gekocht („Verseifung“). Die beim Kochen erhaltene zähflüssige Emulsion wird Seifenleim genannt und mit Natriumchlorid-Lösung versetzt. Dabei trennt sich beim sog. „Aussalzen“ die Emulsion in den aufschwimmenden Seifenkern und eine Unterlauge, die hauptsächlich überschüssige Lauge, Glycerin und gelöstes Kochsalz enthält. Der Seifenkern wird abgetrennt und gereinigt. Erneute „Aussalzung“ führt dann zur Kernseife, dem Ausgangsprodukt der uns bekannten Handseifenstücke. Übrigens: wird mit Kaliumsalzen gearbeitet, erhält man stattdessen Schmierseife.
- Zum Transport von in Kältemaschinen erzeugter künstlicher Kälte, werden **Kühlsolen** als Kälte-träger verwendet. Mit Kühlsolen wird zum Beispiel das brüchige Gestein um Bohrlöcher oder Tunnelbauten stabilisiert (Gefrierverfahren). Der tiefste Gefrierpunkt einer Kühlsole aus Wasser mit Natriumchlorid liegt bei



–21,1 °C. Kühlsolen mit anderen, dann aber teureren Salzen, gefrieren sogar noch wesentlich tiefer.

- **Kältemischungen** sind Stoffgemische, die sich beim Vermischen abkühlen. Beim Einmischen von Salz in Wasser kühlt sich dieses stark ab, weil Energie benötigt wird, um die Kristallstruktur des Salzes aufzubrechen. Dieser Effekt kann bei der Abkühlung von Getränken oder der Eisherstellung genutzt werden, da sich diese Flüssigkeiten ebenfalls abkühlen, wenn es das umgebende Wasserbad tut.



Ohne Salz keine Seife, Foto: BGR.

- Salz ist ein wichtiger Bestandteil von **Bohrspüllösungen**. Diese haben die Aufgabe, den Bohrkopf während des Bohrvorganges zu schmieren und zu kühlen, das Bohrklein an die Oberfläche zu fördern und das Bohrloch zu stabilisieren. Sowohl bei der Erkundung wie auch bei der Förderung von Erdöl und Erdgas ist der Einsatz von Salz daher unverzichtbar.



Bohrmeißel an Bohrköpfen müssen beim Bohren durch salzhaltige Bohrspüllösungen gekühlt und geschmiert werden, Foto: BGR.



Im Meerwasseraquarium von Barcelona in Spanien, Foto: Paul Hermans / Wikipedia.



Infusionslösungen ersetzen das im Krankheitsfall vom Körper benötigte Natriumchlorid, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Ohne Soda keine heutigen Waschmittel, Foto: Solvay GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Auch in der **Aquaristik** kommt Salz bzw. Sole zum Einsatz, wo es zur Einstellung des Salzgehalts in Meerwasseraquarien dient. In Teichen hilft eine geringe Salzkonzentration im Wasser den Fischen, ihre Belastung durch Stress zu verringern, wenn sie beispielsweise einen langen Transport hinter sich haben oder in einen neuen Teich umgesiedelt werden. Ein bestimmter Salzgehalt trägt zu mehr Mobilität und Aktivität bei trägen Fischen bei. Darüber hinaus wird die Schleimhautbildung angeregt und Krankheiten vorgebeugt. Parasiten werden durch Salzzugabe bekämpft und die Algenbildung gehemmt.

Salz auf Natriumchloridbasis ist auch in der **Pharma- und Medizinindustrie** ein wichtiger Grundstoff. Mit Hilfe von Pharmasalz werden neben Dialyse- und Infusionslösungen auch eine Vielzahl von Medikamenten, diätetischen Lebensmitteln sowie Kosmetik-, Pflege- und Wellnessprodukten hergestellt.

Der mit weitem Abstand größte Nutzer von Salz in Deutschland ist die **chemische Industrie**. Natriumchlorid ist Ausgangsrohstoff für die Herstellung von Natronlauge und Chlor in der Chloralkali-Elektrolyse. Natronlauge wird zur Produktion verschiedener anorganischer Salze, Chemikalien und von Aluminium benötigt. Es ist Bestandteil vieler Reinigungsmittel im Haushalt (Abflussreiniger), in der Nahrungsmittelindustrie, in der Landwirtschaft, in Käsereien und Imkereien. Chlor ist eines der wichtigsten Grundchemikalien unserer Tage und zählt zu den am meisten produzierten Chemikalien weltweit. Das bekannteste Endprodukt, das Chlor enthält, ist PVC – Polyvinylchlorid. Zahllose andere Kunststoffe, Arzneimittel, Pestizide, Desinfektions- und Lösungsmittel werden in chemischen Reaktionen gefertigt, für die Chlor benötigt wird oder enthalten selber Chlor, wie z. B. Chloroform.

Natriumchlorid ist ebenfalls Ausgangsprodukt für die Herstellung von Natriumkarbonat (Soda) nach dem 1863 erfundenen Solvay-Verfahren. Natriumkarbonat ist eines der am vielseitigsten verwendbaren chemischen Produkte und ist unabdingbar für die Herstellung von Glas, beim Recycling von Altpapier und für die Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln. Bei der Eisen- und Stahlherstellung dient es der Entschwefelung. Die weiterverarbeitende chemische Industrie setzt Soda zur Herstellung einer Vielzahl von Produkten, darunter

Bleichmitteln, Farben, Füllstoffen, Leim- und Klebstoffen ein.

Ausgangsprodukt in der chemischen Industrie für die Herstellung von Natronlauge, Chlor und Soda aus Natriumchlorid ist stets eine gesättigte Natriumchlorid-Lösung, also idealerweise eine natürliche Sole. Auch Stein- oder Siedesalz ist geeignet, muss dann aber zuerst in Wasser aufgelöst werden.

Die von der chemischen Industrie im Großen genutzte Chloralkali-Elektrolyse wird ähnlich auch im Kleinen angewendet und zwar zur Wasserentkeimung (Chlorung) von verunreinigtem Trinkwasser, in öffentlichen Schwimmbädern, Wellnessanlagen und privaten Pools. Prinzip ist, dass Natriumchlorid in einer Elektrolysezelle zu Natriumhypochlorit umgewandelt wird, das ein stark wirkendes Desinfektionsmittel ist. Natriumhypochlorit heftet sich an im Wasser befindliche Mikroorganismen und zerstört diese.

Von dem in Deutschland verbrauchten Natriumchlorid werden ca. 3 % als Speisesalz, 6 – 8 % als Gewerbesalz, je nach Winterstrenge 12 – 25 % als Auftausalz und 70 – 80 % als Industriesalz, letzteres von der chemischen Industrie, genutzt.

Rund 95 % des aus den Kalisalzen gewonnenen Kaliumchlorids wird zur **Düngung** verwendet, entweder allein als Einzeldünger oder zusammen mit anderen wichtigen Nährstoffen, wie Magnesium, Schwefel, Stickstoff und Phosphat, als Misch- oder Volldünger. Das Element Kalium, auf das es im Kaliumchlorid ankommt, ist für Pflanzen unverzichtbar und erfüllt in ihnen vielseitige Funktionen. Kalium beeinflusst die Photosynthese, die Bildung von Kohlenhydraten und Zucker, den Transport von Zucker und Stärke aus den Blättern zu den Speicherorganen (Knollen, Körnern, Wurzeln etc.), eine produktive Wassernutzung und die Erhöhung der natürlichen Widerstandskraft gegen Krankheiten, Schädlinge sowie Trockenheit und Frost.

Neben Düngemittelrohstoff ist Kaliumchlorid auch Ausgangsstoff für die **Chloralkali-Elektrolyse** zur Gewinnung von Chlor und Kaliumhydroxid (Ätzkali, Kalilauge) sowie deren Folgeprodukten, wie beispielsweise Kaliumkarbonat (Pottasche) oder Kaliumperchlorat. Auch diese haben wieder zahlreiche Verwendungszwecke, wie die Herstellung von Schmierseifen oder auch Sprengstoffen.



Stark genutzte Schwimmbäder kommen ohne Chlorung zur Wasserdesinfektion nicht aus, Foto: Wi1234 / Wikipedia.



Ohne Düngung mit Kalidüngern ist Landwirtschaft in Deutschland nicht mehr denkbar, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Natriumchlorid (in weiß) und Kaliumchlorid (in rosa), Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Im Gegensatz zu vielen anderen Feldfrüchten lieben Zuckerrüben chloridische Düngemittel, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Kaliumchlorid dient weiterhin zur Herstellung anderer kaliumhaltiger Salze, ist Bestandteil von Schmelzsalmischungen und Härtesalzen, Leitsalz in der Galvanik und Elektrolyt bei der Schmelzflusselektrolyse anderer Metalle. Auch in zahlreichen anderen industriellen Anwendungen kommt Kaliumchlorid zur Anwendung.

Kalium ist ein lebenswichtiger **Mineralstoff**, der gemeinsam mit Natrium für einen ausgewogenen Flüssigkeitshaushalt der Zellen im menschlichen Körper sorgt. Bei einer Unterversorgung können Erschöpfung, Muskelschwäche, Verstopfungen, Bewusstseinsstörungen oder auch Herzrhythmusstörungen auftreten. Da Kalium vom Organismus nicht selbst gebildet werden kann, ist eine Aufnahme durch die Nahrung zwingend notwendig. Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt eine Kaliumzufuhr von 3,5 g für Erwachsene täglich. Die **Lebensmittelindustrie** kann verarbeitete Lebensmittel mit Kaliumchlorid anreichern und reduziert so gleichzeitig den Anteil von Natriumchlorid. Für Leistungssportler und an Durchfall Erkrankte bietet die Industrie zudem hochreines Kaliumchlorid als Zusatz für Nahrungsergänzungsmittel an.

Kaliumsulfat und **Kalium-Magnesiumsulfate** werden größtenteils in **Düngern** verwendet, die im Anbau von chloridempfindlichen Pflanzen benutzt werden. Hierzu zählen z. B. Stärkekartoffeln, alle Beerenarten, Kern- und Steinobst, Hopfen, Gurken und Salat oder auch im Ausland Tabak, Pfeffer und Zitrusfrüchte. Kaliumsulfat ist international ein sehr beehrter Rohstoff und weltweit enthalten nur die deutschen Kalilagerstätten den Ausgangsrohstoff Magnesiumsulfat, aus dem es in einem chemischen Prozess hergestellt werden kann.

Magnesiumchlorid ist Grundstoff zur Herstellung von Magnesiummetall. Dies ist jedoch ein sehr energieintensiver Prozess, der in Deutschland aufgrund der hohen Energiepreise nicht wirtschaftlich ist. Bei uns ist vielmehr der Einsatz von Magnesiumchlorid in Form von Sole im Winterdienst (s. o.), für die Körnerbildung in Düngern und die Herstellung spezieller Estriche von Bedeutung. Auch in der Zuckerrübenindustrie wird Magnesiumchlorid zur Bearbeitung der Melasse benötigt.

Rund 80 % des produzierten **Magnesiumsulfats** findet Verwendung als Magnesiumquelle für Pflanzen in **Düngemitteln** und findet eine breite Anwendung bei zahlreichen landwirtschaftlichen Kulturen.

Magnesiumsulfat wird in unterschiedlichen Bereichen der **Pharma-** und **Lebensmittelindustrie** erfolgreich eingesetzt und vor allem bei der Herstellung von Arzneimitteln aber auch Injektions- und Infusionslösungen, Nahrungsergänzungsmitteln, Antibiotika, Insulin und Dialyselösungen verwendet.

In der **organischen Chemie** dient getrocknetes Magnesiumsulfat dagegen als Trocknungsmittel. Wegen seiner Wasserbindfähigkeit entzieht es wasserhaltigen Flüssigkeiten, z. B. Lösemitteln, das Wasser und bindet dieses, während die Flüssigkeiten wasserfrei zurückbleiben.

Neben seiner Verwendung als wertvolles Industriemineral hat Salz noch zwei ganz andere, aber ebenfalls wichtige Nutzungsmöglichkeiten:

Für die Verarbeitung von Zuckerrüben in Zuckerfabriken wird Magnesiumchlorid benötigt.



Da Salzgestein abdichtend, trocken und über lange Zeit standfest ist, können künstlich geschaffene Hohlräume im Salz, sog. Kavernen, zur Speicherung von Druckluft, Erdgas, Rohöl oder Mineralölprodukten verwendet werden. Hierzu soll man meist große Hohlräume in mächtigen Steinsalzlager gezielt aus und nutzt sie danach zur sog. Kavernenspeicherung. Von den hierfür vorgesehenen Salzkavernen Deutschlands werden derzeit an 31 Standorten 258 zur Gasbevorratung und an zwölf Standorten 103 Kavernen zur Speicherung von Rohöl und Mineralölprodukten genutzt. Im niedersächsischen Huntorf dient eine weitere Kaverne zur Druckluftspeicherung.

Bergmännisch abgebaute Hohlräume im Salz, die die notwendigen standorttechnischen Eigenschaften erfüllen, können zur Deponierung umweltge-

fährlicher Reststoffe oder Abfälle genutzt werden. Sie sind im Idealfall durch das umgebende Salz und zusätzlich abdichtende Deckgesteine von der Biosphäre abgeschlossen. Derzeit sind in Deutschland fünf Untertagedeponien in Salz zugelassen.

Sind die Abfälle nur gering belastet, können sie auch als sog. Versatzmaterial die langfristige Stabilität der untertägigen Hohlräume unterstützen. Die Abfälle werden dazu entweder direkt in große Abbaukammern lose eingebracht und verdichtet oder zuerst in riesige Säcke („Big-Bags“) verpackt und dann dicht an dicht in Hohlräume eingestapelt oder aber auch in Form von dicken Schlämmen in Hohlräume eingepresst. Diese Form der Untertageverwertung wird derzeit in 13 Salzbergwerken in Deutschland praktiziert.



Deponierung von stark belasteten Abfällen in einem bereits abgebauten Teilbereich des Salzbergwerks Zielitz in Sachsen-Anhalt, Foto: K+S Entsorgung GmbH (mit frdl. Genehmigung).

4

Rohstoffanforderungen

Alle untertägig geförderten Rohsalze enthalten unterschiedliche Salzminerale in mehr oder weniger Verwachsung. Um sie nutzen zu können, müssen die groben, durch die verschiedenen Abbauverfahren gewonnenen Salzbrocken zuerst einmal zerkleinert und aufgemahlen werden, was aber aufgrund der geringen Härte der Salzminerale technisch nicht schwierig ist. Hierbei muss der Anteil an Feinsalz ($< 0,1$ mm) jedoch immer so niedrig wie möglich gehalten werden, um Probleme bei der späteren Verarbeitung zu vermeiden.

Zur eigentlichen Aufbereitung, d. h. Trennung, Säuberung und ggf. Trocknung der Salzminerale, stehen der Industrie inzwischen zahlreiche unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Störende Minerale wie Anhydrit, Gips oder Tone werden von Natriumchlorid mit Hilfe von sog. Zyklonen abgetrennt. Die Abtrennung von Kaliumchlorid von Natriumchlorid erfolgt am häufigsten mittels der sog. Flotation in einer speziellen Flüssigkeit. Vorteile der sog. elektrostatischen Aufbereitung sind dagegen ein geringer Energieverbrauch, ein hohes Ausbringen, ein geringerer Anfall von Salzabwasser und eine geringe korrosive Beanspruchung der Anlagen.

Als Lebensmittel unterliegt **Speisesalz** den lebensmittelrechtlichen Vorschriften. Eine zertifizierte und garantierte Qualität ist daher für alle deutschen Speisesalzhersteller unverzichtbar. Speisesalz muss $> 97,0$ % Natriumchlorid, < 2 % Kalzium und Magnesium, < 4 ppm Schwermetalle, $< 1,6$ ppm Eisen und < 1 ppm Arsen enthalten. Hochreines Speisesalz, wie es in Deutschland größtenteils im Handel ist, enthält meist 99,8 oder 99,9 % Natriumchlorid. Es wird in verschiedenen Körnungen und Verpackungsgrößen angeboten

Bad Reichenhaller Salz gibt es wahlweise mit Jod, Fluorid oder Folsäure, als Kräuter- oder Gewürzsalz, Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).



Aufbereitung von Kalisalzen durch Flotation im Kaliwerk Zielitz, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

und kann mit einer Vielzahl aktiver Zusatzstoffe, zum Beispiel

- Jod (15 – 25 mg Jod in Form von Natrium- oder Kaliumjodat pro kg Salz) gegen Jodmangel,
- Fluorid (maximal 310 mg Fluorid in Form von Natrium- oder Kaliumfluorid pro kg Salz) zur Kariesprophylaxe,
- Folsäure gegen Fehlbildungen des Ungeborenen in der Schwangerschaft und bei Arteriosklerose
- Natriumnitrit (z. B. 0,4 – 0,5 % Natriumnitrit pro kg Salz) zur gewünschten Rötung („Umrötung“) des Fleisches beim Pökeln (Pökelsalz),
- Kalziumkarbonat (Kalk), Magnesiumkarbonat, Natriumkarbonat, Aluminiumoxid, Silikate oder Natrium-, Kalium- oder Kalziumhexacyanidoferrat(II) (max. 20 mg Hexacyanidoferrat pro kg Salz) als Trenn- bzw. Rieselhilfe



angereichert werden. Eine Rieselhilfe ist notwendig, da normales Speisesalz hygroskopisch ist, d. h. es wird an der Luft feucht und verklumpt. Diese aus Salzstreuern in Restaurants bekannte Hygroskopie beruht nicht auf dem Natriumchlorid, sondern auf geringen Verunreinigungen, zum Beispiel von Magnesiumchlorid im Salz. Zur Herstellung von Lebensmitteln gemäß EG-Ökolandbau Verordnung 834/2007 geeignetes Speisesalz ist dagegen frei von jeglichen zugesetzten aktiven Substanzen, jedoch sind Trennhilfen zugelassen.

Für eine natriumreduzierte Ernährung werden verschiedene Salze angeboten. So enthält Balance® Salt 50 % Natriumchlorid, 44,5 % Kaliumchlorid sowie 4 % Magnesiumsulfat, Kalziumkarbonat und Magnesiumhydroxidkarbonat. Das ähnliche Disal® enthält 50 % jodiertes Natriumchlorid, 40 % Kaliumchlorid, 5 % Magnesiumsulfat, 3 % Kalziumkarbonat und 2 % Magnesiumkarbonat.

Auch Biokräuter, Kräuter und andere Gewürze können Salz gut beigemischt werden. Verbreitete Gewürzsalze sind Kräutersalz, Wildkräutersalz, Knoblauchsatz, Bärlauchsatz, Zwiebelsatz und Selleriesatz, Universalmischungen wie „Ideal-Würze“, Brotzeitsatz und Spezialmischungen wie Tomaten-Würzsalz (mit Kräutern), Hähnchen-Würzsalz oder Pommes-Frites-Würzsalz für bestimmte Gerichte. Nach den Leitsätzen des Deutschen Lebensmittelbuchs muss Gewürzsalz 40 – 85 % Salz und mindestens 15 % Gewürze oder Kräuter enthalten.

Salz als **Futtermittel** ist in Form von Viehsatz für Futtermischungen oder Lecksteinen auf dem Markt. Viehsatz zur Futterbeimischung gibt es in verschiedenen Korngrößen und mit > 97,5 % Natriumchlorid aus Stein- oder Siedesatz. Wahlwei-

se ist eine Rieselhilfe beigefügt. Zur Vorbeugung von ernährungsbedingten Mangelerkrankungen kann eine Jodierung erfolgen. Zum Teil wird auch Kalziumstearat als Verarbeitungshilfsstoff in der Lecksteinpresse zugesetzt.

Salzlecksteine werden aus reinem Stein- oder Siedesatz nach einem speziellen Pressverfahren hergestellt. Sie besitzen 2 – 25 kg Gewicht. Folgende Mineral-Lecksteine sind neben reinen Salzlecksteinen aus > 92 %, meist > 99 % Natriumchlorid auf dem Markt:

- Für alle Wild- und Nutztiere, nicht aber Schafe, Lecksteine mit Zusatz von Kalzium-Magnesiumkarbonat sowie den Spurenelementen Zink, Mangan, Jod, Kupfer und Selen.
- Für Schafe, die nur über eine begrenzte Ausscheidungsfähigkeit von Kupfer verfügen, Lecksteine mit Zusatz von Kalzium-Magnesiumkarbonat sowie den Spurenelementen Zink, Mangan, Eisen, Jod und Selen.
- Für Jungvieh in der Wachstumsphase, Mütterkühe, Sportpferde oder Weidetiere in bestimmten Gebieten (z. B. Almweidung) mit mineralarmer Umgebung Lecksteine mit Zusatz von Kalzium-Magnesiumkarbonat sowie hohen Gehalten der Spurenelemente Zink, Mangan, Eisen, Jod, Kupfer und Selen.
- Für Wildtiere, die sich sonst eventuell im Winter an Auftausatz an Straßenrändern bedienen würden, ein Leckstein aus 99 % Natriumchlorid mit Apfelaroma.

Neben gepressten Salzlecksteinen werden auch sogenannte Naturbruch-Salzlecksteine vermarktet, die insbesondere gerne auf Weiden und für Wildtiere eingesetzt werden.



Optimales **Auftausalz** muss heute gemäß den Technischen Lieferbedingungen für Streustoffe (TL-Streu) in Form eines breiten Kornspektrums sowohl feine als auch grobe Salzkristalle beinhalten und eine geringe Feuchte besitzen. Es sollte lange lagerfähig und sehr rieselfähig sein. Auftausalz enthält mindestens 96 %, meistens aber in Deutschland > 98 % tauwirksames Natriumchlorid. Vor allem gegenüber Speisesalz sind zudem deutlich erhöhte Mengen an Rieselmitteln zugelassen, genauer bis zu 100 mg Natriumferrocyanid pro kg Salz.

Die zum sofortigen Auftauen von Eis durch Winterdienste eingesetzte Salzlösung ist eine 20 – 30%ige Magnesiumchlorid-Lösung oder wahlweise auch eine 21 – 26%ige Natriumchlorid-Sole.

Geschirrspülsalz ist ein kompaktiertes Siedesalz mit besonders hohem Natriumchloridgehalt von > 99,9 %. Es löst sich einfach und rückstandsfrei in Wasser auf und enthält auf Wunsch der Geschirrspülmaschinenhersteller nur sehr geringe Korngrößenanteile < 0,5 mm.

Sowohl für den privaten Einsatz in kleinen Wasserenthärtungsanlagen als auch für den industriellen und gewerblichen Einsatz in mittleren und großen Wasserenthärtungsanlagen gibt es ebenfalls

gleichmäßig unter hohem Druck kompaktiertes Siedesalz. Dieses besitzt Tablettenform und verklumpt dadurch nicht im Lösebehälter. Der geringe Anteil an Feinanteilen und die hohe Stabilität der Tabletten verhindert zudem die Bildung von Salzbrei im Enthärter. Solch hochwertiges Regeneriersalz besitzt in Deutschland durchschnittlich 99,9 % Natriumchlorid, während eigentlich nur mindestens 97 % Natriumchlorid vorgeschrieben sind. Der Gehalt an unlöslichen Bestandteilen (Kalzium, Magnesium, Brom) ist gering und schwankt von Saline zu Saline. Wahlweise steht Kunden aber auch grob gemahlenes Steinsalz oder Sole für Regenerierzwecke zur Verfügung

Gewerbesalz für industrielle Anwendungen kann aus Stein- wie auch aus Siedesalz hergestellt werden. Typisch sind hohe Natriumchlorid-Gehalte von 99 % (Steinsalz) bzw. 99,8 % (Siedesalz), eine vollständige Löslichkeit, ein erhöhter Anteil an Trennmitteln sowie generell eine konstante Qualität. Zudem sind sowohl ungetrocknetes Salz mit Restfeuchte als auch getrocknetes Salz, beides in einer sehr weiten Streubreite der Korngröße, erhältlich.

Fischereisalz wird stets aus natürlichem Steinsalz hergestellt, das sich durch einen Natriumchloridgehalt von 99 %, Spuren natürlich vorhandenen Kalziums und eine häufig ebenfalls von Natur aus



bereits reinweiße Farbe auszeichnet. Diese weiße Farbe ist bei Fischereisalz von großer Bedeutung. Fischereisalz wird in verschiedenen Körnungen, mit und ohne Trennmittel angeboten.

Für die **Darmkonservierung** kommt überwiegend Steinsalz zum Einsatz, weil es sich langsamer in Flüssigkeit auflöst als Siedesalz. Wichtig sind eine regelmäßig kontrollierte Qualität und ein Angebot verschiedener Körnungen.

Häutesalz wird meist aus Steinsalz hergestellt und speziell mit Soda, Emulgatoren, Trennmitteln und Wasser präpariert. Durch diese feuchte

Spezialpräparierung treten weder Entmischungen noch Probleme mit Salzstaub auf. Das Salz bleibt geschmeidig, lässt sich gleichmäßig auf der Haut verteilen und zeichnet sich durch eine gute Haftfähigkeit aus.

Fischereisalz, Salz für die Darmkonservierung oder Häutesalz darf nach seiner Erstverwendung nicht in anderen Bereichen noch einmal verwendet werden, da es mikrobiologisch kontaminiert sein könnte.

Im Gegensatz zur Fischereiindustrie wird in der Textilindustrie wegen seiner hohen Reinheit bevor-



Salzlecksteine sind für Wild- und Nutztiere ein Genuß, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Auftausalz muss lange lagerfähig und sehr rieselfähig sein, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Zu Tablettenform kompaktiertes Siedesalz ist das Standardsalz in der Wasseraufbereitung, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Die Aufbereitung und Abfüllung von Pharmasalz erfolgt unter hohen Reinheitsanforderungen und getrennt von den sonstigen Produkten, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



Um ein definiertes Kornspektrum zu erzeugen, werden Düngemittel granuliert, so dass sie durch Kreiseltreuer besonders effizient ausgebracht werden können, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

zugt Siedesalz eingesetzt. Je reiner und hochwertiger das verwendete Salz ist, desto bessere Färbeergebnisse werden erzielt. **Färbesalz** wird in verschiedenen Korngrößen angeboten und ist stets frei von chemischen Hilfsmitteln.

Die Anforderungen der Bohrindustrie an **Bohrlochspülungen** sind hoch und sehr spezifisch, so dass je nach Bedarf sowohl Stein- als auch Siedesalz in verschiedenen Qualitäten und verschiedensten Korngrößen verwendet werden.

Pharmasalz stellt aus pharmazeutischer und chemischer Hinsicht besonders hohe Anforderungen an eine konstant sehr reine Qualität. Grundstoff ist meist eine spezielle und besonders reine Sole oder auch hochreines Steinsalz. Daraus produziert werden kleine, ständig durch Analysen kontrollierte Mengen chemisch fast reinen (> 99,9 %) Natriumchlorids ohne jegliche Zusätze. Pharmasalz ist praktisch frei von bakteriellen Endotoxinen und wird in getrennten Bereichen der Salzfertigungsanlagen produziert. In Polyethylen-Folien oder auch mehrlagig mit Polyethylen beschichteten Papiersäcken gelangt es zu den Abnehmern in der Pharmaindustrie.

Salz zur **Wasserdesinfektion** wird meist in Form von Salztabletten aus hochreinem Siedesalz (> 99,9 % Natriumchlorid) mit sehr geringer Feuchte (< 0,05 % H₂O) angeboten. Diese Salztabletten

sind formstabil und vollständig löslich. Das verwendete Siedesalz besitzt nach DIN 19 643 bzw. DIN EN 14805, DIN EN 16370 und DIN EN 16401 niedrige Gehalte an Kalzium (< 10 ppm), Magnesium (< 10 ppm), Brom (< 10 ppm), Eisen (< 50 ppm), Mangan (< 0,5 ppm) sowie Schwermetallen (< 5 ppm), die Rückstände bilden würden bzw. im Wasser unerwünscht sind.

Industriesalz, also von der chemischen Industrie genutztes Stein- oder Siedesalz, muss > 95,5 % Natriumchlorid, < 2,5 % Feuchte, < 0,1 % Kalzium, Magnesium und Kalium und < 0,5 % unlösliche Bestandteile enthalten. Typisch sind in Deutschland Werte von > 98 % Natriumchlorid und < 1,0 % Feuchte bei einer Korngröße von 0 – 5 mm. Industriesalz bzw. Sole, die für die Chloralkali-Elektrolyse gedacht sind, müssen zudem sulfatfrei oder zumindest sehr sulfatarm sein.



In der EU sind die Anforderungen an Düngemittel in einer Verordnung aus dem Jahr 2003 festgelegt. Danach muss Kaliumchlorid als Düngemittel umgerechnet mindestens 37 % Kaliumoxid enthalten, was einem Mindestgehalt von 58,6 % Kaliumchlorid entspricht. Im in Deutschland typischen 60er Kalidünger sind umgerechnet 60 % wasserlösliches Kaliumoxid bzw. 95,4 % Kaliumchlorid und nur 4,4 % andere Salze enthalten. Damit sich das Düngemittel in Düngerstreuern gut ausbringen lässt, sollte es körnig sein, die Körner unterschiedlich groß sein und diese auch mehrere Millimeter Durchmesser erreichen.

„Technisches Kaliumchlorid“, das in der **chemischen Industrie** weiterverarbeitet wird, enthält je nach Anforderung 96,0 – 99,9 % Kaliumchlorid.

Typische Magnesiumchlorid-Sole für den **Winterdienst** enthält 32,8 % Magnesiumchlorid, 1,8 % Magnesiumsulfat, 0,8 % Natriumchlorid und 0,2 % Kaliumchlorid.

Magnesiumsulfat-Dünger enthalten je nach Kristallwassergehalt 45 bis mehr als 81 % Magnesiumsulfat. Einigen dieser Dünger wird zudem noch wasserlösliches Bor und Mangan zugesetzt.

Wasserfreies Magnesiumsulfat für die **chemische Industrie** enthält typischerweise 98,4 % Magnesiumsulfat, 0,6 % Kaliumsulfat und 0,5 % Kalziumsulfat. Der Gehalt an Kristallwasser darf 1,5 % nicht übersteigen und liegt typischerweise bei 0,5 %.

Für pharmazeutische Produkte sind die Anforderungen natürlich besonders hoch. Dieses Magnesiumsulfat muss zu mehr als 99,0 % rein sein und < 300 ppm Chloride, < 2 ppm Arsen, < 20 ppm Eisen und < 10 ppm Schwermetalle enthalten.

Detailaufnahme von ESTA® Kieserit, einem Dünger mit 75 % Magnesiumsulfat für chloridempfindliche Pflanzen, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



*Ein elektrisch betriebenes Ladefahrzeug transportiert
Rohsalz in Grubenbetrieb Hattorf/Wintershall des Kali-
revieres Werra, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).*



5



In Abbau stehende Lagerstätten
in Deutschland

5.1 Steinsalz



Gewinnungsstellen von Steinsalz in Deutschland, Karte: BGR.

Größter Produzent von Steinsalz in Deutschland ist die esco – european salt company GmbH & Co. KG mit Sitz in Hannover (Homepage: www.esco-salt.com). esco wiederum ist eine Tochterfirma der K+S AG mit Sitz in Kassel (Homepage: www.k-plus-s.com), dem größten Salzproduzenten der Welt.

In Deutschland betreibt esco drei Bergwerke:

Die Anfänge des **Bergwerks Bernburg** in Sachsen-Anhalt gehen auf die Gründung zweier Bergbauunternehmen im Jahr 1911 zurück. Nach Abteufung von jeweils einem Schacht begann 1913 die Förderung des begehrten Rohstoffs – und das war zunächst nur Kalisalz. Ab 1921 wurde dann jedoch auch Steinsalz gewonnen und ab 1974 nur noch Steinsalz. Dieses sollte den Bedarf der gesamten DDR decken und den der sozialistischen Nachbarländer gleich mit.

Heute ist das Bergwerk Bernburg durch insgesamt fünf Schächte erschlossen, die bis in 540 m Tiefe reichen. Zwei dieser Schächte dienen ausschließlich als „ausziehende Wetterschächte“, d. h. sie leiten die verbrauchte Luft aus dem Bergwerk ab. Das heutige Förderfeld erstreckt sich über 38 km² von Bernburgs Südrand bis kurz vor das nordwestlich von Bernburg gelegene Rathmannsdorf.

Im Werk Bernburg arbeiten rund 425 Beschäftigte, davon aber nur 170 untertage. Diese gewinnen ein Steinsalz, das wegen seines klaren Aussehens und seiner grobkristallinen Struktur als Kristallsalz bezeichnet wird. Sein Reinheitsgrad liegt im Durchschnitt bei 99 % Natriumchlorid, die besten Lagerpartien erreichen sogar 99,8 % Natriumchlorid. Das Salz stammt ausschließlich aus dem bei Bernburg 115 m mächtigen Leine-Steinsalz (s. Kapitel 2), wobei zwischen 400 m und 700 m Tiefe nur das über 35 m mächtige sogenannte Linien-Kristallsalz abgebaut wird. In diesen Tiefen werden Kammern angelegt, die 20 m breit, 35 m hoch und über 200 m lang sein können. Zwischen den Kammern bleiben mindestens 35 m breite Pfeiler stehen. Auch nach oben und unten bleiben zur Erhöhung der Standicherheit relativ große Steinsalzsichten zurück.



Blick auf die übertägigen Anlagen des Bergwerks Bernburg, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Zwei Drittel der Jahresproduktion an Steinsalz aus Bernburg entfallen auf Auftausalz. Darüber hinaus werden spezielle Speise-, Gewerbe- und Futtermittelsalze für Großkunden sowie Wasserenthärtungsprodukte hergestellt.

Die günstigen Voraussetzungen der Bernburger Salzlagerstätte werden seit dem Jahr 1965 auch zur Gewinnung gesättigter Salzsole in einem Abschnitt des Solfelds Gnetsch genutzt (s. Kapitel 5.2).

Seit dem Jahr 1996 wird die Sole- und Steinsalzproduktion zudem von der esco ergänzt durch eine moderne Siedesalzherstellung, die damals im Zuge einer groß angelegten Modernisierung des Werks eingerichtet wurde. Hierbei wird aus gesättigter Sole, die in dem benachbarten Solfeld gewonnen wird, hochwertiges Siedesalz hergestellt, das vor allem für Speise- und Tafelsalze, aber auch in Form von Kompaktsalz oder Tabletten zur Wasserenthärtung sowie als Geschirrspülsalz verwendet wird. Das Werk Bernburg besitzt eine jährliche Förder- bzw. Produktionskapazität von etwa 2,5 Mio. t Steinsalz, 1,4 Mio. t Sole und 0,28 Mio. t Siedesalz.

Das **Steinsalzbergwerk Borth** liegt im gleichnamigen Stadtteil der Stadt Rheinberg am Niederrhein. Hier wurde bereits 1897 auf der Suche nach Kohle ein mächtiges Salzvorkommen entdeckt,

dessen bergmännischer Abbau aber aufgrund vieler Schwierigkeiten beim Abteufen der Schächte erst 1926 begann. Während dieser Arbeiten kam es durch das stark wasserführende Deckgebirge und ein Hochwasser im Jahr 1926 mehrfach zu Wassereinbrüchen und schweren Unfällen, die aber nun alle längst der Vergangenheit angehören.

Heute erschließt das Bergwerk Borth durch zwei Schächte auf 45 km² Fläche und in 740 bis 950 m Tiefe ein durchschnittlich 200 m mächtiges Steinsalzpaket der Werra-Folge des Zechstein (s. Kapitel 2). Rund 320 Arbeiter und Angestellte sind vor



Blick auf die übertägigen Anlagen des Bergwerks Borth am Niederrhein, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Ort beschäftigt, davon aber nur 147 „Kumpel“ unter Tage, da hier inzwischen vieles automatisiert abläuft. Gewöhnt haben sich alle von ihnen, wie auch ihre Kollegen an anderen Standorten an die durch die große Tiefe verursachte vor Ort Temperatur von oft über 30 °C, die geringe Luftfeuchtigkeit und den erhöhten Salzgehalt in der Luft.

Produziert wird am Standort Borth zu rund 40 % Auftausalz, das Autobahnmeistereien in ganz Nordrhein-Westfalen und den angrenzenden Benelux-Staaten beziehen. Darüber hinaus gehören aber auch Speisesalz für Fleischereien, Bäckereien und Privatkunden, Futtermittelsalz, verschiedene Gewerbesalze sowie Industriesalz zum Angebot. Gefördert wurden im Jahr 2014 aufgrund des damaligen milden Winters nur rund 1,1 Mio. t Steinsalz bei eigentlich doppelt so hoher Kapazität.

Eine Besonderheit ist die Saline in Borth, die seit 1964 existiert. Sie nutzt nicht etwa natürliche Sole zur Siedesalzherstellung, sondern den bei der Verarbeitung des Steinsalzes anfallenden Salzstaub, der in Wasser gelöst wird. Das daraus wieder auskristallisierte Siedesalz – bis zu 260.000 t jährlich – wird vor allem zu Produkten für die Wasserenthärtung, z. B. Tablettensalz und Geschirrspülsalz, aber auch Speise- und sogar Pharmasalzen verarbeitet.

Das kleinste Steinsalzbergwerk der esco ist das **Werk Braunschweig-Lüneburg** im ostniedersächsischen Ort Grasleben. Nach Entdeckung einer großen Salzlagerstätte im Jahr 1907 wurden hier in den Jahren 1911 bis 1913 die ersten beiden Förderschächte abgeteuft und unmittelbar danach mit der Produktion von Stein- und Kalisalzen begonnen. Bereits 1922 wurde die Kaliförderung jedoch wieder eingestellt und danach bis heute nur noch Steinsalz – ähnlich Bernburg ein Kristallsalz – gefördert. Die heutigen drei Schächte Braunschweig-Lüneburg I – III reichen bis in 670 m Tiefe und dienen dem Ein- und Ausfahren der Bergleute, der Salzförderung sowie der Versorgung mit Frischluft und Betriebsmitteln.



Blick auf die übertägigen Anlagen des Bergwerks Braunschweig-Lüneburg, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Die Bergwerksfelder des Graslebener Werkes erstrecken sich über eine Fläche von 108 km² und reichen von Wolfsburg im Nordwesten bis nach Schwanefeld (Sachsen-Anhalt) im Südosten. Untertage ist in Braunschweig-Lüneburg mittlerweile ein über 100 km langes Fahrstreckennetz



entstanden, das ähnlich wie in Bernburg das ca. 20 m mächtige Linien-Kristallsalz der Leine-Folge des Zechstein (s. Kapitel 2) erschließt.

In Braunschweig-Lüneburg sind 190 Mitarbeiter beschäftigt. Jeweils ein Drittel ihrer Produktion von jährlich rund 500.000 t entfällt auf Gewerbe- bzw. Auftausalz. Das übrige Drittel besteht aus speziellen Speise- und Fischereisalzen, Futtermittelsalzen und Lecksteinen sowie Wasserenthärtungsprodukten.

Zweitgrößter Produzent von Steinsalz in Deutschland ist die Südwestdeutsche Salzwerke AG (SWS) aus Heilbronn (Homepage: www.salzwerke.de). Die beiden Hauptaktionäre der SWS mit je 49 % sind die Stadt Heilbronn und das Land Baden-Württemberg. Zum Unternehmen gehören das Steinsalzbergwerk Heilbronn und das Solungsbergwerk Berchtesgaden, das im folgenden Kapitel 5.2 beschrieben ist.

Das **Bergwerk Heilbronn** erstreckt sich vom Nordrand bis weit nordwestlich von Heilbronn. Hier begann im Jahr 1885 die Förderung von Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk (s. Kapitel 2). Im Jahr 1899 wurde auch im nördlich gelegenen Ort Kochendorf (heute ein Stadtteil von Bad Friedrichshall) ein Schacht niedergebracht und dort mit der Steinsalzförderung begonnen. Anfang der 1990er Jahre stellte sich dann aber heraus, dass die Langzeitsicherheit des Bergwerkes Kochendorf ohne Verfüllung nicht gegeben sein würde. Weiterhin nahm die Salzmächtigkeit in den aktuellen Abbaurevieren ab, so dass 1994 die Salzgewinnung eingestellt wurde. Stattdessen musste man mit der Stabilisierung der untertägigen Kammern durch Einbau gering belasteter Abfälle (Untertageverwertung, s. Kapitel 3) beginnen, die zwischenzeitlich auch weitestgehend abgeschlossen wurde.



Diese riesige Salzfräse schneidet Steinsalz aus dem bis 20 m mächtigen Steinsalzlager im Bergwerk Heilbronn, Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).



In einem großen Industriegebiet im Norden der Stadt Heilbronn liegt das gleichnamige Bergwerk. Es ist sehr gut an Autobahnen und an den Neckar angeschlossen, Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).

Seit rund 20 Jahren dient also nur noch das Bergwerk Heilbronn der Salzgewinnung und dieses weitet sich kontinuierlich nach Westen aus. Dort, auf dem Gebiet der Gemeinde Biberach, wurde auch 2003/04 ein dritter, 240 m tiefer Schacht niedergebracht, der das Bergwerk nun auch im Westen erschließt. Untertage sind im Bergwerk Heilbronn mittlerweile auf ca. 15,7 km² Fläche 590 km Fahrstrecke vorhanden. Abgebaut wird größtenteils nicht mehr durch Bohren und Sprengen, sondern mittels riesiger, mit Meißeln bestückter Walzen, die ähnlich übergroßer Schneefräsen das Salz aus dem rund 20 m mächtigen Salzlager herauschneiden.

In Heilbronn gewinnen rund 190 Bergleute jährlich bis zu 4 Mio. t grobkristallines Rohsalz mit einem Natriumchloridgehalt von durchschnittlich 95 – 96 %. Das Rohsalz wird zerkleinert, aufbereitet und dient dann größtenteils als Auftausalz und Industriesalz, wird aber auch zu Futtermittelsalz verarbeitet.

Produkte mit höheren Anforderungen an den Natriumchloridgehalt, wie Speisesalz, Pökelsalz, Salz für die Wasserenthärtung aber auch Pharmasalz, werden in der unweit nördlich gelegenen Saline Bad Friedrichshall erzeugt. Dort wird das Steinsalz aus dem Heilbronner Steinsalzbergwerk in Wasser gelöst und dabei von allen restlichen unerwünschten Nebenbestandteilen getrennt. Danach wird das Salz in einer Vakuum-Verdampferanlage in Form von Siedesalz wieder auskristallisiert, getrocknet und anschließend je nach Bedarfsfall und Kundenwunsch abgepackt.



Luftaufnahme des Bergwerks Stetten im Zollernalbkreis. Hier spielt sich fast alles untertägig ab und nur das Salzsilo und die Verladeanlagen zeigen, dass hier Rohstoffe gewonnen werden, Foto: Wacker Chemie AG (mit frdl. Genehmigung).

Das älteste, seit über 160 Jahren kontinuierlich betriebene Steinsalzbergwerk Deutschlands liegt in **Stetten** bei Haigerloch im Zollernalbkreis, rund 80 km südlich Stuttgart. Auf der Suche nach Bodenschätzen im Auftrag der königlich-preußischen Regierung, der damals dieses Gebiet unterstand, stießen die Bohrleute im März 1853 in 123 m Tiefe auf ein Salzlager des Mittleren Muschelkalk (s. Kapitel 2). Eine zur Überprüfung an anderer Stelle niedergebrachte Bohrung traf das Salzlager dort sogar schon in 77 m Tiefe an. 1854 bis 1856 wurde ungefähr mittig zwischen diesen beiden Bohrungen ein Schacht abgeteuft und 1857 der Salzabbau begonnen.

Mittlerweile ist das Salzbergwerk Stetten sogar durch zwei Schrägschächte erschlossen und man kann direkt von der Erdoberfläche mit dem Pkw oder Lkw in das Salzlager hineinfahren. Unterirdisch geht es dann auf 8,8 km² Fläche bzw. auf über 200 km Fahrstrecke weiter. Der eigentliche Abbau erfolgt mittels Sprengungen, wobei jeweils bis zu 1.000 t Rohsalz gelöst werden. Zukünftig werden, ähnlich wie im Bergwerk Heilbronn, auch große Fräsen zur schneidenden Gewinnung des Salzes zum Einsatz kommen. Nach und nach entstehen durch den Abbau bis zu 250 m lange, 12 m breite und bis zu 6 m hohe Kammern. Noch höhere Kammern sind in Stetten nicht möglich, da das Salz mit guter Qualität dort nur selten mächtiger wird.

Nach abgeschlossener Gewinnung des Salzes werden die Kammern zur Stabilisierung mit gering belasteten mineralischen Abfällen wieder verfüllt (Untertageverwertung, s. Kapitel 3).

Die Aufbereitung des gewonnenen Steinsalzes findet in Stetten heute ausschließlich untertage statt. Das Rohsalz wird dabei immer weiter zerkleinert und unerwünschte Beimengungen über Magnetabscheider und optische Sortieranlagen aussortiert, bis schließlich der Natriumchloridanteil von ursprünglich 92 – 94 % auf 99 % gestiegen ist.

Die rund 70 Mitarbeiter des Bergwerks produzieren jährlich bis zu 500.000 t Salz und zwar fast ausschließlich in Form von Auftau- und Industriesalzen sowie weit untergeordnet Gewerbesalzen. Speisesalze werden nicht hergestellt. Für den Winterdienst werden aber auch teil- und hochgesättigte Solen aus in Wasser aufgelöstem Steinsalz sowie Solesalz zur Eigenherstellung von Auftausolen angeboten. Zudem werden Salzlecksteine produziert. Die Industriesalze benötigt die Wacker Chemie AG (Homepage: www.wacker.com), die seit 1960 Eigentümerin des Bergwerks Stetten ist, zur Produktion von Chlor und Natronlauge mittels Chloralkali-Elektrolyse in ihrem Werk in Burghausen.

Ein weiteres Steinsalzbergwerk ist das Bergwerk Glückauf, das die GSES – Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH (Homepage: www.gses.de) am Standort **Sondershausen** betreibt. Hier, im Norden Thüringens, wurde 1893 ein erster von später insgesamt sechs Schächten niedergebracht, um das ein Jahr zuvor bei Bohrungen in 616 m Tiefe entdeckte Kalisalz zu fördern. Dabei handelte es sich um Kalisalz des hier bis zu 25 m mächtigen Kaliflözes Staßfurt (s. Kapitel 2), das dort nun ab 1896, über fast 100 Jahre, bis 1990 abgebaut wurde. Die Kalisalzförderung betrug 1989, im letzten Jahr der vollen Produktion, stolze 2.990.400 t. Vorrangig wurde es zu Düngemitteln aber auch als Grundstoff für die Herstellung von Chemikalien verarbeitet.

1995 wurde die heutige GSES gegründet, die seit dem Jahr 2004 in Sondershausen auch Staßfurt-Steinsalz fördert. Das heute in einer Größenordnung von bis zu 300.000 t jährlich geförderte Steinsalz wird größtenteils als Auftausalz im Winterdienst sowie untergeordnet als Futtermittelsalz genutzt.

Seit 1896 wird im Bergwerk Glückauf in Sondershausen Salz abgebaut, zuerst Kalisalz, nun Steinsalz, Foto: GSES – Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH (mit frdl. Genehmigung).

Weitere wichtige Geschäftsfelder der GSES sind die Stabilisierung der Grubenhohlräume mit dafür geeigneten mineralischen Industrieabfällen (Untertageverwertung, s. Kapitel 3), der Betrieb einer Untertagedeponie sowie die Aufbringung von mineralischen Abfällen auf die bis zu 128 m hohe Rückstandshalde des alten Kalibergwerks. Die Abdeckung des Haldenkörpers mit diesen Abfallstoffen dient dabei der hydrologischen Sicherung und der Rekultivierung der Halde (s. Kapitel 8).



5.2 Sole

Neben Solen aus Natriumchlorid gibt es auch Solen aus anderen Salzen, die in den Kapiteln 5.5 und 5.6 beschrieben werden.

In Deutschland werden Solen (aus Natriumchlorid) sowohl zur industriell-gewerblichen Nutzung als auch für den Kurbadebetrieb genutzt. Der wissenschaftliche Fachbegriff für Bäderkunde ist Balneologie.

Keineswegs alle Solen in Deutschland stammen aus der Aussolung von tief liegenden Steinsalzvorkommen mittels Süßwasser oder aus natürlichen, extrem stark versalzten Grundwasservorkommen. Nur diese beiden Solearten sollen hier

jedoch als „natürliche Solen“ bezeichnet und in den folgenden beiden Teilkapiteln beschrieben werden.

Auch bergmännisch gewonnenes, nicht ganz sauberes Steinsalz wird in Wasser gelöst, um über den Umweg einer Sole daraus reines Siedesalz produzieren zu können (z. B. in der Saline Bad Friedrichshall). Zudem wird extra hergestelltes Solesalz (z. B. als Produkt des Bergwerks Stetten) zur Soleproduktion genutzt wie auch bei der Zerkleinerung von Steinsalz anfallender Salzstaub (z. B. in der Saline Borth). Auf diese „künstlichen Solen“ soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden.



Unspektakulär, aber von Bedeutung: Solegewinnung in Deutschland, Foto: Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen GmbH & Co. KG (mit frdl. Genehmigung).

5.2.1 Sole zur industriellen Nutzung

Sehr große Mengen natürlicher Solen werden von der chemischen Industrie benötigt, um daraus mittels Chloralkali-Elektrolyse oder nach dem Solvay-Verfahren chemische Grundstoffe für eine unermessliche Vielzahl von Endprodukten erzeugen zu können (s. Kapitel 3).

Das US-amerikanische Chemieunternehmen The Dow Chemical Company betreibt in Deutschland zwei Aussungsfelder (Homepage: www.dow.com/de-de/deutschland).

Das größte hiervon und das mittlerweile größte in Europa liegt in **Ohrensen** nahe Stade, wo Dow Chemical seit 1972 ein großes Chemiewerk betreibt. Im Frühjahr 1970 begannen in Ohrensen die Vorbereitungen zur Aussolung der ersten Kaverne und ein Jahr später die Soleförderung. In den 45 Jahren, die seitdem vergangen sind, wurden im Steinsalzlagern der Staßfurt-Folge (s. Kapitel 2) 22 Kavernen auf einer Fläche von etwa 3 km² ausgespült. Zwölf sind noch in Produktion. Sie erreichen Tiefen von maximal 2.063 m, Höhen von bis zu 1 km und Durchmesser von bis zu 135 m. Das Volumen der größten Kaverne beträgt rund 5 Mio. m³. Zwei kleinere, nicht mehr zur Soleförderung genutzte Kavernen werden von Dow Chemical zur Speicherung der Industriegase Ethylen und Propylen genutzt.

Das Verfahren der Soleförderung in Ohrensen ist wie folgt: Jährlich bis zu 20 Mio. m³ Wasser wird in die Kavernen und danach stündlich bis zu 2.000 m³ der an der Erdoberfläche rund 40 °C heißen, gesättigten Salzsole über eine 26 km lange Pipeline ins Stader Werk gepumpt. Die Aussolung erfolgt seit vielen Jahren überwiegend mit wieder aufbereitetem Abwasser aus der Produktion, wodurch große Mengen Frischwasser aus Tiefbrunnen oder der Elbe eingespart werden können. Jährlich fördern die je nach Auslastung bis zu 26 Techniker und Ingenieure vor Ort rund 18 Mio. m³ Sole mit einem Natriumchloridgehalt von 3,6 Mio. t.



Gewinnungsstellen von Industrielsole (Natriumchlorid) in Deutschland, Karte: BGR.

Sole ist der wichtigste Rohstoff für die Produktion im Werk Stade, wo daraus mittels Elektrolyse Chlor, Wasserstoff und Natronlauge gewonnen werden. Vor allem das Chlor ist ein wichtiger Grundstoff für die weitere Produktion im Chemiewerk Stade.



Luftbild des Sol- und Speicherbetriebs Ohrensen, Foto: The Dow Chemical Company (mit frdl. Genehmigung).



Blick auf das Sol- und Speicherfeld Teutschenthal, Foto: H. Fechner, The Dow Chemical Company (mit frdl. Genehmigung).

Das zweite Aussolungsfeld von Dow Chemical liegt bei **Teutschenthal**, westlich Halle, in Sachsen-Anhalt. Hier wurden seit 1974 fünf Kavernen in 700 bis 1.100 m Tiefe ausgeformt, von denen heute drei zur Speicherung der chemischen Grundstoffe Ethylen und Propylen genutzt werden. Zwei der Kavernen dienen der weiteren Aussolung des dortigen, bis zu 300 m mächtigen Staßfurt-Steinsalzes (s. Kapitel 2). Die geförderte gesättigte Sole wird über eine ca. 15 km lange Pipeline ins Dow Chemical-Werk Schkopau gepumpt und dort in der Chloralkali-Elektrolyse zur Chlorerzeugung eingesetzt. Chlor ist Ausgangsstoff für die PVC-Herstellung am Chemiestandort Schkopau. Seit 1999 wird die im Elektrolyse-Prozess anfallende Restsole in Schkopau aufbereitet und über die Pipeline als ungesättigte Sole erneut der Solegewinnung in Teutschenthal zugeführt. Somit wurde ein geschlossener Solekreislauf geschaffen. Jährlich kann in Teutschenthal Sole mit bis zu 0,3 Mio. t Natriumchlorid Inhalt gefördert werden.

Auch die Solvay GmbH (Homepage: www.solvay.de) aus Hannover, eine Tochterfirma der belgischen Solvay S. A., betreibt in Deutschland zwei große Solfelder bzw. ist an einem mehrheitlich beteiligt.

Im Jahr 1883 eröffnete damals noch der Firmengründer Ernest Solvay persönlich eine Soda-Fabrik in Bernburg im damaligen Herzogtum Anhalt. Hier fand er gleich zwei der von ihm für die Herstellung von Soda (s. Kapitel 3) benötigten Rohstoffe vor: Steinsalz und Kalkstein. Das Steinsalz entnahm er in Form von Sole, die er ab 1884 in Bernburg förderte.

Heute betreibt Solvay in einem Teilbereich des insgesamt 10,8 km² großen **Solfelds Gnetsch** südöstlich Bernburg sechs Solungskavernen. Die entsprechenden Bohrlöcher reichen bis in 680 m Tiefe und lösen Natriumchlorid aus dem bei Bernburg 300 m mächtigem Staßfurt-Steinsalz (s. Kapitel 2). Die fertigen Kavernen sind bis zu 190 m hoch und besitzen Durchmesser von rund 90 m. Das zur Aussolung benötigte Wasser wird



der nahen Saale entnommen und die geförderte Sole danach per Rohrleitung in das acht Kilometer entfernte Sodawerk Bernburg gepumpt.

Auch die esco – european salt company GmbH & Co. KG (s. Kapitel 5.1) ist im Solfeld Gnetsch aktiv und gewinnt dort in ihrem Teilbereich ebenfalls Sole aus dem Staßfurt-Steinsalz, aber vor allem zur Siedesalzproduktion. Zur Solung nutzt esco dabei eine „Halbsole“, die aus gereinigtem Brauchwasser und in Wasser aufgelöstem Salzstaub aus der Steinsalzaufbreitung (s. Kapitel 5.1) hergestellt wird. Die überschüssige gesättigte Sole wird an Solvay verkauft.

Bis heute (Stand 2015) sind bei Bernburg insgesamt 39 Einzelkavernen als Speicherkavernen entstanden, die seit 1969 zur Speicherung von Flüssiggas (zwei Kavernen) sowie seit 1974 stark zunehmend zur Speicherung von Erdgas (37 Kavernen) genutzt werden. Derzeitiger Hauptnutzer der Erdgasspeicherkavernen ist die VNG Gasspeicher GmbH (VGS) aus Leipzig. Diese hält in Bernburg in 33 Kavernen ein Speichervolumen von 1,039 Mrd. m³ vor.



Seit 2009 errichtet die VGS zusammen mit der russischen Gazprom durch das Gemeinschaftsunternehmen Erdgasspeicher Peissen GmbH bei Bernburg zudem den Untergrundspeicher (UGS) Katharina. Er ist benannt zu Ehren der russischen Zarin Katharina II., die am 2. Mai 1729 als Sophie Auguste Friederike Prinzessin von Anhalt-Zerbst geboren wurde. Der UGS Katharina soll aus letztendlich zwölf Einzelkavernen mit einem Speichervolumen von ca. 600 Mio. m³ bestehen. Die bei der Aussolung dieser zwölf Kavernen anfallende Sole wird durch die Firmen esco und Solvay stofflich genutzt.

Auch im westlichen Münsterland ist Solvay in der Solegewinnung aktiv und zwar in dem 22,5 km² großem **Solfeld Epe**, zwischen Gronau-Epe und Ahaus-Graes. Hier hält Solvay eine 65%ige Beteiligung an der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH & Co. KG (SGW). Die anderen Anteilseigner dieser Firma sind mit 25 % das PVC-Unternehmen Vestolit GmbH und mit 10 % der Kunststoffproduzent Covestro AG aus Leverkusen.

Die SGW gewinnt in Epe seit 1972 Sole aus 1.000 bis 1.465 m Tiefe bzw. aus dem Werra-Steinsalz (s. Kapitel 2). Mit der geförderten Sole versorgt die Firma per Rohrleitung einen Industriestandort in Rheinberg, wo verschiedene Unternehmen mit Sole versorgt werden, ein Werk der Firma Inovyn in Jemeppe/Belgien sowie das PVC-Werk von Vestolit im Industriepark Marl. Zusätzlich wird in strengen Wintern Auftausole für den Winterdienst abgegeben.

Zwei SGW-eigene Wassergewinnungsanlagen in Dömern und Hörsteloe liefern die für die Solung nötige Wassermenge. In den etwa fünf bis mehr als zehn Jahren, in denen an einer Stelle gesolt wird, entsteht unterirdisch eine zylinderförmige Kaverne mit einem Durchmesser von 60 bis 80 m, einer Höhe von bis zu 300 m und einem Hohlraumvolumen von bis zu 970.000 m³. Die Aussolung wird hierbei möglichst präzise gesteuert, so dass die Kaverne genau die gewünschte Form erhält. Jährlich werden in Epe bis zu 6,3 Mio. m³ Sole mit einem Salzinhalt von 2 Mio. t Natriumchlorid gefördert.

Blick auf die technischen Übertageanlagen des Speicherstandorts Bernburg, Foto: VNG Gasspeicher GmbH (mit frdl. Genehmigung).

Seit 1974 wird ein Großteil der mittlerweile 109 in Gronau-Epe durch Aussolung entstandenen Kavernen zur Erdöl- und seit 1976 auch zur Erdgasspeicherung genutzt. Gegenwärtig dienen 74 Einzelkavernen der Erdgasspeicherung und von den fünf dafür vorgesehenen Kavernen drei der Erdölspeicherung. Sie sind Teil der sogenannten nationalen Energiereserve der Bundesrepublik Deutschland. Das Kavernenfeld Epe ist der größte Kavernenspeicher der Welt und besitzt ein Gesamtvolumen von etwa 4,65 Mrd. m³, von denen rund 3,60 Mrd. m³ als sog. „Arbeitsgas“ nutzbar sind.

Ein Sodawerk in Staßfurt, Sachsen-Anhalt, betreibt die CIECH Soda Deutschland GmbH & Co. KG, ein Tochterunternehmen der polnischen CIECH S.A. Ihr Sodawerk Staßfurt blickt auf eine bewegte Vergangenheit mit zahlreichen Eigentümerwechseln zurück, nachdem es bereits 1882 gegründet wurde. Neben verschiedenen Sodaarten für industrielle Abnehmer wird in Staßfurt auch Backpulver für gewerbliche Kunden hergestellt.

Das für die Sodaherstellung benötigte Natriumchlorid entstammt aus Solen, die seit 1968 aus dem **Solfeld Neustaßfurt** entnommen werden. Zielhorizont ist dabei stets das 300 bis 1.200 m mächtige Staßfurt-Steinsalz (s. Kapitel 2), das inzwischen durch 19 Kavernen in 400 bis 1.200 m Tiefe erschlossen wurde. Hiervon werden fünf aktiv zur Aussolung genutzt und liefern jährlich rund 3 Mio. m³ Sole. Acht dienen der Erdgasspeicherung und fünf weitere sollen zur Stabilisierung mit geeigneten Schlämmen oder Bohrresten verfüllt werden.

Zur schon in Kapitel 5.1 erwähnten Südwestdeutsche Salzwerke AG gehört auch das **Solungsbergwerk Berchtesgaden** in den Bayerischen Alpen. In Berchtesgaden wird schon seit einem halben Jahrtausend, genauer seit 1517, ununterbrochen Steinsalz gewonnen. Wie in Kapitel 2 jedoch schon angedeutet, ist das Problem des Salzes in den Bayerischen Alpen, dass es meist nicht rein, sondern durch die Alpenbildung mit anderen Gesteinen verunreinigt ist (sog. „Haselgebirge“). Schönes weißes und reines Steinsalz über viele Quadratkilometer hinweg und in großer Mächtigkeit, ideal zum bergmännischen Abbau, findet man hier leider nicht. Die Lösung des Problems, wie man trotzdem ausreichend Salz gewinnen kann,

erfanden schon die alten Bergleute in dem Prinzip der Aussolung.

Die Berchtesgadener Salzlagerstätte ist heute durch fünf Abbausohlen aufgeschlossen, wovon die oberen vier durch Stollen, die unterste nur über Schächte zugänglich sind. Der Abbau findet auf der untersten Abbausohle statt, die sich 60 Meter unter dem Talboden befindet und durch das darüberliegende Gebirge um bis zu 500 Meter überdeckt wird. Der Abbau erfolgt hier durch gezieltes Auslaugen des salzhaltigen Gesteins mittels Süßwasser, d. h. durch Solung. Sämtliche unlöslichen Verunreinigungen, also der Rest des „Haselgebirges“, bleiben bei diesem Gewinnungsverfahren im Berg zurück.

Täglich werden aus einer mittelgroßen „Kaverne“ im Bergwerk Berchtesgaden etwa 100 m³ Sole erzeugt. Bei einem täglichen Abbaufortschritt von etwa 1 cm Laugung am Dach einer letztendlich rund 4.200 m² großen und 100 m tiefen Kaverne beträgt die Lebensdauer solch eines „unterirdischen Bauwerks“ rund 30 Jahre. Während dieses Zeitraums werden durchschnittlich 1,3 Mio. m³ Salzsole gewonnen. Im Solungsbergwerk Berchtesgaden sind derzeit 30 Kavernen in Betrieb. Die dabei erzeugte Solemenge beträgt 700.000 bis 850.000 m³ jährlich. Diese gesättigte Salzsole wird nach Bad Reichenhall gepumpt, wo sie in der dortigen Saline (s. u.) weiterverarbeitet wird.

Eine der bekanntesten Salinen Deutschlands ist die Alte Saline von **Bad Reichenhall**. Hier wurde schon in der Bronzezeit Salz durch Solung gewonnen und im Mittelalter wurde Reichenhall (hallan = germanisches Wort für Salzkruste) durch die Salzproduktion zu einer reichen Stadt von überregionaler Bedeutung. Im Jahr 1929 wurde die Alte Saline aufgegeben und die Produktion zur Neuen Saline verlagert. Die Salzwässer aus der Alten Saline finden seitdem nur noch Verwendung bei Kuren – seit 1890 darf Reichenhall auf Verfügung des damaligen bayerischen Prinzregenten Luitpold den Zusatz „Bad“ führen.

Heute werden in der Neuen Saline von Bad Reichenhall Solen aus zwei Gewinnungsstandorten verarbeitet. Zum einen sind dies jährlich rund 700.000 – 850.000 m³ Sole aus dem Solungsbergwerk Berchtesgaden, die kontinuierlich über eine 20 km lange doppelsträngige Leitung nach Bad Reichenhall gepumpt werden. Zum anderen



Aus dem Salzbergwerk Berchtesgaden mit Besucherbergwerk im Hintergrund (oben) wird die Sole in die Neue Saline Bad Reichenhall (unten) gepumpt, Fotos: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).



liefern seit Anfang der 1970er Jahre drei, zwischen 523 und 578 m tiefe Solebohrungen direkt unter Bad Reichenhall weitere jährlich rund 250.000 m³ Sole. Aus diesen beiden Solen werden in Bad Reichenhall rund 300.000 t Siedesalz produziert, die für alle denkbaren gewerblichen Zwecke genutzt werden.

Wesentlich bekannter sind aber andere Produkte aus Bad Reichenhall und zwar die der Traditions-marke Bad Reichenhaller Salz. Rund um diese bekannte Marke hat die SWS ein weites Spektrum von Produkten entwickelt, die von Speisesalzen über Salzspezialitäten und Wellnessprodukten (Bade-, Sauna- und Peelingsalze) bis hin zu „salzigen Präsenten“ reichen. Produkte aus selbst hergestelltem Pfannensalz sowie aus seltenem, hochreinen Steinsalz aus dem Bergwerk Berchtesgaden ergänzen das Angebot (Homepage: www.bad-reichenhaller.de).

Zwischen 1817 und 1967 gab es in **Bad Wimpfen**, nördlich Heilbronn, eine teils blühende, auf örtlicher Soleförderung basierende Siedesalzproduktion. Ab 1921 wurden aus der Sole auch chemische Produkte hergestellt. Nur eines der schon damals zur Soleförderung genutzten Bohrlöcher wird weiterhin industriell genutzt und zwar durch

die Solvay Fluor GmbH. Diese produziert in Bad Wimpfen eine Vielzahl von Fluorprodukten und benötigt die Sole zur Herstellung von Kryolith, einem wichtigen Industrierohstoff.

Ebenfalls weitgehend unbekannt findet auch in **Sülbeck**, einem kleinen Dorf im südniedersächsischen Landkreis Northeim, eine Soleförderung statt. Am 26. April 1686 ordnete Fürst Ernst August von Calenberg-Göttingen-Grubenhagen an, dass hier ein „Saltz- und Leckwerck“ zu bauen sei. Aus dieser ehemaligen, 1950 in Konkurs gegangenen Saline, ging 1988 die heutige Firma Natursole Sülbeck Ulrich Birkelbach e. K. (Homepage: www.thermalsole.de) mit Sitz in Einbeck hervor. Nachdem im Jahr 2009 zwei neue Bohrungen bis in 397 m Tiefe abgeteuft wurden, fördert die Natursole Sülbeck heute jährlich aus drei Bohrungen bis zu 68.000 m³ gesättigte Sole. Durch Filtration wird der Eisen- und Mangengehalt der Natursole sehr stark reduziert und diese danach zur Hälfte an Thermalbäder in ganz Deutschland verkauft, zur Hälfte für gewerbliche Zwecke, als Regeneriersole und als Auftausole für den Winterdienst vertrieben.

Die in Göttingen durch die dortige Saline Luisenhall genutzte und teilweise zu Siedesalz verarbeitete natürliche Sole ist in Kapitel 5.3 beschrieben.



Blick auf die historische Saline Sülbeck im Frühjahr 2016 mit moderner Betankungsanlage ganz rechts, Foto: Ulrich Birkelbach (mit frdl. Genehmigung).

5.2.2 Sole für balneologische Zwecke

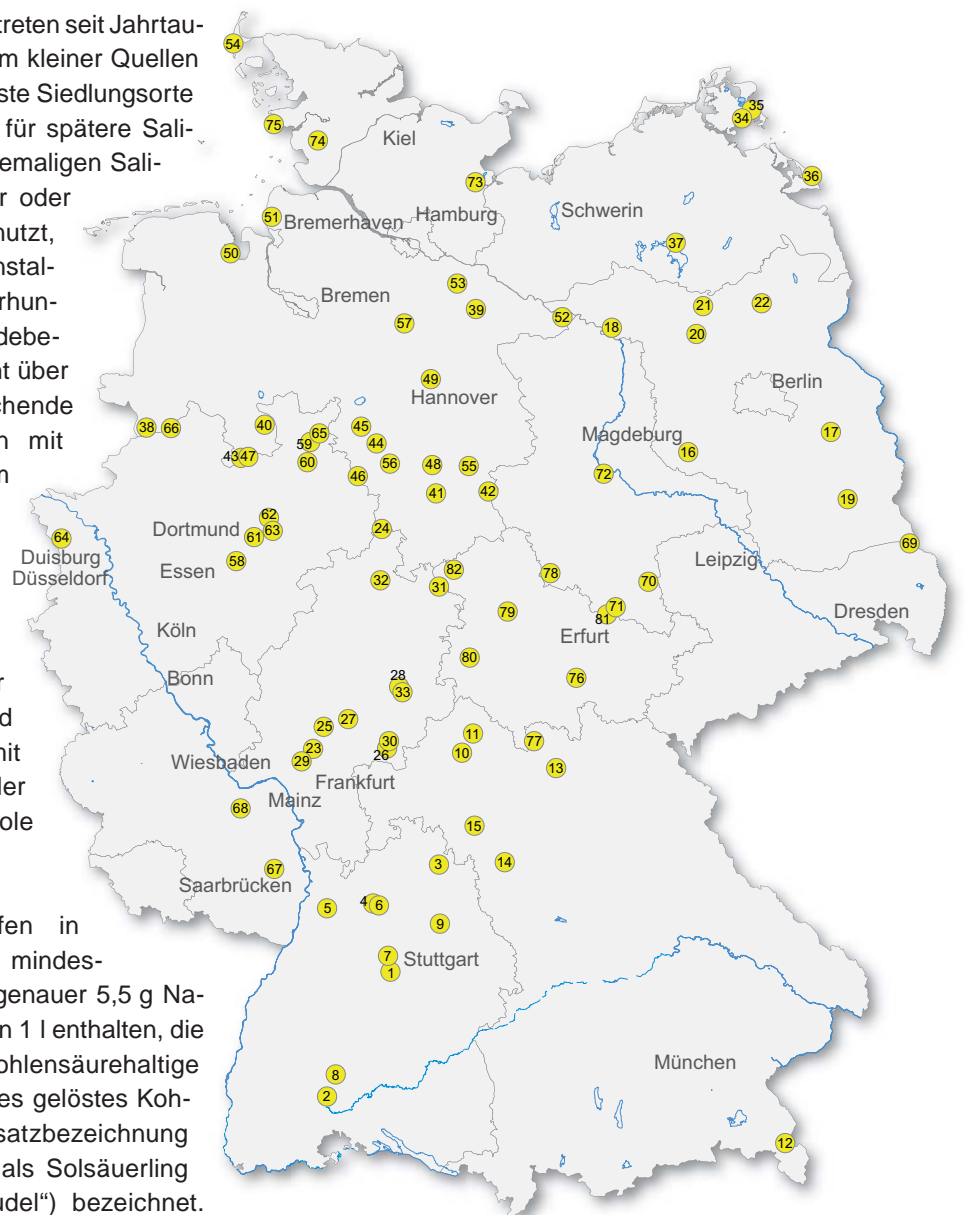
An vielen Orten in Deutschland treten seit Jahrtausenden natürliche Solen in Form kleiner Quellen aus. Sie boten sich damit als erste Siedlungsorte bzw. natürliche Rohstoffquelle für spätere Salinen an. An fast allen dieser ehemaligen Salinenorte wurde die Sole früher oder später auch für Heilzwecke genutzt, woraus sich erst kleine Badeanstalten und dann meist im 19. Jahrhundert die heutigen Kur- und Badebetriebe gründeten. Orte, die nicht über natürliche oder nicht ausreichende Solequellen verfügten, halfen mit Solebohrungen, zumeist zum Betrieb eines Thermalbades nach. Zum Teil war auch der Wunsch nach Erweiterung des Kurmittelangebotes der Auslöser für Solebohrungen. Sind Bohrungen nach natürlicher Sole nicht erfolversprechend oder zu teuer, kann heute mit zugekaufter Thermalsole oder aus Solesalz angerührter Sole nachgeholfen werden.

Wie schon angeführt, dürfen in Deutschland nur Wässer, die mindestens 14 g gelöste Stoffe bzw. genauer 5,5 g Natrium- und 8,5 g Chlorid-Ionen in 1 l enthalten, die Bezeichnung Sole führen. Kohlensäurehaltige Solen mit mindestens 1 g/l freies gelöstes Kohlenstoffdioxid können die Zusatzbezeichnung Sauerling führen und werden als Solsauerling (zum Teil auch als „Solesprudel“) bezeichnet. Daneben gibt es noch zahlreiche andere Thermal- und Heilwässer mit ganz anderen Eigenschaften.

Solen werden als Heilwasser zur Inhalation, zur Spülung, für Trinkkuren und für Einzelwannenbäder genutzt. Ihre medizinische Heilwirkung ist unbestritten, wobei ihre therapeutische Anwendung einer medizinischen Diagnose und Verordnung bedarf.

Zudem können Solen mit Süßwasser vermischt werden, um mineralisierte Wässer für öffentliche Schwimm- und Badebecken herzustellen. Hierbei werden unterschieden.

- Freizeit- und Spaßbäder mit bis zu 10 g Salz/l
- Thermalsole-Bäder mit 20 – 30 g Salz/l und
- Therapie- und Bewegungsbäder mit 50 – 60, zum Teil auch 80 g Salz/l



Gewinnungsstellen von Bädersonale in Deutschland. Die Nummern entsprechen der Ortsliste auf den folgenden Seiten. In den Salinen Sülbeck in Einbeck und Luisenhall in Göttingen werden zudem Industriosolen gewonnen, die auch an Badebetriebe ohne eigene Bädersonalegewinnung verkauft werden, Karte: BGR.

In vielen ehemaligen Salineorten wurde früher Salzwasser höher konzentriert und gereinigt, indem es über „Gradierwerke“ geleitet wurde. Diese bestehen aus mehrere Meter hohen und teils hunderte Meter langen Wänden aus gebündelten Reisigzweigen – meist aus Schwarzdorn. Die Funktionsweise der Gradierwerke ist, dass Salzwasser nach oben auf das Werk gepumpt, dort über Rinnen verteilt und auf die Reisigzweige geleitet wird. Von oben tropft das Salzwasser nach unten. Mit jedem Tropfen, der auf einen Zweig trifft, wird der Tropfen immer feiner. Durch den Einfluss von Sonne und trockener Luft verdunstet immer mehr Wasser und die Salzkonzentration in den Tropfen erhöht sich. In unmittelbarer Nähe der Gradierwerke entsteht dabei zudem ein feiner Salzwassernebel. Auf diesen Effekt besinnen sich immer mehr Kur- und Badeorte, denn der Salzwassernebel bildet ein ähnliches Kleinklima aus, wie es an der Nordsee herrscht und ist bei Atemwegserkrankungen ein sehr gutes Heilmittel. Zudem sind die instandgesetzten Gradierwerke große Sehenswürdigkeiten, die zusätzliche Tagestouristen anlocken.





Das zwischen 1756 und 1765 erbaute Gradierwerk in Bad Salzelmen, Sachsen-Anhalt, war einst mit 1.837 m Länge das größte in Deutschland. Heute sind hiervon im Solepark von Bad Salzelmen noch rund 320 m erhalten, Foto: Frank Bothe / Wikipedia.



Das neue Erlebnis-Gradierwerk mit Durchsicht in den Kurpark – eines von insgesamt drei Gradierwerken in Bad Salzuflen, Nordrhein-Westfalen, Foto: Ub12vow / Wikipedia.

Folgende Orte in Deutschland verfügen, soweit aufbauend auf Informationen aus dem aktuellen Deutschen Bäderbuch recherchiert werden konnte, über natürliche Solen (bzw. Solsäuerlinge) bzw. Gradierwerke:

Baden-Württemberg:

Bad Cannstatt (1):

- Thermalwasserbohrung (1973/74) mit Zufluss aus bis zu 477 m Tiefe („Hofrat-Seyffer-Quelle“), Mineralisation: 24,8 g/l

Bad Dürrheim (2):

- Solebohrung (2003) mit Zufluss aus bis zu 20 m Tiefe, Mineralisation: 313,6 g/l
- Gradierwerk (neu, 4 m hoch, 108 m lang)

Bad Mergentheim (3):

- Thermalwasserbohrung (1828) mit Zufluss aus bis zu 28 m Tiefe („Karlsquelle II“), Mineralisation: > 18,3 g/l
- Thermalwasserbohrung (1927) mit Zufluss aus bis zu 30 m Tiefe („Albertquelle“), Mineralisation: > 43,7 g/l
- Thermalwasserbohrung (1952 – 54) mit Zufluss aus bis zu 551 m Tiefe („Paulsquelle“, „Badequelle“), Mineralisation: 67,6 g/l

Bad Rappenau (4):

- drei Thermalsolebohrungen (1882 / 1929/30 / 1986) mit Zufluss aus 165 – 219 m Tiefe, Mineralisation: 265,5 g/l
- Gradierwerk (neu, 8 m hoch, 30 m lang)

Bad Schönborn (5):

- Thermalwasserbohrung (1969) mit Zufluss aus 505 – 611 m Tiefe („Karl-Sigel-Quelle“), Mineralisation: 36,5 g/l
- Thermalwasserbohrung (1970) mit Zufluss aus bis zu 637 m Tiefe („Lambertusquelle“), Mineralisation: 29,4 g/l

Bad Wimpfen (6):

- Solebohrung (1907) mit Zufluss aus 95 – 104 m Tiefe, Mineralisation: 317,0 g/l

Hoheneck (7):

- zwei (?) Solebohrungen (1925/26 (?) und 1962), letztere mit Zufluss aus bis zu 177 m Tiefe („Solequelle II“), Mineralisation: 22,0 g/l

Rottweil (8):

- Solebohrung (1986) mit Zufluss aus bis zu 154 m Tiefe, Mineralisation: 302,8 g/l

Schwäbisch-Hall (9):

- Solebohrung (1957) mit Zufluss aus bis zu 25 – 45 m Tiefe („Neuer Haalbrunnen“), Mineralisation: 32,3 g/l



Die sogenannte Lange Wand – ein Gradierwerk – mit Windmühlenturm in Bad Nauheim, Hessen, Foto: Roland Meinecke / Wikipedia.

Bayern:**Bad Kissingen (10):**

- Thermalwasserbohrung (1831 – 54), mit Zufluss aus bis zu 583 m Tiefe („Schönborn-Sprudel“), Mineralisation 17,7 g/l
- Thermalwasserbohrung (1822) mit Zufluss aus bis zu 94 m Tiefe („Runder Brunnen“), Mineralisation: > 20,0 g/l
- Gradierwerk (alt, 10 m hoch, 40 m lang)

Bad Neustadt a.d. Saale (11):

- Salzquelle (1853 / 1953), mit Zufluss aus bis zu 4 / 8 m Tiefe („Bonifaziusquelle“), Mineralisation: 34,6 g/l
- zwei Thermalwasserbohrungen (1968), mit Zufluss aus bis zu 50 bzw. bis zu 246 m Tiefe („Karl-Theodor-Quelle“), Mineralisation: 54,5 g/l

Bad Reichenhall (12):

- Solebohrung (1970), mit Zufluss aus bis zu 523 m Tiefe („Gruttensteinquelle“), Mineralisation: 283,2 g/l, Salzgehalt: 25,4 %
- zwei Thermalwasserbohrungen (1968), mit Zufluss aus bis zu 50 bzw. bis zu 246 m Tiefe („Karl-Theodor-Quelle“), Mineralisation: 54,5 g/l
- Gradierwerk (13 m hoch, 160 m lang)

Bad Staffelstein (13):

- Thermalwasserbohrung (1975), mit Zufluss aus 985 – 1.210 m Tiefe („Therme I), Mineralisation: 92,8 g/l
- Thermalwasserbohrung (1993), mit Zufluss aus 905 – 1.158 m Tiefe („Therme II“), Mineralisation: 158,5 g/l
- Gradierwerk (7 m hoch, 2 x 50 m lang)

Bad Windsheim (14):

- Solebohrung (1999), mit Zufluss aus bis zu 211 m Tiefe, Mineralisation: > 327 g/l
- Thermalwasserbohrung (2001), mit Zufluss aus bis zu 1.220 m Tiefe, Mineralisation: > 45 g/l

Kitzingen (15):

- Thermalsolebohrung (2008) mit Zufluss ab 120 m Tiefe, Mineralisation: nicht publiziert

Brandenburg:**Bad Belzig (16):**

- Thermalwasserbohrung (1996) mit Zufluss aus 773 – 780 m Tiefe, Mineralisation 185,9 g/l

Bad Saarow (17):

- Thermalwasserbohrung (1996) mit Zufluss aus 428 – 450 m Tiefe („Catharinenquelle“), Mineralisation: 24,6 g/l

Bad Wilsnack (18):

- Thermalsolebohrung (1997) mit Zufluss aus 1.000 – 1.009 m Tiefe, Mineralisation: 164,9 g/l
- Gradierwerk (neu, 8 m hoch, 55 m lang)

Burg (19):

- Thermalsolebohrung (1998/99) mit Zufluss aus 1.296 – 1.308 m Tiefe, Mineralisation: ca. 240 g/l

Neuruppin (20):

- Thermalsolebohrung (2009) mit Zufluss aus 1.620 – 1.675 m Tiefe, Mineralisation: 183,9 g/l

Rheinsberg (21):

- Thermalsolebohrung (1995) mit Zufluss aus 1.647 – 1.669 m Tiefe, Mineralisation: 166 g/l

Templin (22):

- Thermalsolebohrung (1996) mit Zufluss aus 1.615 – 1.623 und 1.627 – 1.650 m Tiefe, Mineralisation: 162,7 g/l

Hessen:**Bad Homburg v.d. Höhe (23):**

- Thermalwasserbohrung (1851 – 54) mit Zufluss aus bis zu 505 m Tiefe („Solesprudel“), Mineralisation: 21,2 g/l

Bad Karlshafen (24):

- Solebohrung zur Salzgewinnung (1928 – 32) mit Zufluss aus 358 – 1.145 m Tiefe, Mineralisation: 301,4 g/l
- Gradierwerk (neu, 8 m hoch, 30 m lang)

Bad Nauheim (25):

- Thermalwasserbohrung (1841) mit Zufluss aus bis zu 160 m Tiefe („Sprudel VII“), Mineralisation: > 29,0 g/l
- Thermalwasserbohrung (1855) mit Zufluss aus bis zu 180 m Tiefe („Sprudel XII“, „Friedrich-Wilhelm-Sprudel“), Mineralisation: 33,9 g/l
- Thermalwasserbohrung (1900) mit Zufluss aus bis zu 210 m Tiefe („Sprudel XIV“), Mineralisation: > 29,3 g/l
- Gradierwerk (alt, 10 m hoch, 650 m lang)

Bad Orb (26):

- Thermalwasserbohrung (1738 / 1839 / 1955) mit Zufluss aus 56 – 75 m Tiefe („Phillipsquelle“), Mineralisation: 21,9 g/l
- Gradierwerk (alt, 12 m breit, 18 m hoch, 155 m lang)

Bad Salzhausen (27):

- Thermalwasserbohrung (1972/73) mit Zufluss aus bis zu 204 m Tiefe („Nibelungenquelle“), Mineralisation: > 23,7 g/l
- Thermalwasserbohrung (1976/77) mit Zufluss aus bis zu 197 m Tiefe („Roland-Krug-Quelle“), Mineralisation: 25,0 g/l
- Gradierwerk (alt)

Bad Salzschlirf (28):

- Thermalsolebohrung (1902 / 1974/75) mit Zufluss aus bis zu 310 m Tiefe („Solesprudel“), Mineralisation: > 51,3 g/l
- Thermalsolebohrung (1973) mit Zufluss aus 255 – 315 m, 350 – 400 m und 420 – 450 m Tiefe („Hermann-Vollrath-Brunnen“), Mineralisation: 22,8 g/l

Bad Soden am Taunus (29):

- Thermalsolebohrung (1857/58) mit Zufluss aus bis zu 220 m Tiefe („Quelle XXIV“ „Alter Sprudel“), Mineralisation: 17,1 g/l
- Thermalsolebohrung (1936 – 38) mit Zufluss aus bis zu 375 m Tiefe („Quelle XXVII“ „Neuer Sprudel“), Mineralisation: 18,0 g/l
- Solequelle („Quelle IV“, „Solbrunnen“), Mineralisation: 16,8 g/l

Bad Soden-Salmünster (30):

- Thermalsolebohrung (1906/07) mit Zufluss aus bis zu 406 m Tiefe („Pacifcus-Sprudel“), Mineralisation: > 42,4 g/l
- Thermalsolebohrung (1927/28) mit Zufluss aus bis zu 539 m Tiefe („König-Heinrich-Sprudel“), Mineralisation: 105,8 g/l
- Solebohrung (1971/72) mit Zufluss aus 360 – 503 m Tiefe („Fritz-Hamm-Sprudel“, „Großer Badesprudel“), Mineralisation: 102,5 g/l
- Gradierwerk (neu, 10 m lang)

Bad Sooden-Allendorf (31):

- Solebohrung (1840) mit Zufluss aus bis zu 286 m Tiefe („Gradierwerkbrunnen“), Mineralisation: 113,8 g/l

- Solebohrung (1965) mit Zufluss aus bis zu 35 m Tiefe („Betriebsbrunnen“), Mineralisation: 51,4 g/l
- Gradierwerk (neu, 12 m hoch, 140 m lang)

Bad Wilhelmshöhe (32):

- Thermalsolebohrung (1978/79) mit Zufluss aus 629 – 674 m Tiefe, Mineralisation: 21,1 g/l

Großenlüder (33):

- Solegewinnung (historisch), Quelle (St. Georgsquelle) mit Zufluss aus 12 – 19 m Tiefe, Mineralisation: 21,9 g/l

Mecklenburg-Vorpommern:**Lauterbach (34):**

- Solebohrung (2012) mit Zufluss aus 627 – 657 m Tiefe („Badehaus Goor“), Mineralisation: 72 g/l

Seebad Binz (35):

- Solebohrung (1994) mit Zufluss aus 1.022 – 1.111 m Tiefe, Mineralisation: 74 g/l

Seeheilbad Heringsdorf (36):

- Solebohrung (1926 – 28) mit Zufluss aus 384 – 408 m Tiefe, Mineralisation: 40,9 g/l

Waren (Müritz) (37):

- Thermalsolebohrung (1995) mit Zufluss aus 1.550 – 1.565 m Tiefe, Mineralisation: 158 g/l

Niedersachsen:**Bad Bentheim (38):**

- Thermalwasserbohrung (1973) mit Zufluss aus 1.110 – 1.170 m Tiefe („Fürstenquelle“), Mineralisation: 305,3 g/l

Bad Bevensen (39):

- Thermalwasserbohrung I (1967/68) mit Zufluss aus 412 – 470 m sowie 560 – 578 m Tiefe („Solequelle I“), Mineralisation: 106,3 g/l
- Thermalwasserbohrung II (1986/87) mit Zufluss aus 550 – 650 m Tiefe („Solequelle II“), Mineralisation: 114,7 g/l

Bad Essen (40):

- zwei Solebohrungen (1974/75, 1991/92), letztere mit Zufluss aus 470 – 802 m Tiefe, Mineralisation: 319,0 g/l
- Gradierwerk (neu, rund, 6 m hoch)

Bad Gandersheim (41):

- Heilquelle („Roswitha-Quelle“), Mineralisation: 17,7 g/l
- Solebohrung (1974) mit Zufluss aus 75 – 90 m und 95 – 135 m Tiefe („Herzog-Ludolf-Quelle“), Mineralisation: 36,8 g/l

Bad Harzburg (42):

- Thermalwasserbohrung (1907) mit Zufluss aus bis zu 78 m Tiefe („Johann-Albrecht-Quelle“), Mineralisation: > 18,9 g/l
- Thermalsolebohrung (1963 – 65) mit Zufluss aus 685 – 812 m Tiefe („Dr. Harras-Schneider-Quelle“), Mineralisation: 24,2 g/l

Bad Laer (43):

- Thermalwasserbohrung (1973) mit Zufluss aus 29 – 159 m Tiefe („Neue Martinsquelle“), Mineralisation: 76,6 g/l
- Thermalwasserbohrung (1969) mit Zufluss aus bis zu 100 m Tiefe („Augustinusquelle“), Mineralisation: 72,2 g/l

Bad Münden (44):

- Thermalsolebohrung (1965) mit Zufluss aus 56 – 116 m Tiefe („Neue Solequelle“), Mineralisation: 67,1 g/l

Bad Nenndorf/Soldorf (45):

- Solequelle (historisch) („Alte Solequelle“), Mineralisation: > 145,8 g/l
- Thermalsolebohrung (1963/64) mit Zufluss aus 210 – 297 m Tiefe („Neue Landgrafenquelle“), Mineralisation: 161,7 g/l

Bad Pyrmont (46):

- Thermalwasserbohrung (1856 – 59) mit Zufluss aus 120 – 227 m Tiefe („Salinenquelle I“), Mineralisation: 50,9 g/l
- Thermalwasserbohrung (1968 – 70) mit Zufluss aus bis zu 450 m Tiefe („Neue Landgrafenquelle“), Mineralisation: > 50,3 g/l

Bad Rothenfelde (47):

- Thermalwasserbohrung (1926) mit Zufluss aus bis zu 83 m Tiefe („Weidtman-Sprudel“), Mineralisation: 67,0 g/l
- Thermalwasserbohrung (1930/31) mit Zufluss aus 95 – 181 m Tiefe („Wittekind-Sprudel“), Mineralisation: 36,0 g/l
- zwei Gradierwerke (alt, 13 m hoch, 114 m lang), (neu, 10 m hoch, 420 m lang)

Bad Salzdetfurth (48):

- Thermalsolebohrung (1981) mit Zufluss aus 80 – 100 m Tiefe („St. Gallus-Solquelle“), Mineralisation: 23,0 g/l
- Solebrunnen (historisch / 1993) mit Zufluss aus bis zu 7 m Tiefe („St. Georgs-Brunnen“), Mineralisation: > 60,8 g/l
- zwei Gradierwerke (alt, 13 m hoch, 71 m bzw. 51 m lang)

Celle (49):

- Solebohrung (1992) mit Zufluss aus bis zu 286 m Tiefe, Mineralisation: 52,9 g/l

Dangast (50):

- Solebohrung (1974) mit Zufluss aus 453 – 543 m Tiefe („Jadequelle“), Mineralisation: 86,5 g/l

Dorum (51):

- Solebohrung (1971) mit Zufluss aus 35 – 45 m Tiefe, Mineralisation: 20,6 g/l

Gartow (52):

- Endlagererkundungsbohrung (1983) mit Zufluss aus bis zu 732 m Tiefe, Mineralisation: 237,3 g/l

Lüneburg (53):

- Solebrunnen (?) mit Zufluss aus 40 – 42 m Tiefe („Glückauf-Brunnen“), Mineralisation: 250,0 g/l
- Gradierwerk (58 m lang)

Salzgitter-Bad (55):

- Thermalsolebohrung (1971/72) mit Zufluss aus bis zu 234 m Tiefe, Mineralisation: 278,8 g/l

Salzhemmendorf (56):

- Solebohrung (1836 / 1854 / 1988 / 1999) mit Zufluss aus 4 – 13 m Tiefe („Alte Solequelle“), Mineralisation: 48,8 g/l

Soltau (57):

- Thermalsolebohrung (2001) mit Zufluss aus 205 – 215 m Tiefe, Mineralisation: 292,2 g/l

Nordrhein-Westfalen:**Arnsberg-Hüsten (58):**

- Geothermiebohrung (2006) mit Zufluss ab 583 m Tiefe, Salzgehalt: ca. 4 %
- Gradierwerk (neu, 40 m lang, 8 m hoch)

Bad Oeynhausen (59):

- Thermalwasserbohrung (1806) mit Zufluss aus bis zu 79 m Tiefe („Bülowbrunnen“), Mineralisation: > 54,7 g/l
- Thermalwasserbohrung (1830 – 45) mit Zufluss aus bis zu 696 m Tiefe („Oeynhausen-Sprudel“), Mineralisation: > 89,5 g/l
- Thermalwasserbohrung (1896 – 98) mit Zufluss aus bis zu 684 m Tiefe („Kaiser-Wilhelm-Sprudel“), Mineralisation: > 49,3 g/l
- Thermalwasserbohrung (1924 – 26) mit Zufluss aus bis zu 725 m Tiefe („Jordan-Sprudel“), Mineralisation: 20,9 g/l
- Thermalwasserbohrung (1959/60) mit Zufluss aus bis zu 184 m Tiefe („Kurdirektor Dr.-Schmid-Quelle“), Mineralisation: > 89,5 g/l
- Thermalwasserbohrung (1973) mit Zufluss aus bis zu 1.034 m Tiefe („Alexander-von-Humboldt-Sprudel“), Mineralisation: > 24,6 g/l
- Gradierwerk (neu, 70 m lang)

Bad Salzuflen (60):

- Thermalsolebohrung (1801/02) mit Zufluss aus bis zu 63 m Tiefe („Paulinenquelle“), Mineralisation: > 126,2 g/l
- Thermalwasserbohrung (1905/06) mit Zufluss aus bis zu 535 m Tiefe („Leopold-Thermal-Sprudel“ (I)), Mineralisation: > 112,0 g/l
- Thermalwasserbohrung (1914) mit Zufluss aus bis zu 54 m Tiefe („Neubrunnen“), Mineralisation: > 49,0 g/l
- Thermalwasserbohrung (1919 – 27) mit Zufluss aus bis zu 1.018 m Tiefe („Gustav-Horstmann-Thermal-Sprudel“ (II)), Mineralisation: 125,2 g/l
- Thermalwasserbohrung (1956 – 58) mit Zufluss aus 283 – 413 m Tiefe („Thermalsprudel“ (III)), Mineralisation: 70,2 g/l
- Thermalwasserbohrung (1961) mit Zufluss aus bis zu 50 m Tiefe („Sophienquelle a“), Mineralisation: > 86,9 g/l



- Thermalwasserbohrung (1962) mit Zufluss aus bis zu 9 m Tiefe („Sophienquelle b“), Mineralisation: > 45,7 g/l
- drei Gradierwerke (zwei alt, neues „Erlebnis-Gradierwerk“: 9 m hoch, 8,5 m breit, 82 m lang)

Bad Sassendorf (61):

- Solebohrung 13 (1927) mit Zufluss aus bis zu 267 m Tiefe, Mineralisation: > 16,1 g/l
- Solebohrung 14 (1959/60) mit Zufluss aus 263 – 459 m Tiefe, Mineralisation: 67,5 g/l
- Solebohrung 18 (1985) mit Zufluss aus bis zu 204 m Tiefe, Mineralisation: > 58,6 g/l
- Solebohrung 23 (1993) mit Zufluss aus bis zu 260 m Tiefe, Mineralisation: > 42,1 g/l
- Gradierwerk (alt, 10 m hoch, 60 m lang)

Bad Waldliesborn (62):

- Kohlebohrung (1901/02) mit Zufluss aus 610 m, 656 m und 900 m Tiefe („Solquelle 1“), Mineralisation: 113,1 g/l
- Solebohrung (1959/60) mit Zufluss aus 620 m, 705 m und 753 m Tiefe, Mineralisation: 103,1 g/l



Eines von acht Gradierwerken in Bad Kreuznach bzw. im Bad Kreuznacher Salinental, Rheinland-Pfalz, Foto: Axolotl Nr. 733 / Wikipedia.

Bad Westernkotten (63):

- Solebohrung I (1845) mit Zufluss aus bis zu 78 m Tiefe („Thermalsolequelle I“), Mineralisation: 82,5 g/l
- Solebohrung II (1965) mit Zufluss aus bis zu 78 m Tiefe („Thermalsolequelle II“), Mineralisation: 73,5 g/l
- zwei Gradierwerke (alt, 12,2 m hoch, 120 m lang bzw. 13 m hoch, 58 m lang)

Kevelaer (64):

- Thermalsolebohrung (1994/95) mit Zufluss aus bis zu 550 m Tiefe („Therme Kevelaer“), Mineralisation: nicht publiziert

Minden/Böhlhorst (65):

- Kohleschacht (1661) mit Zufluss aus 30 – 40 m Tiefe, Mineralisation: 89,8 g/l

Rheine-Bentlage (66):

- Thermalsolebohrung (1975) mit Zufluss bis 400 m Tiefe („Gottesgabe“), Mineralisation: > 49,9 g/l
- zwei Gradierwerke (alt: 35 m lang, neu: 30 m lang)

Rheinland-Pfalz:

Bad Dürkheim (67):

- Thermalwasserbohrung (1970/71) mit Zufluss aus bis zu 351 m Tiefe („Neue Maxquelle“), Mineralisation: > 32,1 g/l
- Gradierwerk (alt, 18 m hoch, 333 m lang)

Bad Kreuznach (68):

- zwei Thermalwasserbohrungen mit Zufluss aus bis zu 75 m Tiefe („Inselbäderquelle“) bzw. aus bis 505 m Tiefe („Theodorhaller Brunnen“), letztere mit Mineralisation: 18,4 g/l
- zwei Gradierwerke (alt, 9 m hoch, 50 m lang)
- sechs Gradierwerke im Salinental (alt und neu, 9 m hoch, 1.100 m lang)

Sachsen:

Bad Muskau (69):

- Thermalsolebohrung (2000/01) mit Zufluss aus 1.300 – 1.414 m Tiefe, Mineralisation: 75,8 g/l

Sachsen-Anhalt:**Bad Dürrenberg (70):**

- Solebohrung (1999), Daten noch nicht publiziert
- drei Gradierwerke (alt, 12 m hoch, 636 m lang)

Bad Kösen (71):

- Solebohrung (1849) mit Zufluss aus bis zu 213 m Tiefe („Borlachquelle“), Mineralisation: 48,4 g/l
- Thermalsolebohrung (1910/11) mit Zufluss aus 276 – 682 m Tiefe („Beyschlagquelle“), Mineralisation: 283,9 g/l
- Solebohrung (1985) mit Zufluss aus bis zu 335 m Tiefe („Neue Quelle“), Mineralisation: 77,9 g/l
- Gradierwerk (alt, 325 m lang)

Bad Salzelmen (72):

- Soleschacht (1774 – 76) mit Zufluss aus bis zu 85 m Tiefe („Dr.-Tolberg-Quelle“), Mineralisation: 91,7 g/l, Salzgehalt: 8,5 %
- Solebohrung (1996) mit Zufluss aus 36 – 44 und 46 – 74 m Tiefe („Erlenquelle“), Mineralisation: 56,9 g/l, Salzgehalt: 5,2 %
- Gradierwerk (alt, 320 m, neu verlängert auf 350 m)

Schleswig-Holstein:**Bad Schwartau (73):**

- Solebohrung I (1905/06) mit Zufluss aus bis zu 327 m Tiefe („Anton-Baumann-Quelle“), Mineralisation: > 31,2 g/l
- Solebohrung II (1972/73) mit Zufluss aus 315 – 333 m Tiefe („Kurhausquelle“), Mineralisation: 36,0 g/l
- Solebohrung III (1976) mit Zufluss aus bis zu 348 m Tiefe (verfüllt?), Mineralisation: > 36,2 g/l

Heide (74):

- Thermalsolebohrung (1989) mit Zufluss aus 361 – 421 m und 471 – 531 m Tiefe, Mineralisation: 128,3 g/l

Rantum/Sylt (54):

- Thermalsolebohrung (1992) mit Zufluss aus bis zu 657 m Tiefe („Sylt-Quelle“), Mineralisation: > 82 g/l

St. Peter-Ording (75):

- Meerwasserbohrung (1956) mit Zufluss aus bis zu 68 m Tiefe, Mineralisation: 28,3 g/l

Thüringen:**Bad Blankenburg (76):**

- Thermalwasserbohrung (1995) mit Zufluss aus 411 – 557 m Tiefe („St. Hildugard-Quelle“), Mineralisation: 89,4 g/l

Bad Colberg (77):

- Thermalsolebohrung (1994/95) mit Zufluss aus 1.125 – 1.377 m Tiefe, Mineralisation: 77,0 g/l

Bad Frankenhausen (78):

- Solegewinnung (historisch), Quelle („Elisabethquelle“), Mineralisation: 34,7 g/l
- Thermalwasserbohrung (1977) mit Zufluss aus 30 – 51 m Tiefe („Kyffhäuserquelle“), Mineralisation: 87,4 g/l

Bad Langensalza (79):

- Thermalsolebohrung (1996) mit Zufluss aus bis zu 1.044 m Tiefe, Mineralisation: nicht publiziert

Bad Salungen (80):

- Solebohrung (1868/69) mit Zufluss aus 85 – 88 m und 128 – 152 m Tiefe, Mineralisation: oben: 53,1 g/l, Salzgehalt: „6 %“, unten: 317,5 g/l, Salzgehalt: „27 %“
- Thermalwasserbohrung (1965) mit Zufluss aus bis zu 72 m Tiefe, Mineralisation: 41,7 g/l
- Gradierwerk (alt, 13,2 m hoch, 87 m lang)

Bad Sulza (81):

- Solebohrung (1870 – 84) mit Zufluss aus bis zu 336 m Tiefe („Carl-Alexander-Sophie-Quelle“), Mineralisation: 55,9 g/l
- Ersatzsolebohrung (1984) mit Zufluss aus bis zu 625 m Tiefe („Johann-Agricola-Solequelle“), Mineralisation: 123,3 g/l
- Gradierwerk (alt)

Heilbad Heiligenstadt (82):

- Thermalwasserbohrung (1995), mit Zufluss aus 483 – 527 m Tiefe („Heiligenstädter Martinsbrunnen“), Mineralisation: 275,2 g/l

5.3 Siedesalz

Siedesalz wird durch Verdampfung einer Sole mit möglichst hohem Salzgehalt gewonnen. Dabei kann es sich um natürliche oder auch künstliche Sole (Kapitel 5.2) handeln.

Historisch wurde Siedesalz immer in großen, typischerweise 6 – 8 m breiten, 10 – 20 m langen und 40 cm hohen sog. Siedepfannen aus Metall gewonnen. Diesen wurde von unten die für den Siedeprozess notwendige Wärme durch Verbrennung von Holz oder Kohle zugeführt. Nach einigen Stunden kristallisierten aus der Sole die ersten Salzkristalle aus. Ein hölzernes Pfannendach und Rohrleitungen ermöglichten die Sammlung und Ableitung des entstehenden Wasserdampfes nach außen. War ausreichend Wasser verdampft, wurde das sich am Pfannenboden absetzende Natursalz in mühevoller Arbeit und bei großer Hitze in Form eines Salzbreis an den Pfannenrand gezogen. Mit großen Salzschaufeln wurde dieser Salzbrei dann auf das Pfannendach ausgeschlagen, bevor er weiter getrocknet und verarbeitet wurde. Heute existiert nur noch eine einzige größere Pfannensaline in Europa, die Saline Luisenhall in Göttingen.

Um Energie zu sparen und die Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter zu verbessern, haben vor allem zwei Verfahren, Vakuumverdampfung und Thermokompression, die Pfannensiedung weitflächig abgelöst. Für diese neuen Verfahren müssen aus der Rohsole zuerst einmal die enthaltenen Kalzium- und Magnesiumsalze durch Zugabe von Hilfsmitteln ausgeflockt werden, da sie sonst alle Leitungen rasch verkrusten würden.

Beim Vakuumverfahren werden drei bis fünf Eindampfapparate hintereinandergeschaltet, wobei der Abdampf des ersten Verdampfers als Heizdampf für den zweiten Verdampfer, dessen Abdampf als Heizdampf für den dritten Verdampfer usw. dient. Der Unterschied der Siedetemperatur beträgt je Stufe ca. 12 bis 20° und wird durch ein unterschiedliches Druckniveau hervorgerufen.

Gewinnungsstellen von Siedesalz in Deutschland, Karte: BGR.



Beim Thermokompressionsverfahren wird der Abdampf eines oder mehrerer Eindampfapparate mit einem Turbokompressor abgesaugt, verdichtet und mit höherer Temperatur als Heizdampf wieder den gleichen Verdampfern zugeführt. Dank dieser Verfahren benötigt man heute zur Salzproduktion bis zu fünfzehnmal weniger Heizenergie als früher.

Das Salz kristallisiert in beiden Verfahren laufend aus und sammelt sich als nasser Salzbrei am unteren Ende des Verdampfers an. Von den Verdampfern wird der nasse Salzbrei in Zentrifugen geleitet. In diesen wird die Masse bei hoher Dreh-



In der Neuen Saline in Bad Reichenhall wird Siedesalz durch Thermokompression gewonnen, Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).

zahl geschleudert, so dass sich Wasser und Salz trennen. Circa 2 % Wasser bleiben als Restfeuchte im Salz. Das Salz erscheint jetzt erstmals leuchtend weiß und rein wie frischer Pulverschnee. Die endgültige Trocknung des Salzes erfolgt durch einen heißen Luftstrom auf Rosten oder in anderen Trocknungsanlagen. Am Ende dieses weiteren Prozessschrittes besitzt das Salz eine Restfeuchte von nur noch 0,01 % und eine Temperatur von

45 – 48 °C. Je nach Verwendungszweck wird es dann gesiebt oder zu bestimmten Korngrößen gepresst.

In Deutschland gibt es vier große Salinen, von denen drei Siedesalz durch Thermokompression und eine durch Vakuumverdampfung herstellen:

Die **Saline Borth** der esco – european salt company GmbH & Co. KG (s. Kapitel 5.1) nutzt nicht natürliche Sole zur Siedesalzerstellung, sondern den bei der Verarbeitung des Steinsalzes anfallenden Salzstaub, der in Wasser gelöst wird. Das aus dieser künstlichen Sole wieder auskristallisierte Siedesalz – bis zu 260.000 t jährlich – wird vor allem zu Produkten für die Wasserenthärtung, z. B. Tablettensalz und Geschirrspülsalz, verarbeitet.

Die **Saline Bernburg**, die ebenfalls zum Unternehmen esco gehört, verarbeitet natürliche Sole aus dem südöstlich gelegenen Solfeld Gnetsch (s. Kapitel 5.2.1). Produziert werden in Bernburg aus Siedesalz vor allem Speise- und Tafelsalze, Futtermittelsalz sowie Wasserenthärtungsprodukte (Salztabletten, Geschirrspülsalz usw.).

In der **Saline Bad Friedrichshall**, nördlich von Heilbronn, wird seit 1817 Siedesalz produziert. Heutiger Betreiber ist die Südwestdeutsche Salzwerke (SWS) AG (s. Kapitel 5.1), die hier Steinsalz aus ihrem Heilbronner Bergwerk in Wasser löst und dadurch künstliche Rohsole als Ausgangstoff für die Siedesalzproduktion durch Vakuumverdampfung erzeugt. Hergestellt werden Produkte wie

In der Saline Luisenhall wird das Salz mittels halbautomatischen Rechen aus der Siedepfanne abgezogen, Foto: Andreas Trepte, www.photo-natur.de, (mit frdl. Genehmigung).



Speisesalz, Pökelsalz, Salz für die Wasserenthärtung aber auch hochreines Pharmasalz.

Auch die Neue **Saline in Bad Reichenhall** gehört der SWS. Hier werden Solen aus dem Solungsbergwerk Berchtesgaden sowie aus Solebohrungen unterhalb Bad Reichenhalls zu jährlich rund 300.000 t Siedesalz aufbereitet. Zusätzlich zur Siedesalzgewinnung durch Thermokompression werden seit einiger Zeit in Bad Reichenhall kleinere Mengen an Siedesalz auch wieder in einer Pfanne ausgesoden. Das Speisesalz aus Bad Reichenhall ist unter dem Markennamen Bad Reichenhaller deutschlandweit bekannt (s. Kapitel 5.2.1).

Am Standort der **Saline Luisenhall GmbH** (Homepage: www.siedesalz.de) in Grone, einem Stadtteil von Göttingen, wird seit dem Jahr 1854 natürliche Sole und daraus Siedesalz produziert. Die Sole lagert unter 8 m mächtigen Steinsalzen, die bei der ersten Bohrung im Jahr 1853 in 462 m Tiefe angetroffen wurden.

Das Besondere an der Saline Luisenhall, die heute ein Industriedenkmal darstellt, ist zum einen die ununterbrochene Salzproduktion seit über 160 Jahren und zum anderen die Produktion in großen Siedepfannen. In diesen heute ausschließlich mit Steinkohle beheizten, 160 m² großen Siedepfannen aus Eisen wird die vorgereinigte gesättigte Sole auf 60 °C (für gröberes Salz) oder 80 °C (für feineres Salz) erhitzt. Bei der Siedung bilden sich im Vergleich zur heute sonst üblichen Unterdruckverdampfung relativ große Salzkristalle. Nach 24 Stunden sind etwa acht Tonnen Salz auskristallisiert, die in Form eines Salzbreis mittels eines halbautomatischen Rechens abgezogen und dann getrocknet werden.

Das getrocknete, zerkleinerte und mit unterschiedlich feinen Sieben nach Korngrößen klassierte Salz enthält neben Natriumchlorid noch andere Salze und wird daher größtenteils als hochwertiges, mineralstoffreiches Speisesalz („Luisenhaller Tiefensalz“, „Salzmühlensalz“, „Salzblüten“) verkauft. Unter anderem ist die Saline Luisenhall inoffizieller Hoflieferant des schwedischen Königshauses. Teilmengen werden von einer anderen Firma mit ätherischen Ölen versetzt und zu Badesalzen verarbeitet. Kleinere Mengen, die vor allem als Verarbeitungsrückstände anfallen, werden zur Düngung eingesetzt oder als Lecksteine vermarktet.

Neben der Verwendung zur Siedesalzproduktion, als Bädersonne, als gewerbliche Sole, als Auftausole im Winterdienst sowie in Zoos und Delphinarien wird die Luisenhaller Sole heute in einem an die Saline angeschlossenen Badehaus genutzt. Besucher können in der 18%igen Thermalsole bei 34 °C baden oder eine Soledampfsauna nutzen.

Im **Technischen Halloren- und Salinemuseum Halle** (Saale) (Homepage: www.salinemuseum.de) wird in einer Schausiedeanlage die Gewinnung von Siedesalz nach alter Art und Weise in einer großen Siedepfanne demonstriert. Die Sole wird gegenwärtig noch von Produzenten im Großraum Halle angeliefert und zunächst zum Absetzen der Schwebeteilchen in einem Solebehälter zwischengelagert. Bei Temperaturen von 70 – 85 °C wird



Salinenarbeiter beim Ausschlagen von Salzbrei auf dem Pfannendach, Foto: Karin Böhme, Hallesches Salinemuseum e.V. (mit frdl. Genehmigung).

die Sole in der Siedepfanne erhitzt, bis das Salz auskristallisiert und sich auf dem Pfannenboden absetzt. Dieses Salz wird auf das Pfannendach zum Abtropfen ausgeschlagen. Danach erfolgt die weitere Trocknung auf einer Trockenpfanne, bevor das Salz zerkleinert und gesiebt wird. Während einer Siedung werden aus 24 m³ Sole rund 2,5 t Salz gewonnen. Jährlich werden so rund 100 t rohes „HALLORE Siedesalz“ produziert. Dieses wird in drei Korngrößen angeboten: feines Salz für Salzstreuer, mittelkörniges Salz für Salzmühlen und grobes Salz als Badesalz. Diese Sorten werden teilweise weiter veredelt und können nicht nur in Rohform, sondern auch als Gewürzsalz, als Seife auf Solebasis sowie als Badesalz mit verschiedensten Duftnoten im Museum, aber auch in dessen Onlineshop erworben werden. Ebenso gibt es noch Gewerbesalz, das z. B. als Streusalz Verwendung findet. Das feste Bordsalz vom Pfannenrand wird zudem zu Lecksteinen für Nutztiere verarbeitet.

Die Siedeanlage im Salinemuseum Halle kann auch mit der Aussiedung fremder Solen beauftragt werden. So lässt der Produzent von „Sylter Speisesalz“ dort Salz aus der Rantumer Sole (s. Kapitel 5.2.2) aussieden.

Die zweitkleinste Salzproduktion in Deutschland weisen die Stadtwerke Waren GmbH (Homepage: www.stadtwerke-waren.de) in **Waren (Müritz)** in Mecklenburg-Vorpommern auf. Diese Stadtwerke nutzten bereits 1984 eine tiefe Bohrung zur Wärmegewinnung (Geothermie). Im Jahr 1995 wurde eine weitere, über 1.560 m tiefe Bohrung niedergebracht, die seitdem ebenfalls der Wärmegewinnung dient. Jährlich werden aus dieser Bohrung ca. 522.000 m³ 60 – 63 °C heiße Sole gefördert, von denen ca. 3.600 m³ für eine balneologische Nutzung im Heilbad Waren abgezweigt werden. Mittels eines selbstgebauten Infrarottrockners wird seit einiger Zeit zudem ein Teil der Sole verdampft, worauf das enthaltene Natursalz zurückbleibt. Die jährliche Produktionsmenge dieses „Original Warener Badesalzes“ beträgt 4 – 5 t.

Noch geringer als in Waren ist die Siedesalzproduktion im Kunsthof des Soleparks **Bad Salzellen**. Einerseits wird dort in unregelmäßigen Abständen Schausieden angeboten, andererseits erwirbt ein Teil der jährlich hunderttausenden von Kurgästen und Tagestouristen ein Säckchen mit „Original handgesiedetes Pfannensiedesalz aus Bad Salzelmener Natursole“. Jährlich werden zu diesen Zwecken in Bad Salzellen 2 – 3 t Siedesalz produziert.

Original Warener Badesalz, Foto: Stadtwerke Waren GmbH (mit frdl. Genehmigung).



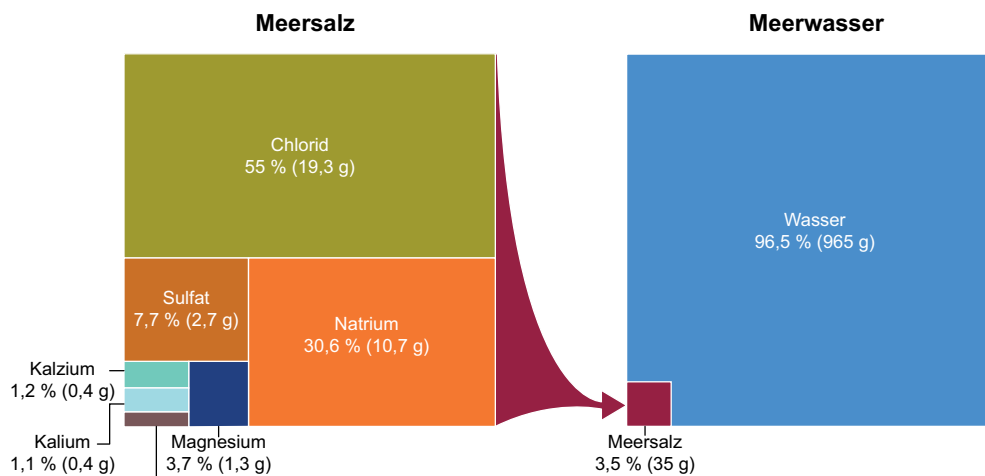
5.4 Meersalz

Noch mehr Salz als alle Salzlagerstätten der festen Erde enthalten die Ozeane. 1 t Meerwasser enthält durchschnittlich 35 kg Salz davon 10,71 kg Natriumchlorid. Was läge näher, als dieses Salz aus dem Meer zu gewinnen, was durch einfache Verdunstung in Salzgärten auch in vielen Ländern geschieht. In Deutschland sprechen die nicht ausreichende Sonnenscheindauer, der häufige Regen, die Meeresverschmutzung und die ausreichende Verfügbarkeit von Steinsalzlagerstätten gegen eine Meersalzgewinnung.

Dass dies aber nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch möglich ist, beweist seit Oktober 2013 der Sylter Zwei-Sterne-Koch Alexandro Pape. Er hat in List auf Sylt eine Meersalzproduktionsanlage installiert. Sie wird durch eine Pipeline versorgt, die 400 m vor Sylt in der Nordsee endet. Nach zwei Tagen Verweilzeit haben sich in einem 18.000 l-Vorratsbehälter und nach weiteren zwei Tagen in kleineren Tanks alle Schwebeteilchen abgesetzt und letztendlich auch ein Filter die Algen abgetrennt. Auf diese Weise vorgereinigt, fließt das Nordseewasser in die Produktionsanlage, wo bei 65 °C über drei Tage zuerst eine gesättigte Sole entsteht. Aus dieser kristallisiert dann feines Meersalz aus, das abgeschöpft wird und noch einen Tag lufttrocknet.



Gewinnungsstellen von Meersalz in Deutschland, Karte: BGR.



Anteil von Salz am Meerwasser (rechts) und chemische Zusammensetzung des Meersalzes, Grafik: BGR auf Basis einer Grafik von Dr. Hannes Grobe/AWI.

Grobes, von Gourmets besonders geschätztes Salz, wird durch Verregnung der Sole auf spezielle Kunststoffmatten hergestellt. Ein steter Strom aus Nordseeluft hilft bei der Auskristallisation zu groben Salzkristallen. Diese werden geerntet und ebenfalls luftgetrocknet, wobei aber eine gewisse Restfeuchte zurückbleibt. In der Sylter Salzmanufaktur (Homepage: www.sylter-meersalz.de) werden also ein feines wie auch ein grobes Meersalz hergestellt, das deutschlandweit vertrieben wird. Die Produktionskapazität liegt mittlerweile bei 20 t jährlich.



Original Sylter Meersalz steht in groben und feinen Körnungen zur Verfügung, Foto: Sylter Meersalz GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Der Erfinder Alexandro Pape und sein Salz, Foto: Sylter Meersalz GmbH (mit frdl. Genehmigung).



Die Sylter Salzmanufaktur in List auf Sylt, Foto: Sylter Meersalz GmbH (mit frdl. Genehmigung).

5.5 Kalisalz

Deutschland ist weltweit der fünftgrößte Produzent von Kalisalzen. Alle Kalibergwerke in Deutschland werden von der K+S KALI GmbH, einem Unternehmen der international tätigen K+S Gruppe mit Sitz in Kassel, betrieben.

Im internationalen Vergleich sind die deutschen Kalilagerstätten zwar sehr groß, führen aber nur relativ geringe Gehalte an Kali. Während Lagerstätten in Kanada und der russischen Föderation Gehalte von umgerechnet 25 – 30 % Kaliumoxid aufweisen, sind es in Deutschland nur 9 – 17 %. Ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor für den deutschen Kalibergbau sind die nur in den deutschen Lagerstätten enthaltenen Magnesiumsulfate. Aus ihnen wird unter anderem das für die Landwirtschaft sehr wichtige Kaliumsulfat, ein Spezialdüngemittel, hergestellt, aber auch technische Salze. Dazu im nächsten Kapitel mehr.

Das größte Kalibergwerk Deutschlands und eines der größten weltweit liegt in **Zielitz** in Sachsen-Anhalt. In dieser Region wurden 1960 bei Bohrungen Kalisalze in verhältnismäßig flacher Lagerung und mit Gehalten von umgerechnet im Mittel 14 % Kaliumoxid angetroffen. 1964 – 1966 wurden in Zielitz die ersten beiden von mittlerweile vier Schächten bis in 806 m Tiefe abgeteuft. 1969 begann dann die Rohsalzproduktion aus der größten Lagerstätte der damaligen DDR und 1973 die eigentliche Kaliproduktion im Dauerbetrieb.

Heute erfolgt die Gewinnung im Kalibergwerk Zielitz in Tiefen von 400 – 1.300 m. Abgebaut wird das durchschnittlich 7,4 m mächtige Kaliflöz Ronnenberg (s. Kapitel 2) mit umgerechnet aktuell 17 % Kaliumoxid im Bergwerksfeld 1 und umgerechnet 11 % Kaliumoxid im Bergwerksfeld 2. Das Abbaugebiet besitzt eine Fläche von rund 220 km², was der Fläche der Stadt Chemnitz entspricht. Nach knapp einem halben Jahrhundert Abbau haben die Fahrstrecken untertage stolze 240 km Länge erreicht.



Gewinnungsstellen von Kalisalzen in Deutschland, Karte: BGR.

Mit rund 1.800 Beschäftigten, davon fast 1.200 Bergleuten, ist das Kaliwerk Zielitz heute einer der größten industriellen Arbeitgeber Sachsen-Anhalts. Aus den täglich 41.000 t bzw. jährlich 12 Mio. t geförderten Rohsalz werden in komplexen Aufbereitungsverfahren jährlich rund 2 Mio. t verkaufsfähige Endprodukte hergestellt. Dabei handelt es sich in erster Linie um Düngemittel für die Landwirtschaft, seit 1996 aber auch um Kaliumchlorid für die Industrie und seit 2009 um hochreines Kaliumchlorid in Lebensmittelqualität. Der



Blick auf das Kaliwerk Zielitz in Sachsen-Anhalt, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Versand erfolgt zu 90 % über einen eigenen Bahnanschluss und zu 10 % mittels Lkw oder Umschlag auf Binnenschiffe.

Als Rückstand der Kalisalzgewinnung in Zielitz, wie in allen anderen Kalibergwerken weltweit, bleibt ein mit Tonen und unbrauchbaren Salzen verunreinigtes Steinsalz zurück. Durch die Auflockerung des untertage stark verdichteten Salzes ist die übertage anfallende Menge vom Volumen her so groß, dass sie nicht wieder einfach untertage in die entstandenen Hohlräume verbracht werden kann. Merkmal fast aller Kalibergwerke auf der ganzen Welt ist daher eine Kali- bzw. Rückstandshalde, die größtenteils aus Steinsalz besteht. Bei Zielitz ist diese Halde inzwischen über 120 m hoch und als „Kalimandscharo“ (Homepage: www.kalimandscharo.com) bekannt. Sie kann sogar regelmäßig im Rahmen von „Bergtouren“ bestiegen werden (s. Kapitel 6) und ist im Sommer regelmäßig Spielort für ein Freiluft-Theater.

Das einzige verbliebene, von nach dem Zweiten Weltkrieg noch 14 Kalibergwerken in Niedersachsen, ist Sigmundshall bei Wunstorf, westlich Hannover. Im Kalibergwerk **Sigmundshall** wird wie in Zielitz das Kaliflöz Ronnenberg und zusätzlich seit dem Jahr 2001 auch das Kaliflöz Staßfurt (s. Kapitel 2) abgebaut. Beide Flöze gehören zu den Salzschiechten des Salzstocks Bokeloh, der sich südlich des Steinhuder Meeres über 12 km Länge und 500



Das Kaliwerk Sigmundshall westlich Hannover mit markanter Rückstandshalde, die teilweise schon begrünt ist, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

bis 1.000 m Breite erstreckt. Aus über 3.000 m Tiefe ist dieser Salzstock vor etwa 140 Mio. Jahren nach oben aufgestiegen, wobei alle Salzschiechten intensiv verfaltet, mal zerquetscht und mal verdickt wurden. Der Abbau des durchschnittlich 6 m mächtigen Kaliflöz Ronnenberg und des durchschnittlich 9 m mächtigen Kaliflöz Staßfurt sind also nicht einfach. Das Flöz Ronnenberg enthält umgerechnet aktuell im Mittel 17 % Kaliumoxid und das Flöz Staßfurt umgerechnet 11 % Kaliumoxid, dafür aber mehr wertvolle Magnesiumsalze (Kapitel 5.6).



Blick auf das Werra-Kalirevier mit seinen in über einem Jahrhundert Kalibergbau gewachsenen Landschaftsstrukturen, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Im Jahr 1897 wurden erstmals beim Dorf Bokeloh nahe Wunstorf in Bohrungen Kalisalze entdeckt und 1898 dort ein erster von mittlerweile drei Schächten bis in 517 m Tiefe niedergebracht. Dabei wurden in verschiedenen Tiefen immer wieder Kalisalze angetroffen. Im Jahr 1905 wurde die Salzgewinnung aufgenommen und ab einem Jahr später die Rohsalze in einer neu errichteten Kalifabrik auch zu Düngemitteln verarbeitet. 1932 wurde Sigmundshall wie viele andere Kalibergwerke in Deutschland aufgrund von Überkapazitäten

geschlossen, aber 1947 wieder eröffnet. Seit 1949 wird dort wieder Rohsalz gefördert und 1993 die bisher tiefste Sohle in 1.400 m Tiefe aufgefahren. Die tiefste Abbaustelle liegt derzeit sogar bei 1.460 m.

Heute beschäftigt K+S in Sigmundshall rund 780 Mitarbeiter, davon 430 Bergleute. Diese bauen bei Temperaturen von 45 – 50 °C in den dortigen großen Tiefen jährlich rund 3 Mio. t Rohsalze ab. Aus diesen werden vor Ort ca. 800.000 t kalium- und magnesiumhaltige Düngemittel sowie Kaliumchlorid für industrielle Anwendungen hergestellt. Voraussichtlich im Jahr 2020 soll das Bergwerk Sigmundshall jedoch wegen Erschöpfung der Lagerstätte endgültig geschlossen werden (s. Kapitel 9).

Das Verbund-Kalibergwerk **Werra** liegt sowohl auf hessischem wie auch thüringischem Gebiet und besteht aus vier Einzelbergwerken: Hattorf und Wintershall in Osthessen sowie Unterbreizbach und Merkers in Südthüringen. Das Bergwerk Merkers hat 1993 die Produktion eingestellt und ist heute ein Erlebnisbergwerk (s. Kapitel 6). Weiterhin finden in diesem Grubenfeld bergmännische Sicherungsarbeiten statt.

Im Gegensatz zu den Kalirevieren in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt sind im Werra-Kalirevier nur die beiden älteren Kaliflöze Thüringen und Hessen (s. Kapitel 2) von wirtschaftlicher Bedeutung. Das Flöz Thüringen besitzt eine Mächtigkeit von durchschnittlich 3 – 7 m und Gehalte von umgerechnet 9 – 12 % Kaliumoxid. In Kuppen im thüringischen Teil der Lagerstätte wird dieses Flöz sogar bis zu 90 m mächtig. Das Flöz Hessen ist dünner und selten mehr als 2 – 3 m mächtig. Es führt umgerechnet nur 9 % Kaliumoxid, dafür aber mehr wertvolle Magnesiumsalze (s. Kapitel 5.6).

Ein großes Problem im Werra-Revier stellen Einschlüsse des Gases Kohlendioxid im Salz dar. Dieses lagerte sich vor rund 20 Millionen Jahren ein, während in der nahen Rhön Vulkane ausbrachen. Beim Anbohren oder bei Sprengungen können große Mengen dieses giftigen Kohlendioxids schlagartig und unerwartet freigesetzt werden. Solche Ereignisse haben im Werra-Kalirevier tragischerweise schon viele Menschenleben gefordert – das folgenschwerste Unglück ereignete sich 1938 in Merkers und forderte elf Menschenleben.

Das Werra-Revier ist deutlich jünger als das mitteldeutsche Kalirevier, in dem Mitte des 19. Jahrhunderts die Wiege des Kalibergbaus stand. Nachdem im Jahr 1893 erstmals Kalisalze im Werratal nachgewiesen wurden, waren bis 1913 bereits 28 Schächte abgeteuft worden. Immer wieder hatte man dabei mit Wassereinbrüchen zu kämpfen. 1925 wurde hier in Merkers das damals größte Kaliwerk der Welt in Betrieb genommen. Im Zweiten Weltkrieg kam die Kaliproduktion teilweise zum Erliegen und ein Teil der Bergwerke wurde – wie in anderen Revieren auch – zu militärischen Zwecken oder zur Einlagerung von Wertgegenständen genutzt. Mit der Teilung Deutschlands ging die Kaliproduktion im Werra-Revier getrennte Wege und wurde erst nach der politischen Wende ebenfalls wiedervereint. Hierbei fielen auf thüringischer Seite zwei der ehemals drei großen Kalibergwerke der Konsolidierung zum Opfer und nur das Bergwerk Unterbreizbach ist weiterhin in Produktion. Es ist durch zwei Schächte erschlossen, die bis in

780 bzw. 830 m Tiefe reichen. Die Förderung aus Unterbreizbach begann im Jahr 1910. Auf hessischer Seite wurde die Gewinnung aus dem Bergwerk Wintershall in Heringen im Jahr 1903 und aus dem Bergwerk Hattorf in Philippstal im Jahr 1908 aufgenommen.

Insgesamt erstrecken sich die untertägigen Fahrstrecken im Verbund-Kalibergwerk Werra heute über rund 760 km Länge bzw. die Grubenbereiche über 350 km² Fläche, was die Fläche der Stadt Dresden (328 km²) übertrifft. Drei Förderschächte und 20 Material- und Wetterschächte (s. Kapitel 5.1) erschließen die beiden Kaliflöze, die zwischen 300 und 1.250 m Tiefe auf zwei Sohlen abgebaut werden. Die Förderung von jährlich 20 Mio. t Rohsalz, ihre Verarbeitung in drei Werken zu rund 3,2 Mio. t verkaufsfähigen Produkten sowie die teilweise Rückverfüllung der untertägig entstandenen Hohlräume geben fast 4.400 Personen, davon 2.100 Bergleuten, Arbeit. Das Verbundwerk Werra



ist damit nicht nur der größte Arbeitgeber in dieser ansonsten strukturschwachen Region in der Mitte Deutschlands, sondern auch einer der größten Kalisalzgewinnungsstandorte der Erde.

Der Kalisalzabbau im Werra-Revier hat auch Spuren in der Landschaft hinterlassen. So gibt es inzwischen mehrere Kalihalden, davon drei größere. Die größte Halde wächst seit 1976 in der Nähe des Bergwerks Wintershall in Heringen und besitzt stolze 220 m Höhe, 1.100 m Länge und 700 m Breite. Sie trägt den Namen „Monte Kali“, umfasst derzeit rund 190 Mio. t Salzmasse und wächst jährlich um weitere 6,5 Mio. t an. Auch sie ist Ziel von touristischen Haldenbesteigungen und gelegentlichen Musikdarbietungen. Die landschaftsprägenden Rückstandshalden nutzen die Standortkommunen für das Prädikat „Land der Weißen Berge“.

Gravierender als die Veränderung des Landschaftsbildes sind jedoch die Risiken einer möglichen Grundwasserversalzung durch diese Kalihalden und die Versalzung, die von den Produktionsabwässern der Werke ausgehen. Dies sind Themen, die in Kapitel 8 behandelt werden sollen.

Ein weiteres, ca. 150 km² großes Kalisalzvorkommen befindet sich südlich Fulda in Hessen. Hier, rund um das Kalibergwerk **Neuhof-Ellers**, sind das Kaliflöz Thüringen in 2 – 7 m Mächtigkeit und mit umgerechnet durchschnittlich 13 % Kaliumoxid sowie das Kaliflöz Hessen in 2,5 – 4 m Mächtigkeit und mit umgerechnet 10 – 12 % Kaliumoxid verbreitet (s. Kapitel 2). Nachdem in dieser Region im Jahr 1900 erstmals Kalisalz nachgewiesen wurde, wurde ein erster Schacht zwischen 1906

Luftaufnahme des Kaliwerkes Neuhof-Ellers südlich Fulda mit seiner markanten Rückstandshalde, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).



und 1909 und ein zweiter Schacht zwischen 1912 und 1921 abgeteuft. Von 1910 bis 1926 dauerte die erste kurze Produktionsperiode, der erst ab 1954 die jetzige folgte.

In Neuhoef-Ellers wurde früher nur das Kaliflöz Hessen abgebaut, das umgerechnet aktuell 10,4 % Kaliumoxid, aber hohe Gehalte an Magnesiumsalzen aufweist. Das Kaliflöz Thüringen steht erst seit wenigen Jahren in Abbau. Die Gewinnung der beiden Flöze findet in Tiefen zwischen 540 und 780 m statt. Untertage erstrecken sich die Fahrstrecken auf rund 70 km Länge bzw. auf 100 km² Fläche.

Die 750 Mitarbeiter vor Ort, darunter 300 Bergleute, fördern und verarbeiten täglich 13.600 t bzw. jährlich 4,1 Mio. t Rohsalz. Im angeschlossenen Kaliwerk werden daraus jährlich rund 1,3 Mio. t verkaufsfähige Produkte, zu zwei Dritteln kalium- und magnesiumhaltige Düngemittel sowie zu einem Drittel Magnesiumsulfat, produziert.

Auch das Werk Neuhoef-Ellers besitzt eine markante Rückstandshalde. Sie wurde 1954 angelegt und weist aktuell eine Länge von ca. 1.200 m, eine Breite von ca. 880 m und eine Höhe von ca. 200 m auf. Die salzhaltigen Haldenwässer werden zur Entsorgung über eine 63 km lange Leitung zum Standort Hattorf des Werkes Werra gepumpt.

Neben dem großen Unternehmen K+S AG gibt es noch einen weiteren, jedoch wesentlich kleineren Produzenten von Kaliumchlorid in Deutschland. In Bleicherode, westlich der Stadt Nordhausen im Thüringer Südharz, befindet sich der Firmensitz der DEUSA International GmbH (Homepage: www.deusa.de). Die DEUSA gewinnt seit 1985 aus ihrem nördlich von Bleicherode gelegenen Solfeld **Kehmstedt** eine kalisalzreiche Sole. Bei dem angewendeten Solungsverfahren mittels spezieller heißer Halbsole, werden aus dem Kaliflöz Staßfurt (s. Kapitel 2) vorrangig die begehrten Kalium- und Magnesiumsalze gelöst, während der Großteil des Steinsalzes, der anderen Salze und der Tone in der Lagerstätte zurückbleiben. Das Kaliflöz Staßfurt führt bei Kehmstedt umgerechnet 11 – 12 % Kaliumoxid und ist 35 – 40 m mächtig. Die ausgesolten Kavernen, bisher 62 an der Zahl, befinden sich in rund 450 m Tiefe, sind 30 – 50 m hoch, ca. 60 m lang und ca. 120 m breit. Sie werden nach ihrer Nutzung mit dafür zugelassenen Stoffen, wie Bohrspülungen, wieder verfüllt. Zu den Produkten der DEUSA gehören verschiedene Magnesiumchlorid- und Natriumchlorid-Solen, festes Magnesiumchlorid, feuchtes und getrocknetes Kaliumchlorid zur Düngemittelproduktion sowie eine Natriumchloridsalzpaste zur Mineralienversorgung von Wildtieren.



Blick über das Solfeld Kehmstedt im Frühling, Foto: DEUSA International GmbH (mit frdl. Genehmigung).

5.6 Magnesiumsalze

Magnesiumsalze treten in Deutschland nur zusammen mit Kalisalzen (s. Kapitel 5.5.) auf, wobei es regional magnesiumsalzreiche, aber auch magnesiumsalzarme Kalisalzflöze gibt.

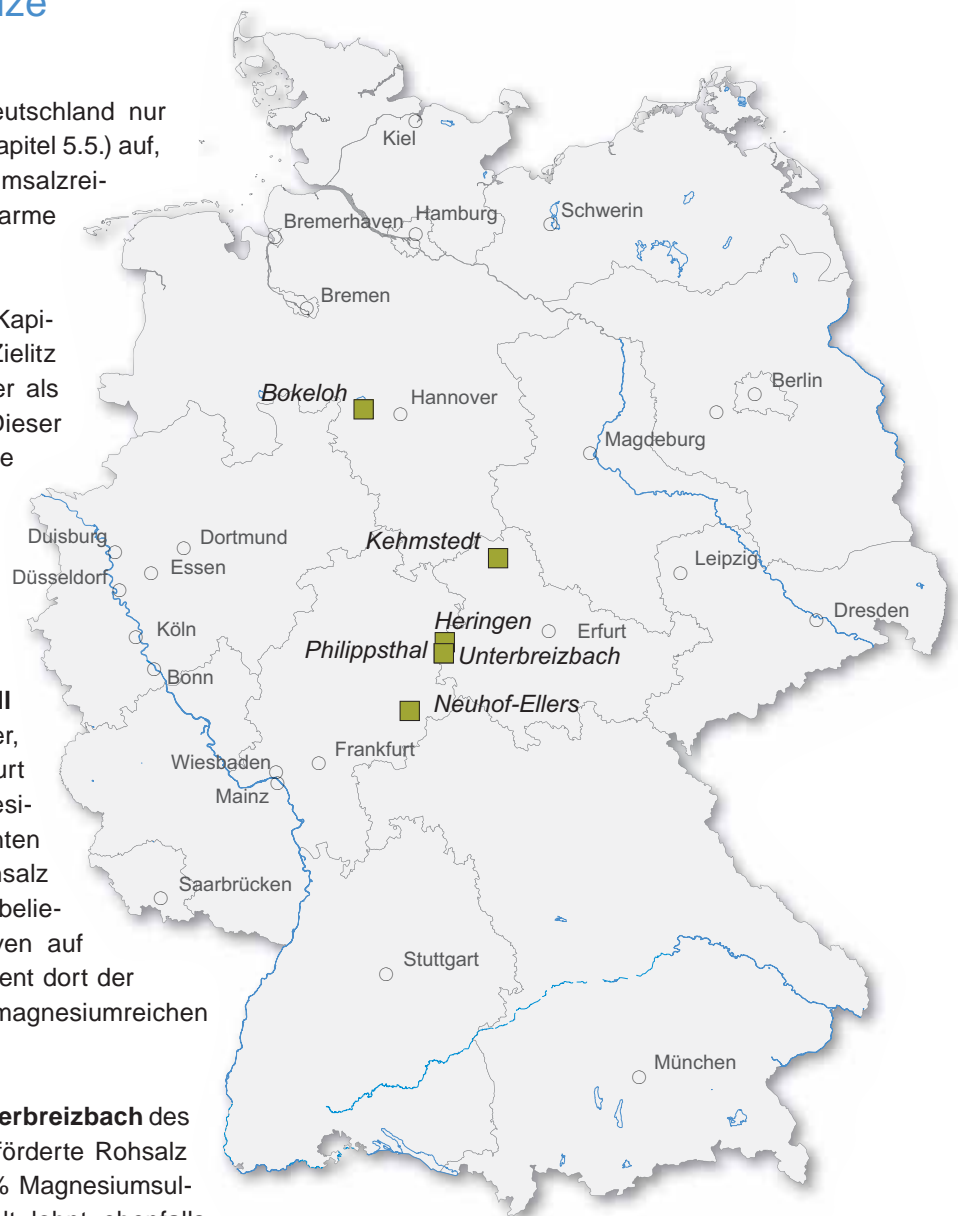
Das Kaliflöz Ronnenberg (s. Kapitel 2), das im Kalibergwerk Zielitz abgebaut wird, enthält weniger als 1 % Magnesiumsulfatsalze. Dieser geringe Wert lohnt nicht die Abtrennung. Auch an diesem Standort kommt in der Lagerstätte das Kaliflöz Staßfurt vor; es wird aber derzeit nicht in die Gewinnung einbezogen.

Im Kalibergwerk **Sigmundshall** bei Wunstorf, westlich Hannover, ist besonders das Flöz Staßfurt (s. Kapitel 2) reich an Magnesiumsulfatsalz, dem sogenannten Hartsalz. Der Gehalt im Rohsalz liegt bei über 30 %. Ende 2012 beliefen sich die dortigen Reserven auf 4,0 Mio. t dieses Salzes. Es dient dort der Produktion von kalium- und magnesiumreichen Düngemitteln.

Am thüringischen Standort **Unterbreizbach** des Werkes Werra enthält das geförderte Rohsalz im Durchschnitt nur knapp 3 % Magnesiumsulfatsalz. Dieser geringe Gehalt lohnt ebenfalls nicht eine gesonderte Abtrennung. Stattdessen sind die Kaliflöze in Unterbreizbach mit durchschnittlich 47 % aber sehr reich an Kalium-Magnesiumchlorid-Salz. Bei dessen Aufbereitung mit dem Ziel der Abtrennung von Kaliumchlorid entsteht gesättigte Magnesiumchlorid-Lösung. Diese ist in der anfallenden großen Menge jedoch nur teilweise verkäuflich, so dass sie auch bergtechnisch verwertet wird. Hierfür wird sie eingedampft und dadurch konzentriert, dann mit zugelieferten Aschen zu einem Brei vermischt und schließlich untertage zur Verfüllung stillgelegter Abbaukammern gepumpt. Dort härtet das Material dann aus und dient zur Stabilisierung des Bergwerks. Die auf diese Weise nicht verwertbare und immer noch überschüssige Magnesiumchlorid-Lösung wird zum Standort Wintershall des Werkes Werra

gepumpt, wo sie entweder in die Werra eingeleitet oder in tiefe Gesteinsschichten verpresst wird (s. Kapitel 8).

Im Grubenbetrieb Hattorf/Wintershall des Werkes Werra führt das Rohsalz durchschnittlich 12 % Magnesiumsulfatsalz, aber auch 9 % Kalium-Magnesium-Chloridsalz. Die vergleichbaren Werte im Feldesteil Wintershall liegen bei durchschnittlich 13 % Magnesiumsulfatsalz, aber nur 2 % Kalium-Magnesium-Chloridsalz. Bei der Aufbereitung des



Gewinnungsstellen von Magnesiumsalzen in Deutschland, Karte: BGR.



Kartoffeln gehören zu den chloridempfindlichen Pflanzen und benötigen sulfatische Düngemittel, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

letzteren Salzes fällt wie in Unterbreizbach Magnesiumchlorid-Lösung an, die größtenteils mangels Verkaufsmöglichkeiten entsorgt werden muss.

Wesentlich interessanter und wertvoller ist das Magnesiumsulfatsalz. Ende 2012 beliefen sich die Reserven dieses Salzes in den beiden Bergwerken Hattorf und Wintershall auf zusammen 78,3 Mio. t. Es wird in den beiden zugehörigen Kaliwerken sorgsam abgetrennt und gereinigt und daraus Magnesiumsulfat (Bittersalz) gewonnen. Das Magnesiumsulfat oder auch aufgemahle-

nes Magnesiumsulfatsalz wird mit Kaliumchlorid versetzt, worauf sich das begehrte Kaliumsulfat bildet, aber leider ebenfalls wiederum Magnesiumchlorid. Kaliumsulfat ist eines der wertvollsten Einzelprodukte in den Werken von K+S und ein international nachgefragtes Düngemittel für chloridempfindliche Pflanzen.

Das Rohsalz aus dem Kalibergwerk **Neuhof-Ellers** enthält nur durchschnittlich 3 % Kalium-Magnesium-Chloridsalz, aber hohe 20 % Hartsalz. Ende 2012 beliefen sich die Reserven letzteren Salzes in Neuhof-Ellers auf 19,3 Mio. t. Der hohe Anteil im Rohsalz ermöglicht die Abtrennung in einem besonderen Aufbereitungsverfahren, bei dem kein Waschwasser benötigt wird.

Das Kaliwerk Neuhof-Ellers ist das „Spezialitäten-Werk“ von K+S. Die dort aus dem Rohsalz gewonnenen Einzelrohstoffe Kaliumchlorid und Magnesiumsulfat dienen in verschiedenen Anteilen zur Produktion einer Vielzahl von Düngemittelspezialitäten.

Auch die DEUSA International GmbH gewinnt aus der von ihr aus dem Solfeld **Kehmstedt** geförderten Sole Magnesiumsalze und zwar in Form von unterschiedlich hoch konzentrierten und gereinigten Magnesiumchlorid-Solen sowie festem Magnesiumchlorid.



Kalidünger aus Deutschland ernährt die Welt, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

6



Salzgewinnung und Tourismus

Die faszinierende Welt der Salzgewinnung in Deutschland kann auch von Nichtfachleuten nachvollzogen werden. Zu diesem Zweck haben verschiedene Salzabbauunternehmen Teilbereiche von Bergwerken, nicht mehr genutzte Salinen, aber auch weiterhin genutzte Kalihalden zur Besichtigung freigegeben. Zudem gibt es in Deutschland mehrere Salzmuseen.

Das ehemalige **Kalibergwerk Merkers** (Abbau: 1901 – 1993) in Südthüringen wurde von der K+S AG zu einem Erlebnisbergwerk umgebaut (Homepage: www.erlebnisbergwerk.de). Seit 1991 haben mehr als 1,7 Millionen Personen dieses Schaubergwerk besucht. Ganzjährig geboten werden geführte Erlebnistouren untertage, ein Museum, die Multimedia-Präsentation einer Sprengung, die Besichtigung eines Großbunkers mit Schaufelradbagger und Lasershow, der legen-

dären Goldraums und der erst 1980 entdeckten einzigartigen Salzkristallgrotte, Konzertveranstaltungen, Mountainbike-Touren, Marathonläufe und ein Hochseilgarten. Zudem können Hochzeiten, Kindergeburtstage, Firmen- und Geburtstagsfeiern sowie Seminare und Tagungen ausgerichtet werden.

Das ehemalige **Steinsalzbergwerk Kochendorf** (Bad Friedrichshall) (Abbau: 1899 – 1994) bei Heilbronn ist für Besucher von Mai bis Anfang Oktober an den Wochenenden und Feiertagen geöffnet (Homepage: www.salzwelt.de). Es bietet in einzelnen Kammern ein Museum mit interaktivem Labor, die Dauerausstellung „Gedenkstätte KZ-Kochendorf“, Technikräume und einen Kristallsaal. Beliebt ist auch die 40 m lange Holzrutsche. Ein Restaurant über Tage und ein Mineralien- und Souvenirartikelgeschäft runden das Angebot ab.

Blick in die Salzkristallgrotte im Erlebnis Bergwerk Merkers. Person im beleuchteten Grottenraum als Maßstab, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).





Riesensteinsalzkristalle im Erlebnis Bergwerk Merkers, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).





Bootsfahrt auf dem Spiegelsee im Erlebnisbergwerk Berchtesgaden, Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).



Bereits ab 1816 konnten ausgewählte Besucher das **Solungsbergwerk Berchtesgaden** (Abbau: seit 1517) besuchen und 1880 öffnete es für die Allgemeinheit. Nach einer umfassenden Neukonzeption und der damit verbundenen Verwandlung zu einem Erlebnisbergwerk, eröffnete die „Salz-ZeitReise“ mit neuem Besucherzentrum im Jahr 2007 ihre Pforten (Homepage: www.salzbergwerk.de). Rund 350.000 Besucher besichtigen seitdem jährlich dieses Bergwerk. Eine Grubenbahn bringt die Gäste rund 650 m in den Berg. Auf einem Rundwanderweg werden ausgesolte Hohlräume, eine Erinnerungsgrotte an König Ludwig II. von Bayern, ein Salzlabor und verschiede-

ne technische Einrichtungen besucht. Höhepunkte jeder Führung sind jedoch die beiden 34 m und 40 m langen Holzrutschen und der 1.400 m² große Spiegelsee. Wieder an der Erdoberfläche erwartet ein Salzgeschäft die Besucher. In Zusammenarbeit mit einem Restaurant können auch größere Veranstaltungen untertage organisiert werden. In einem abgeschiedenen Bereich des Bergwerks ist zudem im Jahr 1990 ein Salzheilstollen eingerichtet worden (Homepage: www.salzheilstollen.com).

Auch ein Bereich des ehemaligen Kalibergwerks (Abbau: 1896 – 1990) und heutigen **Steinsalzbergwerks „Glückauf“** in Sondershausen in

Die Heilige Barbara, Schutzheilige der Bergleute, im Erlebnisbergwerk Sondershausen, Foto: Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH (mit frdl. Genehmigung).



Nordthüringen wurde 1998 zu einem Erlebnisbergwerk ausgebaut (Homepage: www.erlebnisbergwerk.com). Seitdem wurde das Untertage-Angebot ständig erweitert und umfasst derzeit geführte Touren im offenen Lkw zu technischen Einrichtungen, zu einem untertägigen Fest- und Konzertsaal und zu einer Dauerausstellung von ehemaligen Heeresmunitionsanstalten. Weiterhin stehen eine Kahnfahrt mit Spreewaldkähnen auf einem Solesee und eine Rutschpartie auf einer 52 m langen Rutsche auf dem Programm. An Veranstaltungen untertage werden Konzerte, Laufveranstaltungen, Fahrradtouren und Kegeln auf eigener Kegelbahn angeboten.





Blick auf die Alte Saline von Bad Reichenhall, Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).



Schausieden in der historischen Saline Halle, Foto: Karin Böhme, Hallesches Salinemuseum e.V. (mit frdl. Genehmigung).



1.000 Jahre Lüneburger Salz, wieder lebendig gemacht im Deutschen Salzmuseum in Lüneburg, Foto: Deutsches Salzmuseum (mit frdl. Genehmigung).



In der prachtvollen **Alten Saline von Bad Reichenhall**, die zwischen 1834 und 1929 genutzt wurde, können bei einer Führung der Austritt der Karl-Theodor-Quelle (s. Kapitel 5.2.2), die alten Gewinnungsanlagen und eine Salzgrotte besichtigt werden (Homepage: www.alte-saline.de). Ein Salzmuseum und ein Markenmuseum mit Salzgeschäft rund um die Kultmarke „Bad Reichenhaller“ runden das Angebot ab.

Die Tourist-Information Göttingen (Homepage: www.goettingen-tourismus.de) bietet einmal monatlich unter dem Motto „Sole, Salz und Siedepfannen“ eine 1,5-stündige Tour durch die aktive **Saline Luisenhall** (Homepage: www.siedesalz.de) an (s. Kapitel 5.3).

Das Technische Halloren- und Salinemuseum Halle (Saale) (Homepage: www.salinemuseum.de) zeigt in der **Saline Halle** (Produktion: 1721 – 1964) ein umfangreiches museales Angebot zur Geschichte der Salzgewinnung und -verarbeitung in Halle und Umgebung. Höhepunkte im Veranstaltungskalender sind die großen öffentlichen Schausiedern an

der großen Siedepfanne (s. Kapitel 5.3). Zudem gibt es ständig wechselnde Sonderausstellungen, die Vortragsreihe „Salzforum“ sowie die Möglichkeit zum Ausrichten von großen privaten Veranstaltungen (mit Schausiedern) bis hin zu Kindergeburtstagen.

Im Siedehaus der ehemaligen **Saline Lüneburg** (Produktion bis 1980) wurde 1989 das Deutsche Salzmuseum eröffnet (Homepage: www.salzmuseum.de). Eine Dauerausstellung zeigt die über 1.000-jährige Geschichte der Salzgewinnung in Lüneburg mit zahlreichen Exponaten. Weiterhin wird die heutige Bedeutung von Salz für die Gesellschaft betont. Dazu gibt es wechselnde Sonderausstellungen und Veranstaltungen. Im Museumsshop können Publikationen rund um das Thema Salz und seit dem Jahr 2013 auch „Original Lüneburger Hanse-Salz“ aus der eigenen kleinen Schausiederei erworben werden.

Im Zentrum des deutschen Kalibergbaus, in Heringen in Osthessen, kann das Werra-Kalibergbau-Museum (www.kalimuseum.heringen.de)

besichtigt werden. Es informiert rund um das Thema Kalibergbau im Werra-Revier und bietet geführte Touren auf den 220 m hohen „**Monte Kali**“ (s. Kapitel 5.5).

Ebenfalls einmal wöchentlich im Sommer kann auch der über 120 m hohe „**Kalimandscharo**“ bei Zielitz in Sachsen-Anhalt bestiegen werden (Homepage: www.kalimandscharo.com). Eine Besteigung der Kalihalden der aktiven Bergwerke Sigmundshall bei Wunstorf und Neuhof-Ellers bei Fulda ist dagegen nur zu besonderen Terminen möglich. Alle Kalihalden bieten bei gutem Wetter einen faszinierenden Rundblick in die weitere Umgebung.

Erst im Jahr 2015 wurde in **Bad Sassendorf** in einem alten Bauernhof das moderne Erlebnismuseum „Westfälische Salzwelten“ eröffnet (Homepage: www.westfaelische-salzwelten.de). Neben allgemeinen Informationen zur Struktur und Gewinnung von Salz wird ein weiterer Schwer-

punkt auf die Nutzung von Salz und Sole gelegt. Ein Museumsshop verkauft Produkte rund ums Salz aus aller Welt.

Im Solepark von **Bad Salzelmen** finden in unregelmäßigen Abständen Besichtigungen des Gradierwerkes, Pfännertouren sowie Schausieden statt. Dabei besteht auch die Möglichkeit, im Kunsthof des Soleparks handgesiedetes Pfannensiedesalz zu erwerben.

Im Kloster Bentlage in Rheine werden Führungen durch die historische **Saline Gottesgabe** und eigenes Salzsieden in einer Salzwerkstatt angeboten (Homepage: www.kloster-bentlage.de).

In vielen Heilbädern sind zudem Besichtigungen der dortigen ehemaligen Salinen (z. B. Bad Kösen, Bad Rappenu) oder von Gradierwerken (z. B. Bad Rothenfelde, Bad Dürkheim) möglich. Zudem sind örtlich kleinere Salinemuseen eingerichtet (z. B. Bad Sulza).



Besucherguppe beim Aufstieg auf den Monte Kali im osthessischen Werrarevier, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

7



Wertschöpfung in der
weiterverarbeitenden Industrie

In den deutschen Betriebsstätten der salzgewinnenden Unternehmen waren zum Ende des Jahres 2014 rund 10.500 Personen direkt beschäftigt, die einen Umsatz von über 2,4 Mrd. € erwirtschafteten. Regional sind die deutschen Stein- und Kalisalzbergwerke sehr bedeutende Arbeitgeber, von deren Investitionen noch wesentlich mehr indirekte Arbeitsplätze, z. B. im Handel und Transport oder im Anlagenbau, abhängen.

Hochwertige Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze aus heimischen Lagerstätten sind in der deutschen und europäischen Industrie sowie der internationalen Landwirtschaft begehrte und unverzichtbare Rohstoffe. Anhand von drei großen Industriezweigen, deren Produktion ohne Salze zum Erliegen kommen würde, soll die nachgelagerte Wertschöpfung in Deutschland beispielhaft dargestellt werden.

Chemische Industrie

Ein Großteil der Produktion der chemischen Industrie Deutschlands basiert auf den Primärrohstoffen Chlor und Natriumhydroxid (Natronlauge). Beide Rohstoffe werden durch Chloralkali-Elektrolyse aus Steinsalz bzw. Natriumchlorid-Sole gewonnen.

Chlor ist ein gelbgrünes Gas und giftig. Es ist sehr reaktionsfähig und wirkt stark oxidierend. Zudem ist es aber auch ein sehr vielseitiges Element und wird deshalb sowohl zur Herstellung als auch in zahlreichen Stoffen verwendet. Chlor wird beispielsweise im Produktionsprozess zur Herstellung von Polyurethanen (PU) als Reaktionsmittel eingesetzt, im Endprodukt ist es aber gar nicht mehr vorhanden. Polyurethane haben ein breites Einsatzgebiet und finden vorwiegend als Schaumstoffe sowie in Lacken und Beschichtungen Verwendung. Endprodukte, die PU enthalten, sind zum Beispiel Matratzen, Schuhsohlen, Dichtungen, Schläuche, Fußböden, Dämmstoffe, Autositze, Laufbahnen in Stadien, Armaturenbretter oder auch Kondome. Ein weiterer wichtiger Kunststoff ist Polyvinylchlorid (PVC), das aus Dichlorethan hergestellt wird. Zur Herstellung von Dichlorethan benötigt man Chlor. Ein großer Teil des hergestellten PVCs wird in der Bauindustrie für Fensterrahmen, Kabelrohre oder Fußbodenbeläge verwendet. Aber nicht nur Kunststoffe werden aus bzw. mit Chlor hergestellt. Auch 85 % aller Medikamente und 96 % der in der



Steinsalz aus ihrem Steinsalzbergwerk Stetten in Baden-Württemberg dient der Wacker Chemie AG zur Produktion von Reinstsilizium (Halbleitersilizium, Solarzellensilizium) in ihrem Werk Burghausen, Foto: Wacker Chemie AG (mit frdl. Genehmigung).

Landwirtschaft verwendeten Pflanzenschutzmittel basieren auf Chlorchemikalien.

Natronlauge ist eine sehr stark ätzende, wässrige, farblose Lösung. Sie ist eine weitere Grundchemikalie, die in vielen unterschiedlichen chemischen Verfahren eingesetzt wird. So findet sie beispielsweise in der Papier- und Textilindustrie oder bei der Produktion von Polyestern und Polyurethanen Verwendung. Natronlauge kann auch direkt eingesetzt werden, beispielsweise als Reinigungsmittel zum Entfernen von Öl- und Fettrückständen oder in Produkten wie Holzabbeizern oder Abflussreinigern.

Das größte Chemieunternehmen Deutschlands (und der Welt) ist die BASF SE in Ludwigshafen. 65 % ihres Umsatzes sind von Chlor abhängig. Ihre drei Chlorfabriken produzieren jährlich rund 380.000 t dieser Grundchemikalie – aus Steinsalz. Zum Ende des Jahres 2014 beschäftigte die BASF-Gruppe 113.292 Mitarbeiter und 3.186 Auszubildende. Sie erwirtschafteten im Jahr 2014 zusammen einen Umsatz von 74,3 Mrd. €.

Ein Chemieunternehmen, sogar mit eigenem Steinsalzbergwerk, ist die Wacker Chemie AG in München. Etwa 80 % des Umsatzes dieses Unternehmens basieren auf dem Metall Silizium. Reinstsilizium wird durch Umwandlung von Rohsilizium mit Chlor – aus Steinsalz – über das Zwischenprodukt Trichlorsilan produziert. Die Wacker Chemie AG beschäftigte zum Ende des Jahres 2014 16.703

Mitarbeiter und 635 Auszubildende. Der Umsatz lag im Jahr 2014 bei 4,8 Mrd. €.

Die beiden Chemieunternehmen Solvay Chemicals GmbH und CIECH Soda Deutschland GmbH & Co. KG nutzen das in Deutschland reichlich vorhandene Salz durch Gewinnung von Sole in ihren Solungsfeldern Gnetsch (bei Bernburg), Epe (Münsterland) und Neustaßfurt. Sie benötigen das in der Sole enthaltene Natriumchlorid zusammen mit Kalziumkarbonat (Kalkstein) zur Herstellung von Natriumkarbonat (Soda) nach dem Solvay-Verfahren. Ebenso wie Chlor oder Natronlauge ist auch Soda eine sehr wichtige Grundchemikalie. In reiner Form ist sie unverzichtbar beim Recycling von Altpapier, für die Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln sowie von Glas. Für die Produktion von 1 kg Glas werden rund 250 g Soda benötigt. Die weiterverarbeitende chemische Industrie setzt Soda zur Produktion einer Vielzahl von Produkten, darunter Bleichmitteln, Farben, Füll-, Leim- und Klebstoffen, ein.

Am Standort Bernburg produziert Solvay seit über 130 Jahren vor allem Soda, seit einigen Jahren aber auch andere Chemikalien. Im Jahr 2013 erwirtschaftete das Unternehmen an diesem Standort mit 431 Personen, davon 47 Auszubildenden, einen Umsatz von 126 Mio. €.

Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2014 durch 1.528 Unternehmen mit 332.333 Mitarbeitern chemische Erzeugnisse im Wert von knapp 114 Mrd. € produziert. Darunter waren unter anderem 3,7 Mio. t Chlor, 3,2 Mio. t Natronlauge und 2,6 Mio. t Soda. Der Gesamtumsatz der chemischen Industrie Deutschlands lag im Jahr 2014 bei 145,2 Mrd. €.

Weitergehende und aktuelle Informationen: VCI – Verband der Chemischen Industrie e.V. (Homepage: www.vci.de).



Am Standort Ludwigshafen betreibt die BASF eine hochmoderne Chloralkali-Elektrolyse nach dem Membranverfahren. Dabei entstehen die Grundstoffe Chlor und hochreine Natronlauge sowie Wasserstoff als Nebenprodukt, Foto: BASF SE (mit frdl. Genehmigung).

Lebensmittelindustrie und -handwerk

Praktisch kein Lebensmittel in Deutschland wird ohne Verwendung von Salz, Natriumchlorid oder seltener Kaliumchlorid, hergestellt. Ob bei der Verarbeitung von Fleisch, der Herstellung von Wurstwaren, Brot und salzigen Backwaren, der Verarbeitung von Milch zu Käse, der Konservierung von Fleisch, Fisch und Gemüse oder der Produktion von Suppen, Soßen, Dressings und Fertiggerichten – überall wird Salz benötigt.

Salz dient in Lebensmitteln als Würzmittel und als Geschmacksträger. Salz ist auch als Zusatz lebensmitteltechnologisch unverzichtbar. So dient es zum Beispiel zur Teiglockerung bei der Brotherstellung und verhindert das Zusammenkleben des Teigs. Beim Käse reguliert Salz unter anderem die Aktivität von erwünschten Bakterien und beim Gemüse hat es Einfluss auf die Gärungsprozesse und die Festigkeit der Endprodukte.

Salz bindet das in Lebensmitteln vorhandene freie Wasser und entzieht so den sauerstoffbenötigenden Bakterien ihre Lebens- und Vermehrungsgrundlage. Salz ist auf diese Weise ein wichtiges Konservierungsmittel, zum Beispiel von Fisch. Zudem ist Salz in vielen Lebensmitteln mittlerweile auch ein wichtiger Trägerstoff für gesundheitlich wichtige Substanzen wie Jod oder Fluor. So kann der in Deutschland vorherrschende Jodmangel durch den vermehrten Verzehr von Jodsalz und jodsalzhaltigen Produkten ausgeglichen werden.

In Deutschland ist die Lebensmittelindustrie trotz einiger sehr großer, inzwischen sogar multinationaler Unternehmen (z. B. Oetker-Gruppe), durch einen sehr hohen Anteil an mittelständischen Firmen geprägt. Zu den wichtigsten Branchen der Lebensmittelindustrie zählen die Fleisch- und Fleisch verarbeitende Industrie, die Milchindustrie sowie die Süß- und Backwarenindustrie. Insgesamt waren in der deutschen Lebensmittelindustrie im Jahr 2014 in 5.828 Betrieben 559.776 Personen beschäftigt. Sie erwirtschafteten im Inland einen Umsatz von 117,8 Mrd. €.

Bei kleineren Firmen mit weniger als 20 Beschäftigten pro Betrieb spricht man statt Lebensmittelindustrie vom Lebensmittelhandwerk. Im Jahr 2014 gab es in Deutschland im Lebensmittelhandwerk:



- 12.611 Bäckermeisterbetriebe mit 277.200 Mitarbeitern, davon 20.540 Lehrlingen, und einem Gesamtumsatz von 13,5 Mrd. € sowie
- 13.559 Fleischer-Fachgeschäfte mit 143.070 Mitarbeitern, davon 3.388 Fleischerlehrlingen, und einem Gesamtumsatz von 16,3 Mrd. €

Lebensmittelindustrie und -handwerk verarbeiteten im Jahr 2014 rund 430.000 t Speisesalz.

Weitergehende und aktuelle Informationen: BVE – Bundesvereinigung der deutschen Ernährungsindustrie (Homepage: www.bve-online.de), Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks e.V. (Homepage: www.baeckerhandwerk.de) und Deutscher Fleischer-Verband e.V. (Homepage: www.fleischerhandwerk.de).

Landwirtschaft

Es ist das Verdienst des großen deutschen Chemikers JUSTUS VON LIEBIG (1803 – 1873) erkannt zu haben, dass Kalium – gewonnen aus Kalisalz – eines der Elemente bzw. Nährstoffe ist, die für das Wachstum von Pflanzen unverzichtbar sind. Seine wichtigsten, bereits 1840 publizierten und inzwischen längst weltweit bewiesenen Thesen waren:



Ohne Salz kein Brot, Foto: Darius Ramazani, Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks e.V. (mit frdl. Genehmigung).

„Im Gegensatz zu den unorganischen Nahrungsstoffen, welche die Pflanzen aus der Luft empfangen, bedürfen sie zur Bildung und Entwicklung ihres Leibes gewisser unorganischer Substanzen (aus dem Boden).“

„Ein Boden ist fruchtbar für eine gegebene Pflanzengattung, wenn er die für diese Pflanze notwendigen mineralischen Nahrungsstoffe in gehöriger Menge, in dem richtigen Verhältnis und in der zur Aufnahme geeigneten Beschaffenheit enthält.“

„Wenn ein Boden seine Fruchtbarkeit dauernd bewahren soll, so müssen ihm nach kürzerer oder längerer Zeit die entzogenen Bodenbestandteile wieder ersetzt werden, d. h. die Zusammensetzung des Bodens muß wieder hergestellt werden.“

„Das Gesetz vom Minimum: ‘Das Wachstum und der Ertrag einer Pflanze wird von dem Nährelement oder Wachstumsfaktor bestimmt, der ihr in geringster Menge (Minimum) zur Verfügung steht.’“



Denkmal für Justus von Liebig auf dem Maximiliansplatz in München, Foto: Wikipedia.

Erst die praktische Umsetzung der Thesen von JUSTUS VON LIEBIG durch den Einsatz von künstlichen Düngemitteln in der Landwirtschaft erlaubte in den letzten 150 Jahren die Ernährung einer zunehmend industriell und städtisch organisierten Gesellschaft, wie wir sie heute kennen. Ohne den Einsatz von Düngemitteln würde ein Großteil der Menschen auf der Erde verhungern.

Kalium – in Form von Kaliumchlorid oder Kaliumsulfat – wird heute weltweit allein als Einzeldünger oder zusammen mit anderen wichtigen Nährstoffen, wie Magnesium, Schwefel, Stickstoff und Phosphat, als Misch- oder Volldünger in allen Bereichen der Landwirtschaft, des Wein-, Obst- und Gemüseanbaus, eingesetzt.

Im Jahr 2014 gab es in Deutschland 286.800 Landwirtschaftsbetriebe mit rund einer Million Beschäftigten. 16.724.800 ha Fläche wurden landwirtschaftlich genutzt, dies entspricht 46,8 % der Fläche Deutschlands. 11.869.200 ha waren Ackerland und 4.650.700 ha Dauergrünland (Wiesen und Weiden). 23.398 Betriebe (8,2 % aller Agrarbetriebe) bewirtschafteten zusammen eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von insgesamt 1.047.633 ha nach den Regeln des ökologischen Landbaus. Auf 2.337.500 ha Fläche wurden Nutzpflanzen für die Energiegewinnung (Mais, Raps etc.) bzw. zur stofflichen Verwertung (Rapsöl, Kartoffelstärke etc.) angebaut. 100.075 ha Rebflächen waren im Anbau. Sie lieferten 921,2 Mio. l Weinmost. Zudem gab es über 4.000 Betriebe, die Zierpflanzen anbauten und über 2.000 Baumschulen.

Die deutsche Landwirtschaft ist durch den Einsatz modernster Produktionsmethoden und des gezielten Einsatzes auf den jeweiligen Standort zugeschnittener Düngemittel sehr leistungsstark. Die Ernteerträge der deutschen Landwirtschaftsbetriebe sind in jeder Beziehung außerordentlich und erwähnenswert. Sie hatten im Jahr 2014 einen Produktionswert von 26,4 Mrd. €. Im Einzelnen wurden im Jahr 2014 an Feldfrüchten in Deutschland insgesamt 99,2 Mio. t Silomais, 52,0 Mio. t Getreide, vor allem Weizen und Gerste, 37,3 Mio. t Viehfutter, vor allem Heu und Gras, 29,8 Mio. t Zuckerrüben, 11,6 Mio. t Kartoffeln, 6,2 Mio. t Raps und Rüben, 155.000 t Erbsen, 88.000 t Ackerbohnen, 46.000 t Sonnenblumen und 41.000 t Süßlupinen geerntet. Hinzu kamen aus dem Obstanbau 1,1 Mio. t Äpfel, 168.800 t Erdbeeren, 56.300 t Pflaumen/Zwetschgen, 45.000 t

Birnen, 39.600 t Süßkirschen, 17.400 t Sauerkirschen und 6.700 t Mirabellen/Renekloden. Der Gemüseanbau erbrachte 952.051 t Gemüse Kohl, vor allem Weißkohl, Rotkohl und Blumenkohl, 609.353 t Möhren und Karotten, 500.472 t Speisezwiebeln, 331.181 t Salate, vor allem Eissalat und Kopfsalat, 197.878 t Einlegegurken, 114.090 t Spargel, 108.149 t Porree (Lauch), 89.245 t Frühlingszwiebeln, 87.838 t Sellerie, 82.923 t Radieschen, 73.353 t Rote Bete, 69.859 t Speisekürbisse, 62.939 t Spinat, 44.770 t Buschbohnen, 37.110 t Zucchini, 35.942 t Rettich, 28.916 t Frischerbsen, 28.388 t Zuckermais, 20.695 t Rhabarber, 4.908 t Salatgurken, 3.149 t Dicke Bohnen und 54.965 t sonstige Gemüsearten.

Im Jahr 2014 wurden von den Düngemittelproduzenten im Inland kalihaltige Düngemittel mit einem Kaliumoxidinhalt von 478.260 t abgesetzt. Diese verteilten sich zu 63,8 % auf Kaliumchlorid-Einzeldünger, 5,0 % auf Kaliumsulfat-Einzeldünger, 2,2 % auf Kalirohsalz inkl. Rückstandskali und 29,0 % Mehrnährstoffdünger. Auch im ökologischen Landbau sind mineralische kali- oder magnesiumhaltige Düngemittel zugelassen und unverzichtbar.

Weitergehende und aktuelle Informationen: DBV – Deutscher Bauernverband e. V. (Homepage: www.bauernverband.de).



Ohne Düngemittel keine moderne Landwirtschaft, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

8



Salzabbau und Naturschutz

Salzgewinnende Firmen werden von Umweltschützern in unterschiedlicher Hinsicht kritisiert, wobei man hier aber zwischen den verschiedenen Salzen ganz klar unterscheiden muss.

Alle deutschen Steinsalzbergwerke sind durch Schächte erschlossen, die meist schon vor Generationen errichtet wurden und das Landschaftsbild prägen. Der gesamte Abbau und zum Teil auch die Aufbereitung der Salze finden unterirdisch statt. Auch Werkstätten und Lagerplätze sind zum Teil nach untertage verlegt. Dass überhaupt Rohstoffe gewonnen werden, bekommt die Bevölkerung oftmals nur mit, weil die Verladung der Salze in Güterzüge, Schiffe oder Lkw natürlich noch an der Erdoberfläche erfolgt. Nur noch selten wird die Wahrnehmung von Sprengerschütterungen an der Tagesoberfläche infolge untertägiger Sprengarbeiten thematisiert. Um in betroffenen Orten die Akzeptanz bei der Bevölkerung zu erhöhen, stellen Bergbauunternehmen den Salzabbau in geringeren Tiefen, wie z. B. bei Heilbronn, vermehrt auf schneidende Gewinnung um, d. h. statt durch Sprengungen wird das Steinsalz durch große Salzfräsen abgebaut.

Solegewinnung, egal ob von Kalium- oder Natriumsalzen, führt im Regelfall zu keiner dauerhaften Beeinträchtigung der Umwelt. Verarbeitungsanlagen, Leitungen zum Soletransport und Zufahrtswege zu den Bohrplätzen werden nur während des Betriebs des Solfeldes benötigt. Zudem gibt es inzwischen die Möglichkeit von einem zentralen Bohrplatz aus gleich mehrere Kavernen zu erschließen, so dass sogar der zeitweilige über-tägige Flächenbedarf mittlerweile immer kleiner wird.

Anders als bei Steinsalz und Sole sieht es bei der bergmännischen Gewinnung und Verarbeitung

von Kalisalzen aus. Hier mündet die Kritik von Umweltschützern in folgende Behauptungen:

1. An jedem Standort, an dem Kalisalze bergmännisch gewonnen werden, fallen große Mengen an festen Rückständen an. Diese werden – wo eine teilweise oder vollständige Verbringung nach untertage nicht möglich ist – in Form von sogenannten Kalihalden (Rückstandshalden) aufgehaldet und „verschandeln das Landschaftsbild“.
2. Die Kalihalden bestehen größtenteils aus Steinsalz und einigen anderen Salzen. Bei jedem Regen werden diese Salze gelöst und sickern ins Grundwasser. Oder die Salzwässer gelangen über Bäche und Gräben in Flüsse und damit letztendlich ins Meer. Grundwasser, Flüsse und das Meer werden durch diese Salzwässer belastet.
3. Bei der Aufbereitung der Kalisalze fallen feste und flüssige Aufbereitungsrückstände, meist wiederum Salze, an. Die festen Rückstände tragen zur Erhöhung der Kalihalden bei (s. Punkt 1) oder müssen, wenn flüssig, zum Beispiel durch Einleitung in Flüsse entsorgt werden (s. Punkt 2).
4. Man bräuchte nicht neue Kalibergwerke, wenn die bestehenden Bergwerke effizienter genutzt würden.

Als scheinbar einfache Lösung wird von Umweltschützern vorgeschlagen, die bei der Kalisalzgewinnung und -verarbeitung anfallenden Natriumsalze doch zu nutzen statt aufzuhalden. Alte Kalihalden sind abzutragen, der Inhalt möglichst ebenfalls zu nutzen und die wirklich nicht nutzbaren Reste in die untertägig entstandenen Abbaukammern einzulagern. Flüssige Rückstände sind ebenfalls zu nutzen, notfalls einzudicken und dann der verbleibende Rest notfalls ebenfalls untertägig



Im Steinsalzbergwerk Heilbronn findet der erste Schritt der Aufbereitung untertage statt, Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG (mit frdl. Genehmigung).



einzulagern. In den bestehenden Kalibergwerken könnten die großen, zwischen den Abbaukammern verbleibenden Pfeiler verkleinert werden, wodurch mehr Rohstoffe zur Verfügung stehen. Alternativ könnten erst die Abbaukammern wieder verfüllt und danach die Pfeiler abgebaut werden.

Soweit die Theorie. Doch wie sieht es in der Wirklichkeit aus? Was ist sinnvoll und auch praktisch machbar?

Für den deutschen Kalibergbau mit seinen insgesamt sechs aktiven Bergwerken wurde bisher angegeben, dass von dem gefördertem Kalirohsalz im Durchschnitt nur 22 % zu einem verkaufsfähigen Produkt veredelt werden, während bei der Aufbereitung 65 % als feste Rückstände und 13 % als flüssige Abfälle (Salzlösungen) anfallen. Von den festen Rückständen werden 89 % auf Kalihalden abgelagert, aber nur 11 % wieder untertägig eingebracht. Von den Salzlösungen werden rund 62 % in poröse Gesteine in den tieferen Untergrund versenkt und 38 % direkt in Flüsse eingeleitet. Diese

Werte sind jedoch bereits jetzt standortabhängig sehr verschieden und werden sich je nach Genehmigungslage zukünftig vermutlich stark verändern.

Tatsache ist, dass die Kalisalze in den deutschen Salzlagerstätten nicht als mächtige und reine und vor allem flach lagernde Flöze aus nur einer Kalisalzsorte auftreten, sondern verschiedene Kalisalze mit anderen Salzen vermischt in unregelmäßigen Horizonten oder gar stark verfaltet vorliegen. Bei der bergmännischen Gewinnung von Kalisalzen fallen also unvermeidlich unterschiedliche Salze an, die erst alle miteinander gewonnen und später voneinander getrennt werden müssen.

Mächtige Pfeiler müssen zwischen den Abbaukammern zur Standsicherheit stehen bleiben. Gerne würde man mehr der wertvollen Kalisalze gewinnen, doch die Sicherheit der Bergleute und der Schutz der Tagesoberfläche (Vermeidung von Gebirgsschlägen und Bergschäden) gehen vor. Es gab zu viele tödliche Grubenunglücke im älteren deutschen Kalibergbau. Auch rückverfüllte Abbau-

Panoramaaufnahme des Solfeldes Kehmstedt im Südharz. Nach Beendigung der Aussolungsarbeiten bleiben keinerlei Spuren in der Landschaft zurück, Foto: DEUSA International GmbH (mit frdl. Genehmigung).



kammern weisen nur einen Teil der Standsicherheit jahrhundertemillionen alten Salzgesteins auf und können allein das Deckgebirge nicht tragen. Auch bei der Aussolung von Kalisalzen kann nicht einfach das gesamte Salzlager abgebaut werden, doch sind bei tiefen und mächtigen Kalisalzlager, wie zum Beispiel in Kanada, die Abbauverluste geringer.

Was ist nun mit den festen Abbaurückständen, die weit vorwiegend aus Natriumchlorid bestehen? Die Verwertung dieses Salzes aus den festen Rückständen ist in der weltweiten Kaliindustrie wenig verbreitet, obwohl eine Aufbereitung dieser Rückstände zu verkaufsfähigen Produkten mit 98 – 99 % Natriumchlorid technisch natürlich machbar wäre. Der Grund hierfür ist einfach: Die Abtrennung des Natriumchlorids von den anderen Salzen und auch überhaupt nicht nutzbaren Bestandteilen, wie Tonen, ist ein energieintensiver Prozess und in Deutschland aufgrund der hohen Energiepreise überhaupt nicht wirtschaftlich durchführbar. Jede Tonne Natriumchlorid aus der Kalisalzgewinnung wäre so teuer, dass sie sich keiner leisten wollte. Es ist viel günstiger – und aufgrund des niedrigeren Energiebedarfs sogar ökologisch nachhaltiger – Natriumchlorid in Form von Steinsalz direkt bergmännisch oder durch Solung zu gewinnen.

Aber kann man dann nicht wenigstens viel mehr dieser nicht verwertbaren Salze direkt wieder untertägig in nicht mehr genutzte Abbaukammern einbauen? Ja, man kann es und die Salzunternehmen tun es auch, wobei durch die Auflockerung des Salzes (s. Kapitel 5.5) die untertägigen Hohlräume nur unter besonders günstigen Bedingungen, wie sie zum Beispiel am Standort Unterbreizbach in Thüringen vorliegen, für eine vollständige Aufnahme der festen Rückstände ausreichen. Zu bedenken ist bei der Volumenbilanz auch, dass nicht alle Hohlräume, die durch den Abbau entstehen, wieder für die Verfüllung mit Produktionsrückständen genutzt werden können. Es werden für den weiteren Ausbau des Bergwerkes neue Transportstrecken und Räume für Lager- und Infrastruktureinrichtungen benötigt, die offen bleiben müssen.

Nur mit hohem technischen und finanziellen Aufwand wäre zudem das sich ergebende Problem zu lösen, wonach für eine Verfüllung ein zweites untertägiges – von der Mineralgewinnung und

-förderung unabhängiges – Transportsystem erforderlich ist. Dabei ist im Auge zu behalten, dass damit das Problem der Aufhaltung fester Rückstände nicht einmal vollständig zu lösen wäre, sondern lediglich eine Verringerung der weiteren Aufhaltung erreicht werden könnte. Nicht zuletzt das ist übrigens auch der Grund, warum die überwältigende Mehrheit der weltweiten Kalistandorte die übertägige Aufhaltung fester Rückstände als Stand der Technik praktiziert.

Ein größeres Problem sind die Salzwässer, die von den Kalihalden mit jedem Regen abfließen und die Umwelt belasten. Neuere Halden sind mit einer Basisabdichtung aus Ton versehen und die salzhaltigen Sickerwässer werden kontrolliert aufgefangen – müssen dann allerdings ebenfalls



In einigen Regionen Deutschlands sind Kalihalden seit vielen Jahrzehnten markante Merkmale in der Landschaft, Foto: Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH (mit frdl. Genehmigung).





Nach 20 Jahren erfolgreicher Sanierung ist die Kalihalde Sondershausen zwar nicht verschwunden, aber fügt sich durch ihre Begrünung harmonischer in das Landschaftsbild ein und belastet deutlich weniger die Umwelt, Foto: Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH (mit frdl. Genehmigung).

entsorgt werden. Wie aber auch dieses Problem langfristig gelöst werden kann, zeigt beispielhaft die Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft (GSES) mbH (Homepage: www.gses.de) in Sondershausen.

Zu den Aufgaben der GSES zählt die Sicherung der Rückstandshalde des ehemaligen Kalibergwerks Sondershausen, das von 1896 bis 1990 in Produktion stand. Bei dieser 1.550 m langen, 370 m breiten und bis zu 125 m hohen Halde ist eine Sicherung besonders wichtig, denn sie wurde ab 1975 ohne Basisabdichtung angelegt und belastet besonders stark die Umwelt. Hier werden nun seit einigen Jahren jahrzehntelange Untersuchungen an anderen Kalihalde erfolgreich in die Praxis umgesetzt. Rund 53 ha der 77 ha großen Halde wurden seit 1995 mit einer 3 – 4 m mächtigen Schicht aus mittlerweile rund 7 Mio. t Bauschutt, Straßenkehrschutt, Aschen, Gießereisanden, Ofenschlacken und Bodenaushub abgedeckt und darüber eine bis 2 m mächtige Kulturschicht aufgebracht. Diese wiederum wurde bis heute mit über 14.000 Sträuchern und Bäumen bepflanzt, deren Wurzeln die Rückstandssalze nun nicht mehr erreichen können. Ein Großteil der Kalihalde Sondershausen ist inzwischen begrünt. Durch den Wasserbedarf der Pflanzen und die höhere Verdunstung ging zudem die Menge an austretendem Salzwasser und dessen Konzentration nachweislich deutlich zurück.

Die K+S AG arbeitet an niedersächsischen Standorten seit den 1990er Jahren erfolgreich an ähnlichen Projekten und nutzt die dabei gewonnenen Erkenntnisse auch, um Abdeckverfahren für ihre Großhalden im Werra-Revier zu entwickeln.

Rückstandshalden sind also unverzichtbar mit der bergmännischen Gewinnung und Aufbereitung von Kalisalzen verbunden, aber zumindest ihre langfristige Sicherung und Rekultivierung ist heute möglich – wenn ausreichend Abdeckmaterial zur Verfügung steht. Langfristig kann dadurch das Problem des Abflusses von salzhaltigen Sicker- und Niederschlagswässern stark reduziert werden.

Ähnlich verhält es sich mit den flüssigen Rückständen aus der Kalisalzaufbereitung. Ein Teil dieser Lösungen wird mit festen Rückständen vermischt und wieder untertägig eingebaut. Für die Mehrheit der Salzlösungen ist dies aber nicht möglich, weil einfach ausreichend geeignete feste Rückstände und auch Hohlräume fehlen. Aber könnte man nicht die Salzlösungen aufbereiten und in gereinigter Form verkaufen, notfalls einfach entsalzen oder eindampfen und dadurch die Menge verringern? Auch dies ist technisch inzwischen sogar durch verschiedene Verfahren möglich, wobei es für einen Teil der sich ergebenden Produkte, vor allem die Magnesiumchlorid-Lösung (s. Kapitel 5.6), aber überhaupt nicht genug Abnehmer gibt. Das größte Problem ist aber der enorme Energiebedarf für eine Eindampfung oder Entsalzung, der weder ökologisch zu rechtfertigen noch wirtschaftlich zu finanzieren ist.

Wie bei den salzigen Sickerwässern von den Halden bleibt also auch bei den flüssigen Produktionsrückständen das Problem der Entsorgung. Bisher wurden diese – soweit sie nicht kontrolliert in Flüsse eingeleitet werden – in verschiedenen Regionen in poröse Gesteine in den tieferen Untergrund verpresst, wobei aber vermutet wird, dass sie von dort irgendwann zumindest zum Teil wieder aufsteigen.



*Die Werra – ein Fluß im Spannungsfeld zwischen Industrie und Natur,
Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).*

Dies wird von Umweltschützern vehement kritisiert, wobei ein vergleichender Blick in die Vergangenheit sinnvoll ist.

Zu Zeiten der DDR wurden die Salzlösungen aus allen ostdeutschen Kalibergwerken unkontrolliert in die Flüsse eingeleitet. Damals wurden am Werra-Pegel Gerstungen Chloridwerte von bis zu 38,5 g/l gemessen. Ähnliche Belastungen bestanden auch in den Flüssen der Saale-Unstrut- und der Südharz-Revier. Die Werra war also eher eine Soleleitung als ein natürlicher Fluss. Dank enormer Investitionen von mittlerweile über 500 Mio. € ist die Belastung der Werra und damit auch der Weser seit der Wende kontinuierlich gesunken und im Jahr 2014 wurde ein Durchschnittschloridwert von nur noch 1,8 g/l gemessen. Die Flußgebietsgemeinschaft Weser wünscht allerdings zumindest für die Mittelweser einen Zielwert von 0,3 g/l.

Wurden einst im K+S-Verbundwerk Werra bis zu 2,4 m³ Salzwasser pro Tonne Rohsalz erzeugt, ist dieser Wert mittlerweile auf 0,6 m³ gesunken. Wurden 1985 im Werra-Kalirevier noch 28 Mio. m³ Salzwasser in den tieferen Untergrund (Plattendo-

lomit) verpresst, sind es heute bereits weniger als 2 Mio. m³. Das Gesamtsalzabwasservolumen aller hessisch-thüringischen Kaliwerke ist innerhalb von zehn Jahren von 13,9 auf 6,8 Mio. m³ zurückgegangen, hat sich also halbiert. Für weitere Reduzierungen um nochmals 1,5 Mio. m³ werden ab 2017 neue zusätzliche Aufbereitungsanlagen in Betrieb sein.

Zahlreiche Maßnahmen wurden zur Reduzierung der Umweltbelastungen, vor allem im Werra-Kalirevier, bereits umgesetzt und weitere werden diskutiert oder sind in Planung. Nicht allen Umweltschützern geht es dabei schnell genug. Auch findet keine der möglichen zukünftigen Maßnahmen ungeteilte Zustimmung – immer ist jemand dagegen. Das betroffene Abbauunternehmen, die K+S AG, bereitet sich daher auf alle möglichen politischen und rechtlichen Entscheidungen vor, fordert aber zu Recht erst notwendige Diskussionen und nicht willkürliche Aktionen. Immerhin sind von der Kaliproduktion in der Region Osthessen/Westthüringen rund 8.400 Arbeitsplätze direkt und indirekt abhängig. Sind diese einmal verloren, kommen sie wohl nie wieder!



Kaligewinnung und Naturschutz schließen sich in Heringen (Werra) im osthessischen Kalirevier nicht aus, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

9



Gibt es noch genug?

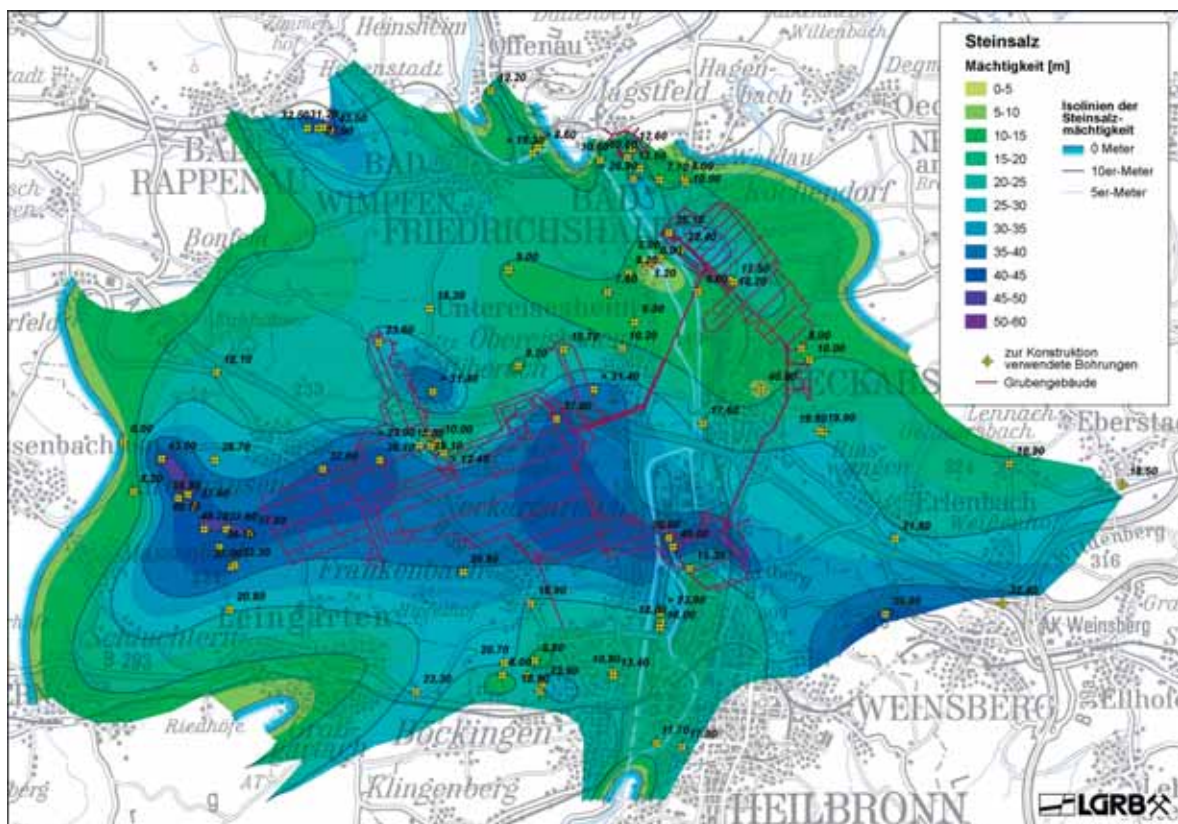
Steinsalz ist in verschiedenen Regionen Deutschlands auf insgesamt über 100.000 km² Fläche in Mächtigkeiten von teils mehreren hundert Metern verbreitet. Die geologischen Steinsalzvorräte Deutschlands dürften 100 Billionen t leicht überschreiten. Im Vergleich hierzu sind die geologischen Kalisalzvorräte wesentlich geringer. Ihr umgerechneter Kaliumoxidinhalt wird für Deutschland auf „nur“ rund 5 Milliarden t geschätzt.

Diese Mengen sind so gewaltig, dass sie auf den ersten Blick für über tausend Jahre Abbau reichen. Es gibt also offensichtlich genug. Doch halt, ganz so einfach ist es nicht!

In vielen Gegenden Norddeutschlands weisen die Salzschichten im Untergrund nicht mehr die ursprüngliche flache Lagerung auf, sondern sind stark verfaltet und bilden Salzkissen und -stöcke (s. Kapitel 2). Hier macht ein Abbau wirtschaftlich nur dann Sinn, wenn das Steinsalz durch Solung gewonnen werden kann oder wenn es sich um

ausreichend mächtige Schichten hochwertigen Kalisalzes handelt. Abzubauenende Kalisalzlöze sollten mindestens 2,5 m mächtig sein. Auch für eine Aussolung muss die Salzschicht ausreichend mächtig sein – in nur wenigen Metern mächtigen Salzflözen kann keine Kaverne angelegt werden.

Generell sind in deformierten Lagerstätten die Abbaubedingungen wesentlich schwieriger und die Abbauverluste deutlich höher. Das Salz sollte auch nicht in zu großen Tiefen lagern. So ist z. B. in Deutschland bei derzeit 1.460 m Tiefe im Kalibergwerk Sigmundshall Schluss (s. Kapitel 5.5). Dort herrschen ständig Temperaturen von etwa 50 °C, was eine große Belastung für Mensch und Maschine darstellt. Gar nicht gern gesehen sind aus leicht nachvollziehbaren Gründen auch Einschlüsse von Flüssigkeiten und/oder brennbaren oder giftigen Gasen (z. B. Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Methan) im Salz. Und natürlich sollte das Salz, egal ob Steinsalz oder Kalisalz, möglichst rein sein.



Karte der Steinsalzmächtigkeiten im Großraum Heilbronn, konstruiert aus Bohrungen (gelbe Punkte). In rot die Umrisse der Steinsalzbergwerke Heilbronn und Kochendorf (Abbaustand 2011), die sich natürlich in den Gebieten mit den höchsten Salzmächtigkeiten befinden. Quelle: Abb. 49 von S. 55 aus LGRB-Informationen 27 – „Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/2013“ herausgegeben 2013 vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg, (<http://www.lgrb-bw.de>); genehmigt unter Az. 2851.3//16_2472.



Nur das alte Bergwerksgebäude und eine Rückstandshalde erinnern noch an das bis 1987 produzierende Kalibergwerk Siegfried-Giesen nördlich Hildesheim, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

Ist nach langer Erkundung eine geeignete Lagerstätte gefunden, muss auch ihre Größe für eine nachhaltige und wirtschaftliche Gewinnung ausreichen. Die Erschließung eines Solfeldes und insbesondere auch der Aufbau eines Bergwerks mit den notwendigen Schächten und Strecken erfordern Investitionskosten von mehreren Millionen bis mehrere Milliarden Euro. Für neue Kalibergwerke ist deshalb zum Beispiel eine Mindestlebensdauer von 30 Jahren wirtschaftlich erforderlich. Dies entspricht je nach Kaligehalt Rohsalzvorräten von 50 – 200 Mio. t bzw. bei flacher Schichtlagerung einem unterirdischen Flächenbedarf von 20 – 80 km².

Und zu guter Letzt müssen in Deutschland vor Eröffnung jedes neuen Rohstoffabbaus noch umfangreiche und aufwändige Genehmigungsverfahren durchlaufen werden. Für die Genehmigung und Überwachung aller salzfördernden Betriebe sind in Deutschland die Bergämter auf Landesebene zuständig. Sie überprüfen nicht nur die technischen Planungen und Ausführungen, sondern zeichnen auch für die Umsetzung der mittlerweile extrem hohen Auflagen des Umweltschutzes zuständig.

Derzeit entstehen in Deutschland in alten und neuen Solfeldern ständig weitere Kavernen, nicht unbedingt zur Salzgewinnung, sondern in den meisten Fällen zur Speicherung von Erdöl und Erdgas. Neue Salzbergwerke werden dagegen zurzeit nicht erschlossen. Vor einigen Jahren war die Wiedereröffnung des Kalibergwerkes Roßleben (Abbau 1905 – 1991) in Thüringen im Gespräch

und mit großen Hoffnungen auf Arbeitsplätze verbunden. Der Fall der Weltkalipreise im Jahr 2009 beendete vorerst diese Planungen.

Voraussichtlich im Jahr 2020 wird das Kalibergwerk Sigmundshall westlich Hannover wegen Erschöpfung seiner Reserven an Kalirohsalz schließen. Die K+S KALI GmbH plant daher seit einigen Jahren, das nur 45 km entfernt gelegene Kalibergwerk Siegfried-Giesen wiederzueröffnen.

Das Kalibergwerk Siegfried-Giesen liegt nördlich von Hildesheim. Die dortige Lagerstätte stand mit Unterbrechungen bereits zwischen 1909 und 1987 in Abbau, wurde dann aber aus Wirtschaftlichkeitsgründen geschlossen. Die Kalifabrik in Giesen und die meisten anderen Gebäude wurden abgerissen. Das eigentliche Bergwerk hingegen wurde im bisherigen Zustand belassen und auch die Schachtanlagen sind weiter vorhanden und nutzbar. Die Hauptfahrwege untertage werden ebenfalls unterhalten und bis heute regelmäßig befahren.

Nach den derzeitigen Planungen könnten in Siegfried-Giesen jährlich 2,7 Mio. t Kalirohsalz abgebaut und daraus jährlich 1,05 Mio. t Kalidüngemittel gewonnen werden. Von den anfallenden 1,65 Mio. t Rückständen würden 1,05 Mio. t wieder untertage zur Stabilisierung des Bergwerks eingebaut und 0,6 Mio. t aufgehaldet werden. Ähnlich wie beim Kalibergwerk Sigmundshall (s. Kapitel 5.5) handelt es sich bei der Lagerstätte unterhalb von Siegfried-Giesen um einen Salzstock, in dem die beiden Kaliflöze Ronnenberg und

Staufurt stark verfaltet und steil gestellt wurden (s. Kapitel 2).

Bei der K+S AG haben die umfangreichen Planungen zur Wiedereröffnung von Siegfried-Giesen im Jahr 2010 begonnen. Seit dem Jahr 2012 laufen die Genehmigungsverfahren. Eine Entscheidung, ob das Bergwerk wieder in Betrieb genommen werden kann, wird unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erst nach Abschluss des Genehmigungsverfahrens getroffen werden. Danach würde es dann noch einmal mehrere Jahre dauern, bis hier wieder Kalisalz gefördert werden könnte.

Wie inzwischen gegen viele Projekte in Deutschland, hat sich auch gegen dieses Vorhaben eine Bürgerinitiative gegründet. Eine rege Diskussion

um die Vor- und Nachteile einer erneuten Kalisalzförderung im Raum Hildesheim sind generell nützlich. Doch wer will schon grundsätzlich ohne Getreide, Obst und Gemüse leben? Werden die zur Produktion von Düngemitteln benötigten Kalisalze nicht in Deutschland abgebaut, und zwar unter Beachtung der hier geltenden strengen Umweltgesetzgebungen, müssen sie im Ausland unter den dortigen Regeln gefördert und von dort mit unnötigen CO₂-Emissionen nach Deutschland exportiert werden.

Wer die aus Salzen hergestellten Produkte weiterhin nutzen möchte, muss auch zulassen, dass die Rohstoffe vor Ort abgebaut werden. Das Sankt-Florian-Prinzip ist kein zukunftsfähiges Modell für Deutschland und Europa.



Stark verfaltete Lagen verschiedener Kalisalze, wie sie in vielen deutschen Kalibergwerken typisch sind, Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).

10



Kleine komplizierte
Produktionsstatistik der Salze

Laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015) wurden, basierend auf Rückmeldungen von den deutschen Bergämtern, im Jahr 2014 in Deutschland

- durch 15 Betriebe 15.374.181 t Natriumchlorid in Form von Rohsteinsalz und Rohsole bzw. 12.895.426 t verwertbares Natriumchlorid in Form von Steinsalz und Sole,
- durch drei Betriebe 273.805 t Siedesalz und
- durch sechs Betriebe 37.769.744 t Rohkalisalz (mit umgerechnet 3.901.531 t Kaliumoxidinhalt) bzw. 5.790.518 t verwertbare Kaliprodukte (mit umgerechnet 2.193.753 t Kaliumoxidinhalt) sowie 1.803.082 t sonstige Produkte aus der Kalifabrikation (Rückstandssalz, Brom, Magnesiumchlorid, Magnesiumchlorid-Lauge, Magnesiumsulfat und andere Magnesium-Erzeugnisse)

gewonnen. In der Gewinnung und Verarbeitung von Steinsalz und Industriesole waren 2.195 Personen, in der Gewinnung und Verarbeitung von Siedesalz 302 Personen und in der Gewinnung und Verarbeitung von Kalisalzen 8.173 Personen beschäftigt.

Da der Verband der Kali- und Salzindustrie e.V. (VKS) nicht alle in Deutschland Salze produzierenden Unternehmen zu seinen Mitgliedern zählt, zieht es dieser vor, nur ungefähre Produktionsdaten zu veröffentlichen. Diese belaufen sich auf rund 16 Mio. t Steinsalz und 36 Mio. t Kalium- und Magnesiumsalze.

Das Bundesamt für Statistik erfasst nur Betriebe mit 20 oder mehr Beschäftigten, jedoch überschreiten die meisten Salzgewinnungsunternehmen in Deutschland diese Betriebsgröße. Im Jahr 2014 wurden danach

- durch sechs Betriebe 4,929 Mio. t Steinsalz im Wert von 207,8 Mio. €,
- durch vier Betriebe 2,133 Mio. t Siedesalz und
- durch vier Betriebe 7,926 Mio. t Natriumchlorid in Form von Sole

gewonnen. Zur Förderung von Kalium- oder Magnesiumsalzen macht das Bundesamt für Statistik keine Aussagen.

Im Jahr 2014 wurden zudem 2.081.622 t Streu- und Gewerbesalz, vor allem aus den Niederlanden, 142.010 t Speisesalz und 108.396 t Industriesalz, beides vor allem aus den Niederlanden und Frankreich sowie 352 t Sole und Salzlauge, vor allem aus der Schweiz und Island, nach Deutschland importiert. Hinzu kamen Kalisalze und -dünger mit einem Inhalt von umgerechnet 2.408 t Kaliumoxid, im Wesentlichen aus Großbritannien.

Die Exporte im Jahr 2014 beliefen sich hingegen auf 2.311.920 t Streu- und Gewerbesalz, vor allem in die Benelux-Staaten, nach Schweden, in die Tschechische Republik, aber auch in die USA, 224.187 t Speisesalz in die ganze Welt, 589.861 t Industriesalz, vor allem in die Benelux-Staaten und Polen, sowie 317 t Sole, vor allem nach Österreich. Die Exportmengen und -länder von Kalisalzen und -düngern sind zum Schutz der international bedeutsamen Stellung der K+S AG vertraulich. Der Geschäftsbereich Kalium- und Magnesiumprodukte der K+S AG selber veröffentlichte für das Geschäftsjahr 2014 einen regionalen Absatz von 3,88 Mio. t in Europa und 2,99 Mio. t in Übersee.

Nach Recherchen für diese Broschüre gibt es in Deutschland derzeit an Gewinnungsunternehmen bzw. -stellen von Salzen:

- vier Produzenten von Steinsalz aus zusammen sieben Gewinnungsstellen (Steinsalzbergwerken)
- sieben Produzenten von Industriesole (Natriumchlorid) aus zusammen zehn Gewinnungsstellen (neun Solfelder, ein Solungsbergwerk)
- rund 140 Bohrungen bzw. Quellen von Bädersole an 84 Orten
- sechs Produzenten von Siedesalz mit zusammen sieben Salinen sowie einer unkonventionellen Produktionsanlage
- einen Produzenten von Meersalz aus einer Gewinnungsstelle
- zwei Produzenten von Kalisalzen aus zusammen sieben Gewinnungsstellen (sechs Kalibergwerke, ein Solfeld)
- zwei Produzenten von Magnesiumsalzen aus zusammen sechs Gewinnungsstellen (fünf Bergwerke, ein Solfeld)



Die Gesamtproduktion dieser Unternehmen bzw. Badebetriebe lag im Jahr 2014 bei

- 6.886.651 t Rohsteinsalz bzw. 4.988.670 t verwertbarem Steinsalz (in t Natriumchlorid)
- 27.671.351 m³ Industriesole mit einem Inhalt von 6.776.077 t Natriumchlorid
- 1.845.795 m³ Badesole
- 975.114 t Siedesalz. Dieses wurde aus 1.984.800 m³ Industriesole und 563.800 t Steinsalz produziert.
- 20 t Meersalz
- 36.647.124 t Rohkalisalz bzw. 1.972.131 m³ kalisalzreiche Industriesole - letztere mit einem Inhalt von umgerechnet 71.022 t Kaliumoxid. Insgesamt wurden aus diesen Kalirohstoffen knapp über 3,7 Mio. t Kaliprodukte gewonnen.
- Zusätzlich wurden aus den genannten Kalirohstoffen rund 3,4 Mio. t sonstige Produkte (Kaliumsulfat, Magnesiumchlorid bzw. Magnesiumsulfat, Magnesiumchlorid-Sole, Magnesiumsulfat und andere Magnesium-Erzeugnisse, Produkte auf Rohsalzbasis u. a.) hergestellt.

*Steinsalz in verschiedenen Körnungen,
Foto: K+S AG (mit frdl. Genehmigung).*



Salz – das weisse Gold. Noch vor Jahrhunderten war in einigen Regionen dieser Rohstoff wertvoll und von großer Bedeutung. Der Salzhandel verhalf vielen Städten zu Reichtum und Einfluss. Auch auf die Sprache hat das Salz Einfluss genommen. So kommt das Wort Salär von der Lohnzahlung in Form von Salz. Ebenfalls entstanden viele Zitate rund um das Thema Salz, die in Ihrem Ausdruck und ihrer Bedeutung bis in die heutige Zeit wirken.

Quelle: <http://www.salz-kontor.de/zitate-sprueche-salz.php>



„Der beste Geruch ist der vom Brot, der beste Geschmack ist der vom Salz, und die beste Liebe ist die von Kindern.“

*Graham Greene
(1904 – 1991)*

„Brot und Salz, Gott erhalt's.“
Traditioneller Hauseinweihungsspruch

„Auf Gold kann man verzichten,
nicht aber auf das Salz.“
Cassiodor (485 – 580)

„Nichts ist nützlicher als Salz und Sonne.“
Isidor von Sevilla (560 – 636)

„Ohne Salz ist das Leben nicht süß.“
Altes Russisches Sprichwort



Literatur

BARKOWSKI, D., BAUER, J., BLEIER, M., GÜNTHER, P., KATHÖFER, D. & STACHOWSKA, M. (2015): Gutachterliche Untersuchung zu technischen und wirtschaftlichen Alternativen zur Einleitung von Abwässern aus dem Abbau von Salzen im Einzugsgebiet der Weser. – Studie der IFUR – Institut für Umweltanalyse und Projekt-GmbH im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW, **P 215004**: 153 S., 12 Abb., 12 Tab.; Bielefeld – Bochum.– URL: https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/naturschutz/Bericht_Untersuchung_Weser_150323.pdf [Stand 04.04.2016].

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2015): Bericht zur Rohstoffsituation in Deutschland 2014. – 161 S., 18 Abb., 78 Tab.; Hannover.– URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf;jsessionid=FDD9181AC00F5537F48515B2E64E7E7A.1_cid284?__blob=publicationFile&v=3 [Stand 04.04.2016].

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2015): Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland 2014. – Bergwirtschaft und Statistik – **66. Jahrgang 2015**. – 140 S., 21 Abb., 15 Tab., 4 Anh.; Berlin.– URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/bergbau-bundesrepublik-deutschland-2014-dokumentation,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [Stand 04.04.2016].

EMONS, H.-H. & WALTER, H.-H. (1984): Mit dem Salz durch die Jahrtausende. Geschichte des weißen Goldes von der Urzeit bis zur Gegenwart: 227 S., 190 Abb., 3 Tab.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).

EXLER, H. J. (1987): Salz und Sole.– In: SCHWERD, K. & WEINELT, W. (Hrsg.): Der Bergbau in Bayern.– Geologica Bavarica, **91**: 47 – 63, 3 Abb., 5 Tab., 2 Fotos; München.

GESSERT, G. & HOFMEISTER, E. (2011): Der Abbau von Kalisalzen am Steinhuder Meer im Kaliwerk Sigmundshall in Bokeloh. – Exkursionsführer und Veröffentlichungen Schaumburger Bergbau, **24**: 34 S., 10 Abb., 6 Tab.; Hagenburg (Arbeitskreis Bergbau der Volkshochschule Schaumburg).– URL: <http://www.hagenburg.de/assets/Dokumente-und-Formulare/Bergbau/Heft%2024%20Kaliabbau%20Bokeloh.pdf> [Stand 04.04.2016].

GRAVENHORST, G., HAHN, J., JARITZ, W., KÄDING, K.-C., RUMPHORST, K., SCHARF, H.-J., SCHERLER, P.-C. & SCHNEIDER, H. (1992): Salz in Niedersachsen. – Niedersächsische Akademie der Geowissenschaften, **8**: 57 S., 31 Abb., 6 Tab., 1 Kt.; Hannover.

GWOSDZ, W., RÖHLING, S. & LORENZ, W. (2006): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 10: Phosphate, Schwefel, Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze. – Geol. Jahrbuch, **H 12**: 13 – 112., 58 Tab.; Hannover.

HAHN, S. & BOHNENBERGER, G. (2009): Steinsalzgewinnung am Neckar. Beginn des Industriezeitalters in der deutschen Salzgewinnung. – Kali und Steinsalz, **1/2009**: 16 – 21, 4 Abb.; Berlin.– URL: http://www.vks-kalisalz.de/fileadmin/user_upload/vks_kalisalz/downloads/Zeitschriften/Kali_und_Steinsalz_Ausgabe_1-2009.pdf [Stand 04.04.2016].

HANSCH, W. & SIMON, T. (HRSG.) (2003): Das Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk Südwestdeutschlands. – museo, **20/2003**: 238 S., zahlr. Abb.; Heilbronn (Städtische Museen).

KÄSS, W. & KÄSS, H. (2008): Deutsches Bäderbuch. Zweite Auflage: 1.232 S., zahlr. Abb. und Tab., 1 Karte; Stuttgart.

K+S KALI GmbH (2009): Gesamtstrategie zur Verminderung von Umweltbelastungen. Gemäß § 2 der öffentlich-rechtlichen Vereinbarung zwischen dem Land Hessen, dem Freistaat Thüringen und der K+S KALI GmbH – Überarbeitete Fassung vom 31.10.2009: 103 S., 43 Abb., 13 Tab.; Kassel.– URL: http://www.k-plus-s.com/de/pdf/2009/gesamtstrategie_091104.pdf [Stand 04.04.2016].

KURSTEDT, A. (2007): Salzbergwerk Epe – Von der Solegewinnung zum größten Kavernenspeicher Europas. – *bergbau*, **9/2007**: 394 – 397, 5 Abb.; Essen.– URL: <http://www.rdb-ev.de/zeitung07/07-09-394-397.pdf> [Stand 04.04.2016].

RAUCHE, H. (2015): Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert: 580 S., zahlr. Abb. und Tab.; Heidelberg (Springer).

REINHOLD, K., HAMMER, J. & PUSCH, M. (2014): Verbreitung, Zusammensetzung und geologische Lagerungsverhältnisse flach lagernder Steinsalzfolgen in Deutschland. Zwischenbericht vom 10.10.2014 im Auftrag des BMWi: 98 S., 29 Abb., 2 Tab., 12 Anl.; Hannover.

SIMON, T. (1995): Salz und Salzgewinnung im nördlichen Baden-Württemberg. *Geologie – Technik – Geschichte*. – *Forschungen aus Württembergisch Franken*, **42**: 441 S., 303 Abb., 32 Tab.; Sigmaringen.

SLOTTA, R. (2011): 150 Jahre Kaliproduktion in Deutschland.– *Kali und Steinsalz*, **3/2011**: 20 – 38, 21 Abb.; Berlin.– URL: http://www.vks-kalisalz.de/fileadmin/user_upload/vks_kalisalz/downloads/kali_steinsalz/Kali_und_Steinsalz3-11.pdf [Stand 04.04.2016].

STIFTUNG WARENTEST (2013): Das Märchen vom Wundersalz. – *test*, **10/2013**: 21 – 27, 9 Abb., 1 Tab.; Berlin.

VKS – VERBAND DER KALI- UND SALZINDUSTRIE E. V. (2015a): Winterdienst – wirtschaftlich und umweltgerecht: 63 S., zahlr. Abb., 5 Anh.; Berlin.– URL: http://www.vks-kalisalz.de/uploads/tx_powermail/files/Winterdienst-wirtschaftlich_und_umweltgerecht-Dezember_16-12-2015.pdf [Stand 04.04.2016].

VKS – VERBAND DER KALI- UND SALZINDUSTRIE E. V. (2015b): Salz als Lebensmittel. Unverzichtbar und wertvoll: 26 S., zahlr. Abb.; Berlin.– URL: http://www.vks-kalisalz.de/uploads/tx_powermail/files/Salz_als_Lebensmittel_01_2015.pdf [Stand 04.04.2016].

VKS – VERBAND DER KALI- UND SALZINDUSTRIE E. V. (2015c): Salz aus Deutschland. Gewinnung und Verarbeitung: 17 S., zahlr. Abb.; Berlin.– URL: http://www.vks-kalisalz.de/uploads/tx_powermail/files/14_Gewinnung_Verwendung.pdf [Stand 04.04.2016].

WACKER CHEMIE AG (2004): Salz der Erde. 150 Jahre Salzbergwerk Stetten: 46 S., zahlr. Abb.; Haigerloch-Stetten.– URL: http://www.wacker.com/cms/media/documents/wacker_group/festschrift_stetten.pdf [Stand 04.04.2016].

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover
mineralische-rohstoffe@bgr.de
www.bgr.bund.de

ISBN: 978-3-943566-74-1 (Druckversion)
978-3-943566-73-4 (PDF)