

# Kalilagerstätten in Deutschland<sup>1</sup>

## Einleitung

Das Thema „Kalilagerstätten in Deutschland“ ist nach 1945 fast nur einseitig jeweils für den Anteil der Bundesrepublik oder der DDR abgehandelt worden. Nach der Vereinigung Deutschlands sollen hiermit die bergmännisch genutzten Kalilagerstätten einer gemeinsamen Betrachtung unterzogen und die bisherige wirtschaftliche Bedeutung dargelegt werden.

Einer kurzen Darstellung der Entstehung der Kalilagerstätten folgt daher die Beschreibung der Lagerstätten mit aktivem Bergbau im Werra-Fulda-Gebiet, auf der Scholle von Calvörde und im Raum Hannover (Bild 1). In einem weiteren Teil wird eine Abschätzung der bisherigen Produktivität der Lagerstättenbezirke sowie der Kaliflöze vorgenommen und die Produktion aus den deutschen Kalilagerstätten mit anderen Ländern verglichen.

Die Wiege des weltweiten Kalibergbaus steht in Staßfurt (Bild 1), wo der erste nachweisliche Aufschluß eines Kalilagers 1851 durch eine Bohrung auf Steinsalz erfolgt ist und mit dem Abteufen eines Schachtes begonnen wurde. Erst zehn Jahre später wird die Kaliförderung aufgenommen; sie erreicht im ersten Jahr ganze 2 293 t Carnallitit. Mit dem gleichzeitigen Beginn der Kaliumchloridproduktion in Staßfurt wird somit das Jahr 1861 als Gründungsjahr der deutschen Kaliindustrie angesehen.

Durch den seither umgehenden Kalibergbau sind die Lagerstätten weitgehend bekannt. Während der Gründerzeit des Kalibergbaus waren mehr als 300 – Marx (1925, S. 3)<sup>2</sup> nennt sogar mehr als 700 – Unternehmen dabei, sich einen Anteil an dem als prosperierend eingeschätzten und durch das deutsche Kaliweltmonopol begünstigten Bergbauzweig zu beschaffen. Vor allem nach dem Ersten Weltkrieg sorgten dann mehrere einschneidende Krisen sowie die Kalifunde in anderen Ländern für umfassende Stilllegungen und Konzentrationen. 1935 gab es 40 fördernde und 56 Reservebergwerke sowie 124 bis zum Jahr 1953 stillgelegte Schächte. Bei Kriegsende 1945 waren 31 Werke in Förderung.

Infolge der am 14. Dezember 1993 erfolgten Fusion der beiden deutschen Kaliunternehmen zur Kali und Salz GmbH verbleiben zunächst noch acht und später sechs produzierende Kalibergwerke in Deutschland.

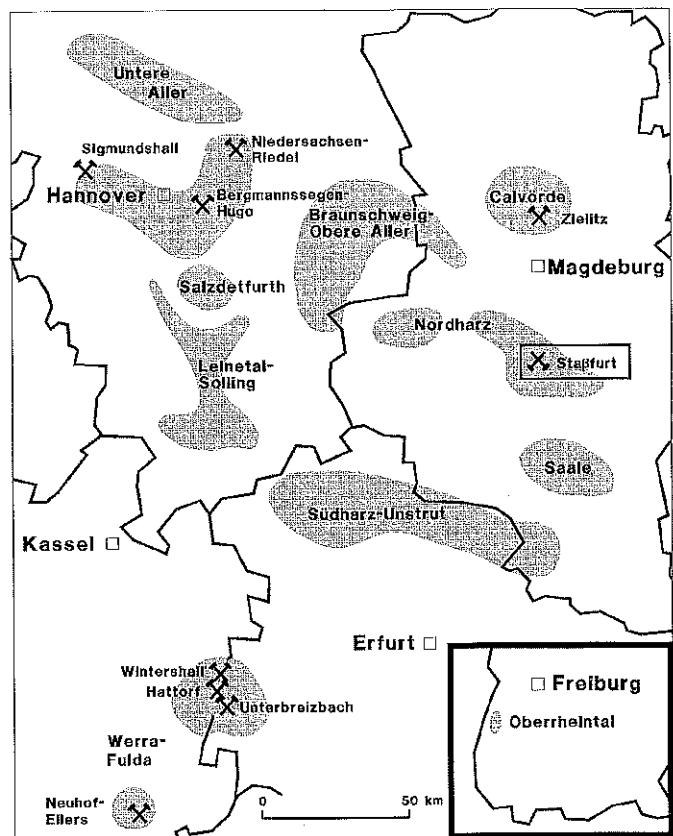


Bild 1. Kalilagerstätten in Deutschland.

## Entstehung der Kalilagerstätten

Bei der Eindunstung von Meerwasser in großen, vom offenen Ozean episodisch abgeschnürten Nebenbecken fallen die im Meerwasser gelösten Salze in der Reihenfolge ihrer Löslichkeit aus (Bild 2). Dabei entsteht aus einer 100 m hohen Meerwassersäule bei vollständiger Eindunstung eine Salzschicht von nur 1,5 m Dicke. Dieses Modell eines Salzablagerungsbeckens wurde im Prinzip bereits 1877 von Ochsenius beschrieben.

Die ungestörte salinare Gesteinsfolge besteht von unten nach oben aus Karbonaten, Sulfaten, Chloriden sowie Kalium- und Magnesiumsalzen. Die Abscheidung kann sich mehrmals wiederholen, so daß mehrere Salinarzyklen aufeinander folgen. Durch zeitweise Zuflüsse vom Festland wird feines detritisches Material eingeschwemmt; die daraus entstehenden Salztonen schützen die leicht löslichen Salzablagerungen vor der Wiederauflösung.

Dr. W. W. Beer ist Gruppenleiter im Bereich Bergbau Geologie der Kali und Salz GmbH. Anschrift: Postfach 10 20 29, 34111 Kassel.

<sup>1</sup> Wiedergabe des Vortrags auf der Bergtechnischen Tagung des Kaliver eins am 30. Mai 1994 in Hannover.

<sup>2</sup> Die Jahreszahlen in runden Klammern in Verbindung mit Eigennamen beziehen sich auf den Quellennachweis am Schluß des Beitrags.

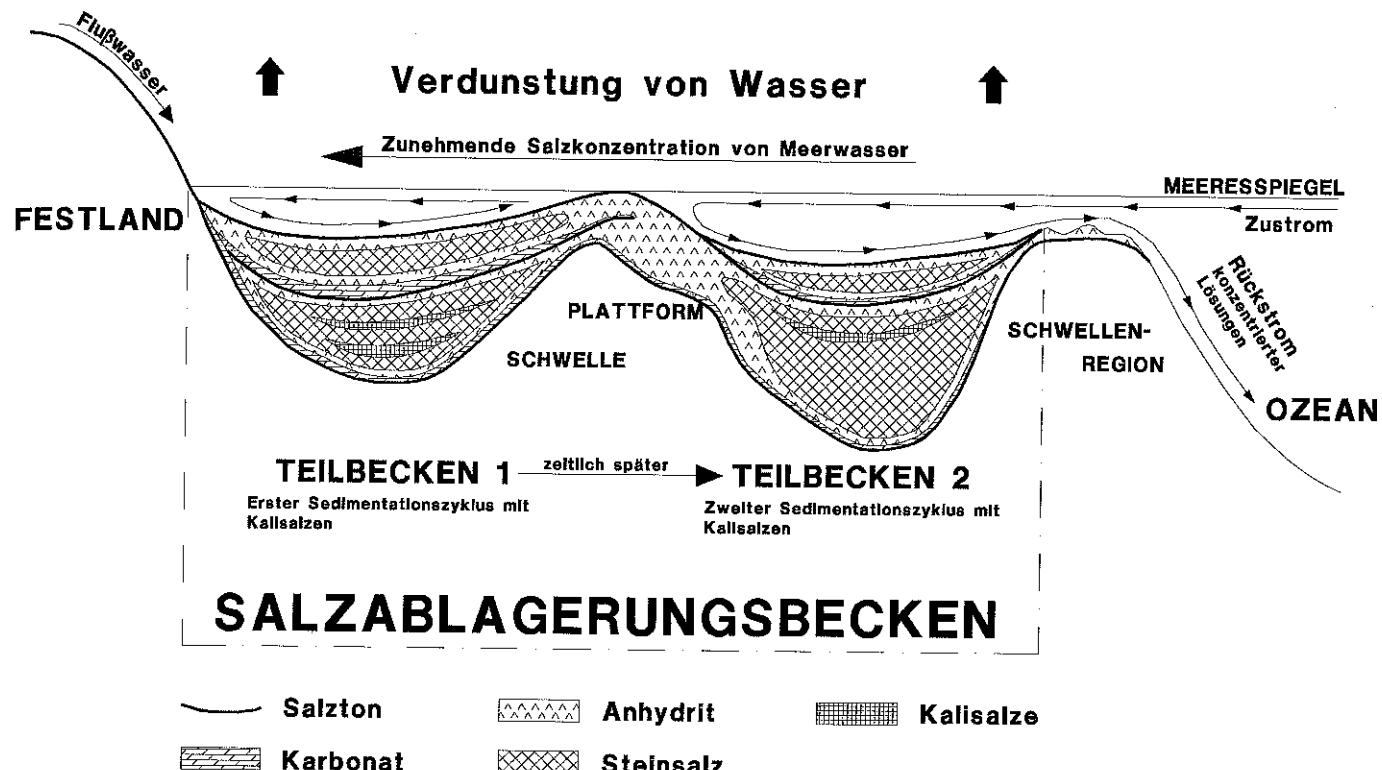


Bild 2. Evaporitbildung in Salzablagerungsbecken (nach Herrmann 1981).

Dieser Vorgang hat in Deutschland zu verschiedenen geologischen Zeiten stattgefunden, wobei es nur in zwei Zeitat-schnitten zur Ausscheidung von wirtschaftlich verwertbaren Kalium- und Magnesiumsalzen gekommen ist (Tabelle 1). Eine begrenzte Kalilagerstätte von  $400 \text{ km}^2$  Ausdehnung hat sich während des Tertiärs vor 35 Millionen Jahren im einsinkenden Oberrheintalgraben gebildet, während die ganz Norddeutschland überdeckende Lagerstätte des Zechsteins schon vor etwa 250 Millionen Jahren am Ende des Perms entstanden ist.

Die Zeit des Zechsteins war ein kurzer Abschnitt von ungefähr 5 Millionen Jahren (Menning 1986). Während dieser Periode sind in mehreren salinaren Folgen insgesamt 1 500 m Sedimente abgelagert worden, wobei die reine Salzmächtigkeit etwa 1 200 m erreichte (Tabelle 2). In der Werra-, Staßfurt- und Leine-Folge treten bauwürdige Kaliflöze auf, deren addierte Mächtigkeit 45 bis 50 m beträgt. Die höheren

Zechsteinabschnitte der Aller-, Ohre-, Friesland- und Mölln-Folge sowie die neuerdings dem Zechstein zugeordnete Bröckelschiefer-Folge (Subkommission Perm-Trias 1993, S. 77) sind als Kalilagerstätten ohne Bedeutung.

Zharkov (1981, S. 184) gibt für das gesamte Zechsteinbecken in Europa ein Salzvolumen von  $153\,000 \text{ km}^3$  an, in dem  $2\,162 \text{ km}^3$  Kalisalze enthalten sind, das entspricht dem geringen Anteil von 1,4 %. Während also die reine Mächtigkeitsbeziehung von Kalisalzen zu Steinsalz im Zechsteinsalinär ungefähr 1 zu 27 beträgt, ergibt sich volumetrisch eine Relation von 1 zu 70.

Die Voraussetzungen für die Bildung dieser Lagerstätten waren während der Zechsteinzeit ideal. Ein Becken mit einer Ausdehnung von 1 600 km in Ost-West-Richtung sowie von 600 km in Nord-Süd-Richtung und einer Fläche von  $700\,000 \text{ km}^2$  war nur über eine schmale Meerenge mit dem Nordmeer, dem Skandik, verbunden (Bild 3). Hohe Verdun-

Tabelle 1. Geologische Formationen mit Salzvorkommen in Deutschland (nach Käding 1992).

Stratigraphic			Salzmächtigkeit	Kalisalze
Neozoikum	Tertiär	Oligozän	550 m	Sylvinitflöze
	Jura	Münder Mergel	500 m	
Mesozoikum	Trias	Oberer Gipskeuper	100 m	
		Unterer Gipskeuper	250 m	
		Mittlerer Muschelkalk	140 m	
		Oberer Buntsandstein	150 m	
		Zechstein	1200 m	Hartsalz-, Sylvinit- und Carnallititflöze
Paläozoikum	Perm	Rotliegend	> 1000 m	

Tabelle 2. Stratigraphische Gliederung des Zechsteins in Deutschland (nach Richter-Bernburg 1955, Reichenbach 1970, Käding 1978, Best 1988, Subkommission Perm-Trias 1993).

	Zechstein-Folge	Untergliederung	Symbol	Steinsalzmächtigkeit
247 Mio. Jahre	Z E C H S T E I N	Bröckelschiefer	Oberer Bröckelschiefer	zB2
			Unterer Bröckelschiefer	zB1
		Mölln	Oberer Mölln-Anhydrit	A7r
			Mölln-Steinsalz	Na7
			Mölln-Ton	T7
		Friesland	Friesland-Steinsalz	Na6
			Friesland-Anhydrit	A6
			Friesland-Ton	T6
		Ohre	Oberer Ohre-Ton	T5r
			Grenzanhdydrit	A5r
			Ohre-Steinsalz	Na5
			Lagenanhdydrit	A5
			Salzbrockenton	T5
		Aller	Aller-Steinsalz	Na4
			Pegmatitanhydrit	A4
			Roter Salzton	T4
		Leine	Leine-Steinsalz mit Kaliflözen Ronnenberg (K3Ro), Bergmannssegen (K3Be) und Riedel (K3Ri)	Na3
			Hauptanhdydrit	A3
			Plattendolomit	Ca3
			Grauer Salzton	T3
		Staßfurt	Gebänderter Deckanhdydrit	A2r
			Staßfurt-Steinsalz mit Kaliflöz Staßfurt (K2)	Na2
			Basalanhdydrit	A2
			Hauptdolomit/Stinkschiefer	Ca2
		Werra	Oberer Werra-Anhydrit	A1r
			Oberer Werra-Ton	T1r
			Werra-Steinsalz mit Kaliflözen Thüringen (K1Th) und Hessen (K1H)	Na1
			Werra-Anhydrit	A1
252 Mio. Jahre			Zechsteinkalk	Ca1
			Kupferschiefer	T1
			Zechstein-Konglomerat	C1

stungsraten durch anhaltendes Wüstenklima und episodische Zufuhren von Meerwasser sorgten für die Abscheidung der oben genannten, unvorstellbar großen Salzmengen.

Im Unterschied zu den meisten anderen Kalivorkommen der Erde gehören die Kaliflöze der Werra- und der Staßfurt-Folge sowie das Kaliflöz Bergmannssegen der Leine-Folge zum seltenen Sulfat-Typ, das heißt neben den Chloridmineralen Halit, Sylvin und Carnallit haben sich aus den im Meerwasser gelösten Komponenten Sulfatminerale wie Kainit, Kieserit, Langbeinit, Polyhalit und Anhydrit gebildet und sind in der Lagerstätte in großen Mengen enthalten.

Die anderen Kaliflöze der Leine-Folge und auch des Tertiärs gehören zum verbreiteten Chlorid-Typ, bei dem das Magnesiumsulfat durch bakterielle Reduktion oder durch chemische Prozesse aus dem eindunstenden Meerwasser entfernt wurde und daher in den Flözen nicht mehr in nennenswertem Umfang enthalten ist (Herrmann 1981, S. 51 f). Nach Zharkov (1981, S. 184 f) entfällt von den oben genannten 2 162 km<sup>3</sup> Kalisalzen, die während des Zechsteins in Europa ausgeschieden wurden sind, ein Anteil von immerhin 382 km<sup>3</sup> auf den Sulfat-Typ, das sind 18 %, während dieser Anteil bezogen auf alle paläozischen Kalivorkommen der Welt nur knapp 6 % ausmacht.

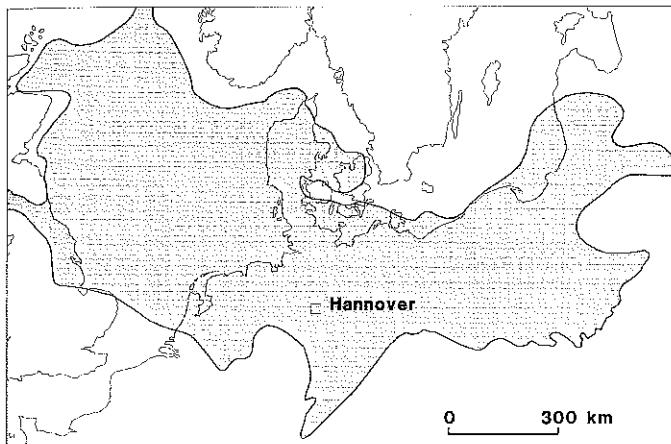


Bild 3. Zechsteinbecken (nach Ziegler 1982).

### Lagerstätten mit aktivem Kalibergbau

Die in Bild 1 dargestellten Lagerstättenbezirke, die bisher dem Abbau auf Kali unterlagen, sind nach geographischen und geologisch-lagerstättenkundlichen Gesichtspunkten zusammengefaßt, wobei die nur kurzzeitig genutzten Lagerstätten des Wendlands (Schächte Teutonia, Wendland, Ilsenburg) und Mecklenburgs (Schächte Friedrich-Franz, Jessenitz, Conow) nicht enthalten sind.

Die Wertstoffgehalte der Kaliflöze werden nachfolgend in  $K_2O$  als gebräuchlicher Kenngröße für Kalisalze ( $100\% KCl = 63,17\% K_2O$ ) und in Kieserit ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ) angegeben.

#### Werra-Fulda-Gebiet

In dem südlichen Teilbecken des Werra-Fulda-Gebietes kam es zur Ausbildung von 250 m mächtigem Werra-Steinsalz zu Beginn der hier 400 m umfassenden Zechstein-Sedimente (Schlüter 1932). Das Steinsalz ist zwischen Karbonat- und Anhydritschichten an der Basis und abdichtende Tonpakete im Hangenden eingebettet (Bild 4, S. 22). Der in den hangenden Tonsteinen eingeschaltete Plattendolomit hat durch seine Funktion als Versenkhorizont für Salzabwasser seit 1925 entscheidend zum Aufbau der Kaliindustrie an der Werra beigetragen (u. a. Finkenwirth und Fritsche 1993).

Innerhalb des Werra-Steinsalzes liegen im Abstand von 60 m zwei Kaliflöze, die die Namen der Länder Hessen und Thüringen tragen. Sie bauen sich aus Mischsalzen auf, d. h. in der Lagerstätte sind mit wechselnden Anteilen Carnallitite, Sylviniten und Hartsalze enthalten. Die Sulfatmineralisation der Hartsalze besteht überwiegend aus Kieserit, daneben treten Langbeinit und Kainit auf, vereinzelt auch Glaserit, Leonit, Loewit und Polyhalit.

Das untere Lager, Flöz Thüringen, ist meist als Carnallit über Hartsalz ausgebildet und allgemein 3 bis 5 m mächtig, in Anstauungen und Kuppen werden bis zu 90 m Mächtigkeit erreicht (Bild 5). Das spezielle Phänomen der Kuppen und ihres Abbaus wird von Mocka (1994) im einzelnen beschrieben. Die Wertstoffgehalte liegen bei 9 bis 12 %  $K_2O$  und 4 bis 10 % Kieserit.

Das obere Lager, Flöz Hessen, besteht überwiegend aus Hartsalz und ist 2 bis 3 m mächtig. Es enthält im Durchschnitt 9 %  $K_2O$  und 20 % Kieserit. Daneben sind auch die Begleitlöze zum Kaliflöz Hessen zu nennen, die lokal abbauwürdige  $K_2O$ -Gehalte und erhebliche Mächtigkeiten aufweisen.

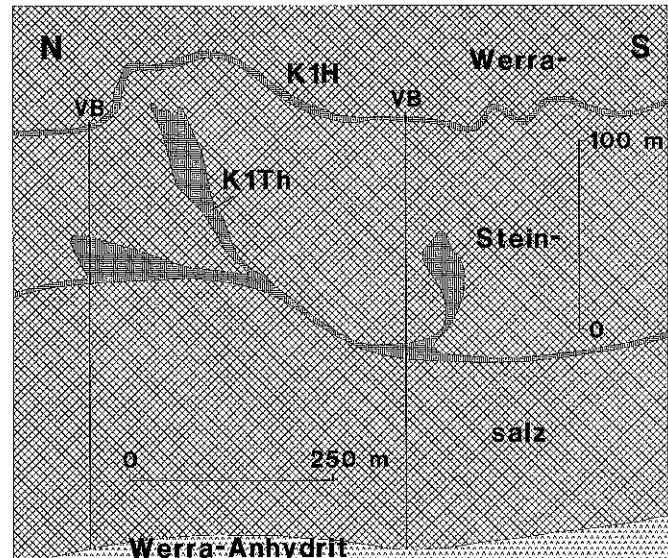


Bild 5. Lagerungsformen der Kaliflöze Thüringen (K1Th) und Hessen (K1H) (nach Pielert 1965).

Das Kaliflöz Hattorf, ein kieseritreicher Hartsalzhorizont im Oberen Werra-Steinsalz, weist zwar recht hohe Wertstoffgehalte auf, ist aber wegen der geringen Mächtigkeit von 1 m und weniger nicht bauwürdig.

Das Werra-Fulda-Kaligebiet gehört zu dem Lagerstätten- typ mit flacher Lagerung. Die Flöze fallen vom Werra-Gebiet bis an die Hochscholle von Buchenau generell mit 3° nach Südwesten ein. Weiter nach Südwesten liegen sie annähernd söhlig. Die Teufenlage beträgt 400 m bis mehr als 1 000 m. Bild 6 (S. 23) zeigt ein völlig neu bearbeitetes geologisches Profil durch das Werra-Fulda-Kaligebiet von der Lagerstätte von Neuhof bis zum Richelsdorfer Gebirge im Norden. Bei allgemein regelmäßiger Ausbildung sind die Schichten jedoch kleintektonisch wellig gelagert und örtlich intensiv verfaltet (Bild 5).

Die intakte Lagerstätte wurde vor 14 bis 25 Millionen Jahren im Tertiär von Basaltgängen und -schloten durchschlagen (Knipping 1989, S. 89; Bild 7, S. 24). Einerseits ist es dabei zu Umbildungen der leicht löslichen Kaliflöze durch eingedrungene Lösungen gekommen, flächige Veredlungen durch Sylvinisierung, aber auch Vertaubungen waren die Folge. Zum anderen ist Kohlendioxidgas zugeführt worden, das bevorzugt in Sylviniten und auch in Carnallititen unter hohen Drücken inter- und intrakristallin eingeschlossen wurde, während sogenanntes freies Gas auf Klüften und in porösem Salz gespeichert ist. Vor allem beim Gewinnungssprengen unter Tage werden Gas-Salz-Ausbrüche initiiert. Bei dem bisher wohl weltweit größten Ausbruch wurden im thüringischen Werra-Kaligebiet am 24. Mai 1984 etwa 110 000 t Salz und 2,3 Mio.  $m^3$  Kohlendioxid freigesetzt (Duchrow u. a. 1988, S. 247).

Gelegentlich werden auch geschlossene Salzlösungsvorkommen angetroffen, die Volumina bis zu mehreren Tausend Kubikmetern aufweisen können. Einige wenige offene Systeme, die aus dem Liegenden des Werra-Steinsalzes gespeist werden und Schüttungen von wenigen Litern je Minute bis mehr als 100 l/min aufweisen, werden – inzwischen z. T. bereits über Jahrzehnte – unter Kontrolle gehalten.

Die Werra-Fulda-Kalilagerstätte wird im allgemeinen durch den Salzhang, der durch reguläre Ablaugung vom Ausgehenden her entstanden ist, und tektonische Strukturen

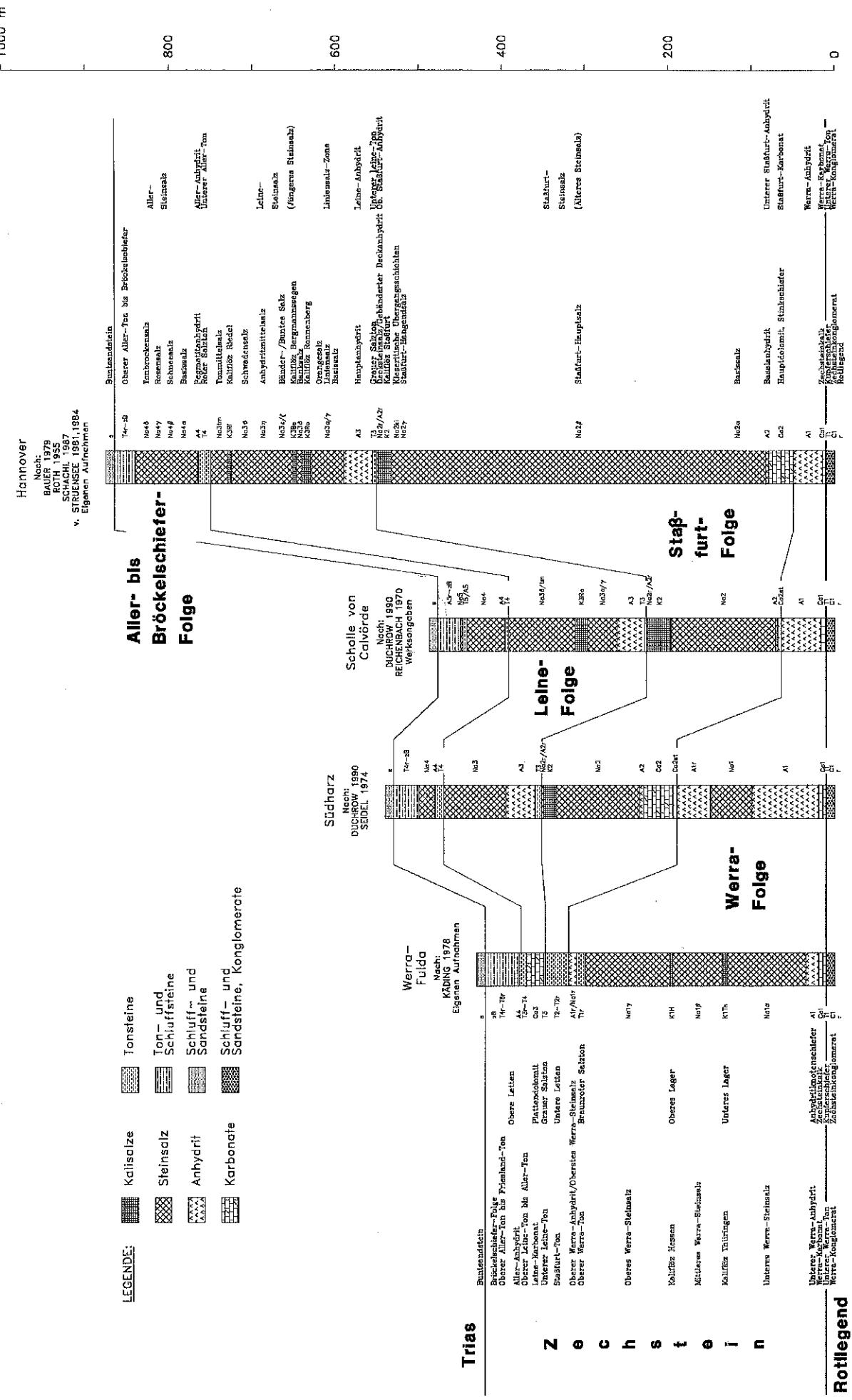


Bild 4. Stratigraphische Standardprofile des Zechsteins deutscher Kalilagerstätten.

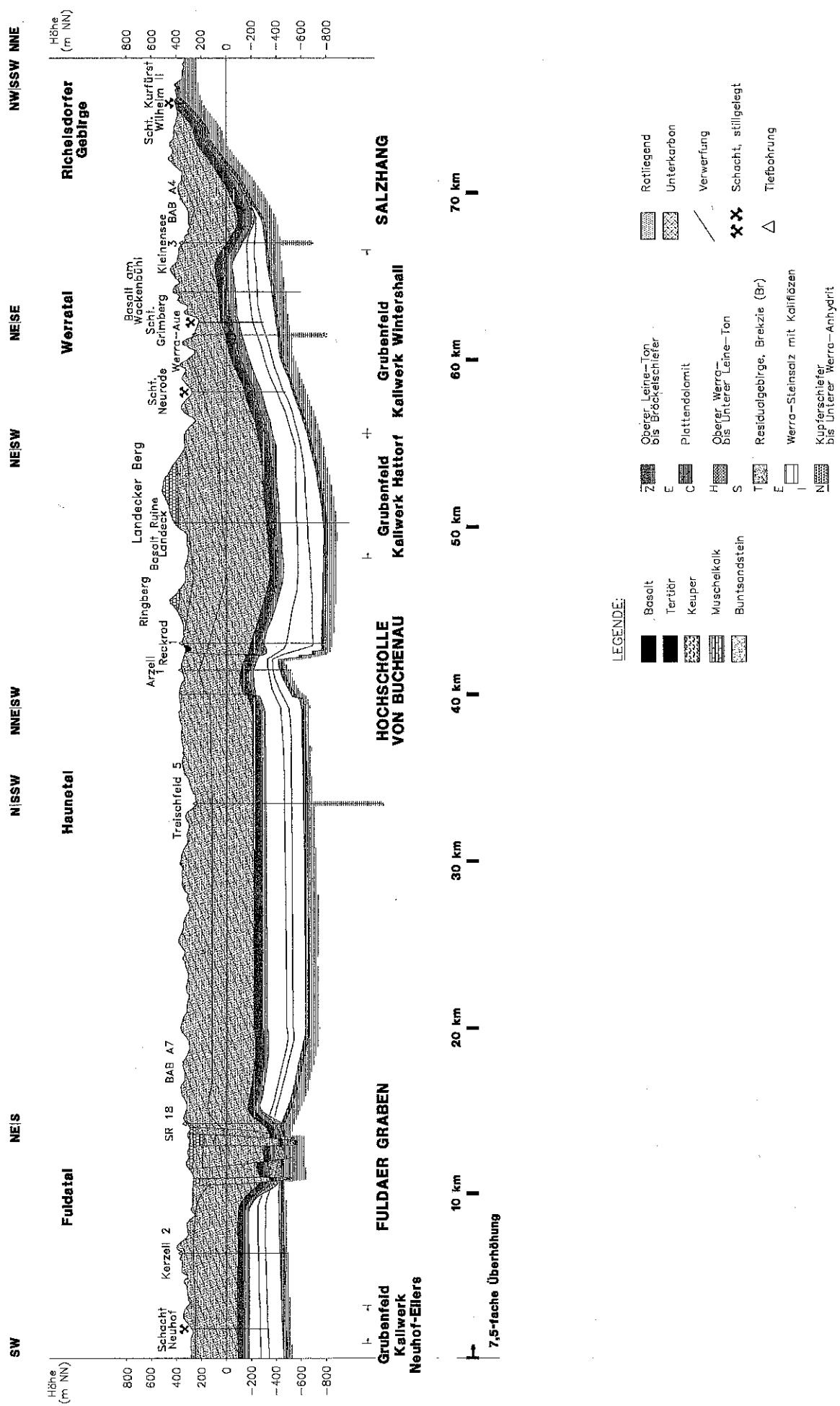


Bild 6. Geologisches Profil durch das Werra-Fulda-Kaligebiet.

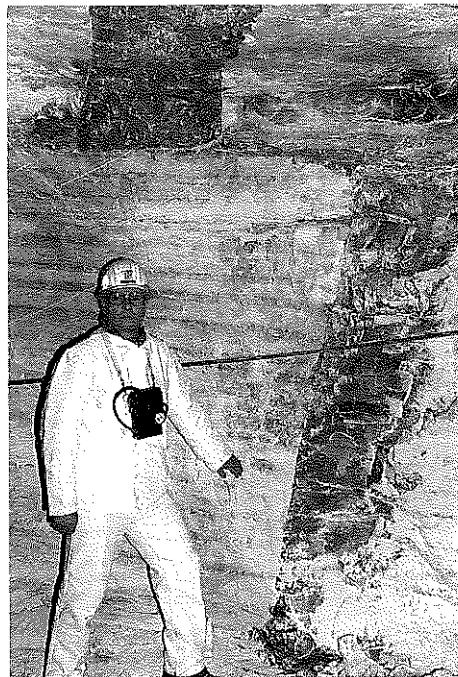


Bild 7. Basaltgang im Unteren Werra-Steinsalz mit horizontalem Versatz an einer Tonlage (100. Linie, Na1 $\alpha$  3t). Werk Wintershall, Heringen.

begrenzt. Nur im Südosten setzt die primäre Verbreitung der Kaliführung die hier für die beiden Kaliflöze unterschiedlich verlaufenden Grenzen des Vorkommens. Bild 8 zeigt die Verbreitung der Kaliflöze Thüringen und Hessen, wie sie sich nach der Auswertung der Ergebnisse aller Tiefbohrungen und geophysikalischen Messungen in diesem Raum nun darstellt.

Eine auffällige Erscheinung bildet die inmitten des Werra-Gebiets gelegene große irreguläre Auslaugungssenke von Vacha-Oberzella, die im Zentrum durch eine Tiefbohrung nachgewiesene vollständige Salzablaugeung aufweist. Sie wurde allseitig vom Bergbau umfahren. Gegen den Salzhang und die Auslaugungssenken sind spezielle Sicherheitsvorkehrungen notwendig, um ein unbeabsichtigtes Anfahren mit der Gefahr von Grundwasserzutritten zu vermeiden.

Das Flöz Thüringen nimmt eine Fläche von 1 000 km<sup>2</sup> ein, davon entfallen 150 km<sup>2</sup> auf das Teilgebiet südlich Fulda; das Flöz Hessen bedeckt eine Fläche von insgesamt 800 km<sup>2</sup> einschließlich 135 km<sup>2</sup> Anteil des Fulda-Gebiets. Innerhalb dieser Flächen haben die Grubenfelder der Werke Hattorf, Unterbreizbach mit Merkers/Springen und Wintershall seit dem Beginn der Auffahrung im Jahr 1900 eine Ausbreitung von 227 km<sup>2</sup> erreicht, die Grubenbaue des Werkes Neuhof-Ellers bedecken 43 km<sup>2</sup> Fläche (Bild 8). Der Abbau erfolgt im Kammer-Pfeiler-Verfahren auf zwei Sohlen; das Werk Neuhof-Ellers baut nur das Flöz Hessen ab.

Im Hinblick auf die bergbauliche Entwicklung des Werra-Gebiets ist ein Zitat von Dietz (1928, S. 77) auch heute weitgehend gültig: „Trotz der jetzigen, regen Fördertätigkeit in diesem Revier ist ein Abbau noch auf Jahrhunderte von den bestehenden Schächten aus gesichert.“ Und weiter: „In den Feldern von Heiligenmühle und Mariengart sowie in dem von Buttlar ist das Flöz Thüringen in sehr guter Beschaffenheit mit den Bohrungen angetroffen worden, so daß für die ferne Zukunft auch hier ein großer Vorrat an Kalisalzen gesichert ist.“

Diese ferne Zukunft liegt nun unmittelbar vor uns, da die südlich des Werkes Unterbreizbach gelegenen K<sub>2</sub>O-reichen Vorräte der Altfelder Buttlar und Heiligenmühle-Mariengart in den nächsten Jahren systematisch aufgeschlossen werden sollen.

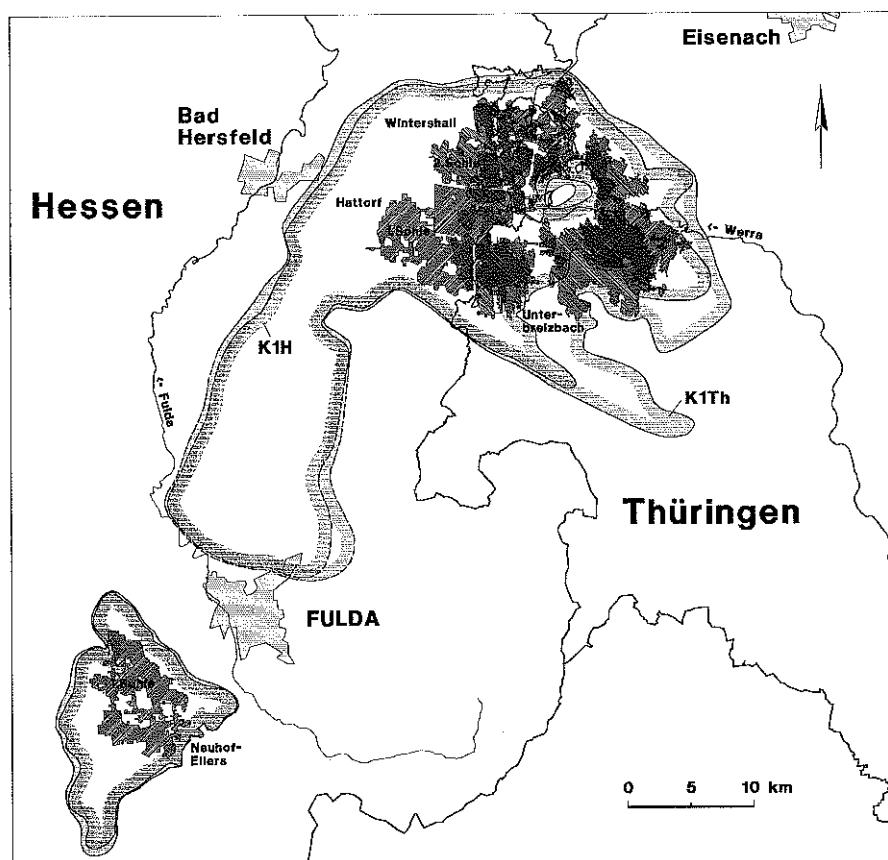


Bild 8. Verbreitung der Kaliflöze Thüringen (K1Th) und Hessen (K1H).

## Scholle von Calvörde

Ein weiteres Kalivorkommen in Deutschland, das bergbaulicher Nutzung unterliegt, ist auf der Scholle von Calvörde nördlich Magdeburg aufgeschlossen (Bild 1). Obwohl es bereits 1898 entdeckt und von dem Kaliwerk Bismarckshall bis in die zwanziger Jahre auf Staßfurt-Carnallitit abgebaut wurde, ist ein großzügiger Aufschluß erst in den sechziger Jahren mit dem neuen Bergwerk Zielitz vorgenommen worden.

Die Gesteine des Zechsteins haben auf der Scholle von Calvörde eine Mächtigkeit von 470 m mit den Steinsalzen der Staßfurt-, Leine- und Aller-Folge sowie der Ohre-Folge, die zwischen dem mächtigen Werra-Anhydrit und hangenden Tonsteinen liegen (Bild 4). Die nach dem örtlichen Flüßchen bezeichnete Ohre-Folge wurde hier von Reichenbach (1970) erstmals definiert. An der Oberkante des Staßfurt-Steinsalzes liegt das nach seinem Fundort benannte Flöz Staßfurt als im Durchschnitt 15 m mächtiger Carnallitit mit 8,5 % K<sub>2</sub>O und 10 bis 15 % Kieserit. Das ebenfalls durchschnittlich 15 m mächtige Flöz Ronnenberg – benannt nach dem Kaliwerk südwestlich von Hannover – innerhalb des Leine-Steinsalzes besteht aus einem liegenden Carnallitit mit etwa 11 % K<sub>2</sub>O und einem hangenden Sylvinit, der etwa 7 m mächtig ist und durchschnittlich 16,5 % K<sub>2</sub>O enthält. Durch synsedimentäre und diagenetische Vorgänge wie Gipsentwässerung und Klippenbildung des unterlagernden Hauptanhydrits sind örtliche und auch ausgedehntere Vertaubungen im Flöz Ronnenberg entstanden.

Die Lagerung der Scholle von Calvörde ist durch eine pultartige Schollenkippung gekennzeichnet (Bild 9). Zwischen den Abbrüchen von Haldensleben und von Gardelegen fallen die Schichten generell mit 10° nach SW ein. Die Überdeckung des Zechsteins durch Buntsandstein bis Keuper sowie Tertiär und Quartär beträgt 350 bis 1 500 m. Dieser recht einfache Lagerstättentyp mit flacher Lagerung weist im einzelnen Absetzungen in Form von Mächtigkeits- und Qualitätsänderungen sowie Verfaltungen auf, die beträchtliche Ausmaße annehmen können. So ist zum Beispiel an der Zielitzer Zentralstörung eine S-förmige Großfalte mit bis zu 150 m Höhenunterschied zwischen den Flanken entstanden.

Vor dem Abbruch von Gardelegen ist das Salz subdiert. In der nördlich anschließenden Altmark-Senke fällt die Lagerstätte schnell auf bergmännisch unerreichbare Teufen bis unterhalb 3 500 m ab.

Somit ist trotz der ausgedehnten Verbreitung des Flözes Ronnenberg im Raum nördlich Magdeburg ein bergmännischer Abbau nur auf etwa 250 km<sup>2</sup> Fläche auf der Scholle von Calvörde möglich (Bild 10). Das Kalibergwerk Zielitz – bei einer Kapazität von rund 1 Mio. t K<sub>2</sub>O pro Jahr das größte Deutschlands – mit einem Grubenfeld von zur Zeit 30 km<sup>2</sup> baut im Südosten der Scholle von Calvörde seit 1973 im Kammer-Pfeiler-Verfahren ausschließlich den Sylvinit des Kaliflözes Ronnenberg bis in Teufen von 1 200 m ab. Die sicheren Vorräte in dem Bergwerksfeld und prognostische Vorräte in den nach Nordwesten anschließenden Feldern sichern die Produktion über Jahrzehnte.

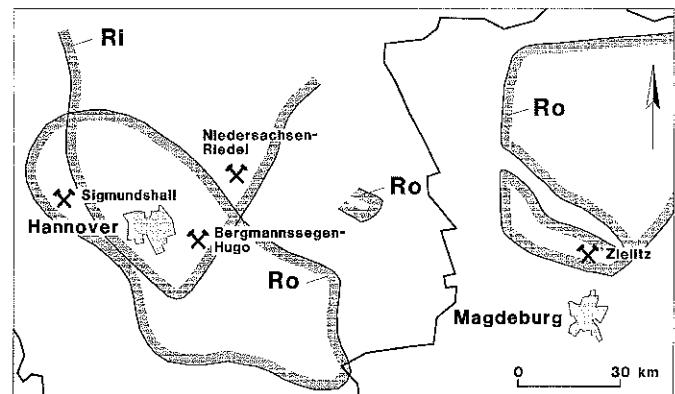


Bild 10. Verbreitung der Kaliflöze Ronnenberg (Ro) und Riedel (Ri).

## Hannoversches Kaligebiet

Ein weiteres großes Verbreitungsgebiet des Ronnenberg-Sylvinites stellt der hannoversche Raum dar, in dem das mächtige Zechsteinsalz mit Geschwindigkeiten von hundertsteln bis mehreren zehntel Millimetern im Jahr aus großen Teufen in das Deckgebirge aufgestiegen ist und prägnante Salzstrukturen in Form von Kissen, Sätteln, Domen und Mauern gebildet hat. Dadurch ist ein Lagerstättentyp mit halbsteiler bis steiler Lagerung gebildet worden.

Die ursprüngliche Mächtigkeit der Zechstein-Sedimente erreicht hier 850 bis 1 000 m. Davon entfallen 700 m auf die Steinsalze der Staßfurt-, Leine- und Aller-Folge (Bild 4). In diese Schichtenfolge sind mehrere Kaliflöze eingelagert:

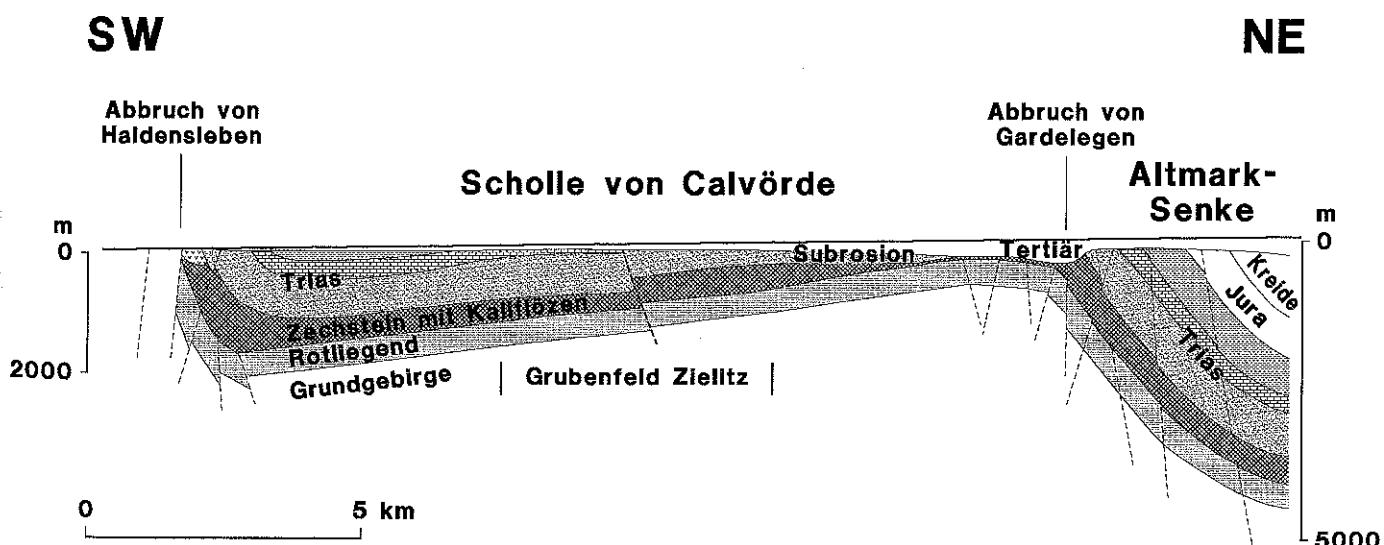


Bild 9. Geologisches Profil der Scholle von Calvörde (nach Reichenbach 1963 und Zänker 1978).

- Flöz Staßfurt, durchschnittlich 15 m mächtig. Als Hartsalz enthält es etwa 10 %  $K_2O$  und mehr als 30 % Kieserit, als Carnallitit bis 10 %  $K_2O$  und bis 10 % Kieserit.
- Flöz Ronnenberg, durchschnittlich 10 m mächtig. Es ist überwiegend als Sylvinit mit durchschnittlich 16 %  $K_2O$  ausgebildet, untergeordnet  $K_2O$ -ärmer auch als Hartsalz und Carnallitit.
- Flöz Bergmannssegen, nur im Grubenfeld des Werkes Bergmannssegen-Hugo bauwürdig, ein durchschnittlich 4 m mächtiges Hartsalz mit etwa 10 %  $K_2O$  und über 20 % Kieserit.
- Flöz Riedel, bauwürdig in den Grubenfeldern der Werke Niedersachsen-Riedel und Bergmannssegen-Hugo, ebenfalls durchschnittlich 4 m mächtig, als Sylvinit enthält es 13 bis 17 %  $K_2O$ .

Darüber hinaus kommen in stark begrenzter Verbreitung abbauwürdige Kalisalze in anderen stratigraphischen Horizonten der Leine-Folge (Kaliflöz Albert, Mittelflöz) vor, insbesondere haben  $K_2O$ -reiche Sylvinitlinsen (Schwadensylvinit, Tonmittelflöz) schon immer besonderes bergbauliches Interesse gefunden.

Die große Salzmächtigkeit in Verbindung mit der Auflast eines mehrere Kilometer mächtigen Deckgebirges und tektonischen Anstößen hat das plastisch verformbare und spezifisch leichtere Salzgebirge wie oben erwähnt in geologischen Zeiträumen zum Aufsteigen gebracht. In den dabei entstandenen Strukturen sind die Schichten durch Fließfaltung steilgestellt und extrem verformt. Mächtigkeitsanstauungen und -reduzierungen sind die Folge. Die Salzstockflanken stehen oft diskordant gegen jüngeres Nebengebirge. Zechsteinfremde Salze, das heißt Salze des Röts, des Mittleren Muschelkalks und des Münster Mergels können in den Aufbau einbezogen sein (Bild 11).

An der Oberfläche des Salzstocks, dem Salzspiegel, sind die Schichten durch Salzablaugung oder durch die Hobelwirkung eiszeitlicher Gletscher gekappt. Auch rinnenartige

Eintiefungen durch Schmelzwässer sind bekannt. Es bildete sich ein meist stark wasserführendes Residualgebirge mit dem Gipshut heraus, das von tertiären und quartären Lockersedimenten überlagert wird. Gegen den Salzspiegel wird ein Sicherheitspfeiler eingehalten, dessen bergbehördlich festgelegte Mächtigkeit durch geophysikalische Messungen wie vor allem der elektromagnetischen Reflexionsmethode (EMR, Gesteinsradar) überwacht wird (Beer 1990).

Über Ausstriche des Hauptanhydrits am Salzspiegel und über kryogene, d. h. während der Eiszeiten entstandene, Klüfte waren Verbindungen zum Salzspiegel vorhanden, die zwischenzeitlich verheilt sind (Bauer 1991). Vor allem auf den höheren Sohlen in den Salzstöcken werden daher hin und wieder geschlossene Salzlösungsvorkommen angetroffen.

Der weiten Verbreitung der Kaliflöze im hannoverschen Raum stehen wegen der bergmännisch erreichbaren Teufen nur die auf den Salzstöcken abbaubaren Flächen gegenüber. Trotzdem hat hier seit 1899 ein intensiver Bergbau stattgefunden, der auf den Kalibergwerken Bergmannssegen-Hugo und Sigmundshall sowie dem Kali- und Steinsalzbergwerk Niedersachsen-Riedel mit Teilstöcken-Strossenbau in Teufen zwischen 300 m und 1 550 m bis heute Bestand hat. Eine über die nächsten Jahre hinausgehende Zukunft ist aus Rationalisierungs- und Kapazitätsanpassungsgründen nur dem reinen Sylvinitwerk Sigmundshall vorbehalten.

### Folgerungen

Aus den bisherigen und zukünftigen Stillegungs-, Konsolidierungs- und Konzentrationsmaßnahmen der deutsche Kalischmelze ergeben sich folgende auf die Kalilagerstätten bezogene Feststellungen:

- Die Nutzung wird konzentriert auf die Kaliflöze Thüringen und Hessen mit vier Bergwerken sowie auf den Sylvinit des Flözes Ronnenberg mit zwei Bergwerken. Diese Flöze liegen inmitten mächtiger Steinsalzfolgen, die für den Bergbau ein in jeder Hinsicht günstiges Nebengebirge darstellen.
- Das bedeutende Kaliflöz Staßfurt mit der gebirgsmechanisch nachteiligen unmittelbaren Überlagerung durch Tonsteine und Anhydrite (Gebänderter Deckanhydrit, Grauer Salzton und Hauptanhydrit) wird in Zukunft aus der Förderung entfallen.
- Der Abbau der Mischsalz-Kaliflöze Thüringen und Hessen wird dadurch begünstigt, daß  $K_2O$ -ärmer, kieseritisches Hartsalz mit  $K_2O$ -reicherem Sylviniten und auch Carnallititen verschnitten und somit die Komponenten Kalium, Magnesium und Natrium sowie Chlorid und Sulfat zu einer reichen Produktpalette verarbeitet werden können.
- Die Vorkommen der flachen Lagerung im Werra-Fulda-Gebiet und auf der Scholle von Calvörde mit ihrem hohen Mechanisierungspotential nehmen den überwiegenden Anteil der im Abbau befindlichen Kalilagerstätten ein. Mit dem Kalibergwerk Sigmundshall verbleibt nur mehr ein genutztes Vorkommen der steilen Lagerung, das bezeichnenderweise einen recht einfachen tektonischen Baustil aufweist („steilgestellte flache Lagerung“).
- Die Nutzung der Vorkommen erfolgt an Standorten, an denen die Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße und kontinuierliche Entsorgung der Rückstände aus der Verarbeitung gegeben sind: Einleitung in die Vorflut, Aufhalldung, im Werra-Fulda-Gebiet Versenkung in den Plattendolomit sowie in der steilen Lagerung und in Kuppenstrukturen Einbringen als Versatz.

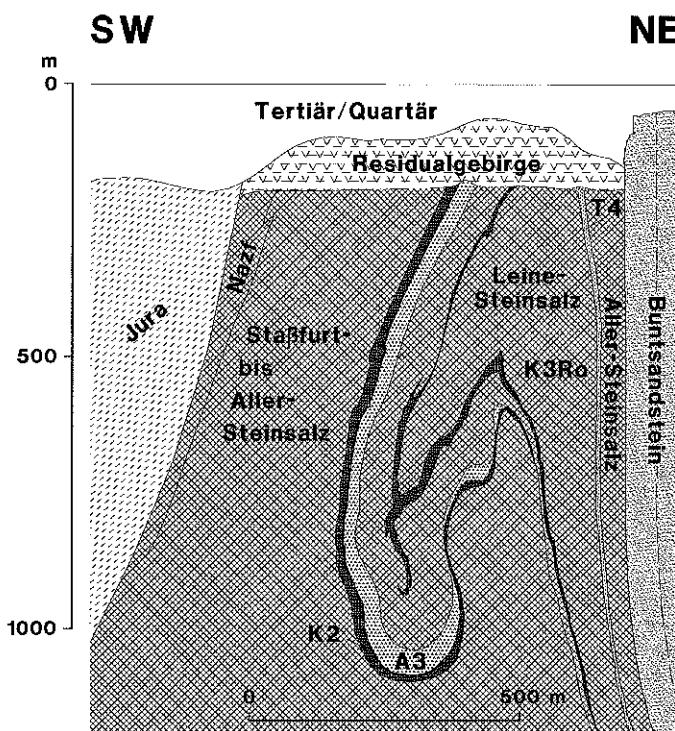


Bild 11. Geologisches Profil des Salzstocks Bokeloh (nach Bauer 1979).

## Wirtschaftliche Bedeutung der deutschen Kalilagerstätten

Bis zu der Abtretung des Elsasses und damit der dort befindlichen Kaliwerke an Frankreich nach dem Ersten Weltkrieg war Deutschland weltweit nahezu ohne Konkurrenz bei der Lieferung des pflanzenphysiologisch wichtigen Kalidüngers. Noch bis Anfang der siebziger Jahre war Gesamtdeutschland der größte Kaliproduzent. Erst mit der Erschließung der Lagerstätten in Rußland und in Saskatchewan in großem Stil verloren die deutschen Kalilagerstätten ihre herausragende Bedeutung.

Ein Vergleich der wirtschaftlichen Bedeutung der deutschen Kalilagerstätten wird im folgenden einerseits nach den Kaliflözen vorgenommen und andererseits nach den Lagerstättenbezirken. Ein Vergleich mit den Lagerstätten der anderen kaliproduzierenden Länder schließt das Bild ab.

Die vorliegenden Zahlen, vor allem der Fördermengen, können größtenteils belegt werden; insbesondere vor 1945 ist das Datenmaterial jedoch lückenhaft bzw. mußte aus anderen Angaben auf Tonnen K<sub>2</sub>O geschlossen werden. Die Unterschiede zwischen Förder- und Produktionsmengen ergeben sich aus dem Ausbringen der Kalifabriken.

### Vergleich der wirtschaftlichen Bedeutung der Kalilagerstätten innerhalb Deutschlands

Die Gesamtförderung in Deutschland betrug bis zum Jahr 1992 rund 280 Mio. t K<sub>2</sub>O. Das entspricht bei einem Durchschnittsgehalt von 11,2 % K<sub>2</sub>O einer Rohsalzmenge von etwa 2 500 Mio. t. Bei einer Dichte von 2 t/m<sup>3</sup> ergibt sich ein Rohsalzvolumen von 1,25 km<sup>3</sup>, ein verschwindend geringer Bruchteil der oben zitierten 2 162 km<sup>3</sup> Kalisalzen im gesamten Zechsteinbecken.

In Bild 12 ist die Verteilung der Fördermengen nach Kaliflözen dargestellt. Während die Kaliflöze Thüringen und Hessen gemeinsam und das Kaliflöz Staßfurt auf etwa gleich große Anteile von je rund 40 % kommen, entfallen auf die Flöze Ronnenberg, Bergmannsgegen und Riedel nur etwa 17 %, die Kaliflöze des Tertiärs sind bei dieser Betrachtung unbedeutend. Da in Zukunft nur noch die Flöze Thüringen und Hessen sowie Ronnenberg abgebaut werden, werden sich die bisherigen Verhältnisse vor allem zu Lasten des Flözes Staßfurt verändern.

Bild 13 zeigt die Verteilung nach Lagerstättenbezirken. In Tabelle 3 sind die Bezirke und Werke mit einer Förderung über 1 Mio. t K<sub>2</sub>O und ihrer Betriebszeit aufgeführt. Bei

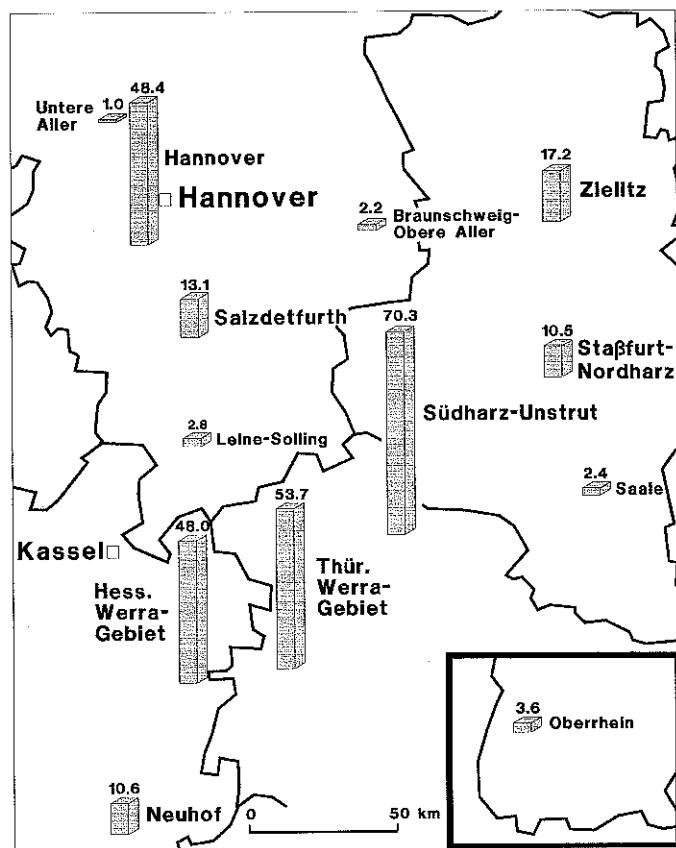


Bild 13. Kaligewinnung bis 1992 in Mio. t K<sub>2</sub>O nach Lagerstättenbezirken.

dieser auf K<sub>2</sub>O bezogenen Betrachtung werden kaliumfreie Wertstoffe und Produkte nicht berücksichtigt. Dennoch ist der K<sub>2</sub>O-Wert sicher eine verlässliche Grundlage für einen Vergleich der Lagerstätten untereinander.

Die seit der Jahrhundertwende fördernden Bezirke Großraum Hannover, Südharz-Unstrut-Gebiet, hessisches Werra-Fulda-Gebiet sowie thüringisches Werra-Gebiet weisen etwa gleiche Anteile um 20 % an der Förderung auf. Das erst seit 1973 produzierende Werk Ziellitz ist in 20 Jahren schon auf einen Anteil von 6 % gekommen. Für Ziellitz ergibt sich eine durchschnittliche jährliche Förderung von über 850 000 t K<sub>2</sub>O, eine Größenordnung, die von keinem anderen Werk in Deutschland erreicht wurde. Allerdings stehen die Werra-Werke dem nicht allzuviel nach, wenn man den Zeitraum ab 1973 betrachtet: Das Werk Merkers hatte eine durchschnittliche Fördermenge von 750 000 t K<sub>2</sub>O/Jahr erreicht, die Werke Hattorf und Wintershall liegen bei jeweils etwa 600 000 bis 650 000 t K<sub>2</sub>O/Jahr.

Das Nordharz-Staßfurt-Gebiet, das das Revier mit der längsten Förderzeit darstellt (1861 bis 1972), weist knapp 4 % Anteil an der Förderung auf, wobei die Fördermenge wegen der unzulänglichen Aufzeichnungen aus der Anfangszeit des Kalibergbaus eine nach oben abgerundete Zahl darstellt. Die übrigen Bezirke einschließlich des Tertiärvorkommens im Oberrheintal machen zusammen ebenfalls nur etwas mehr als 4 % aus.

Die Relationen der Kalisalzförderung nach Lagerstättenbezirken waren anscheinend über längere Zeiträume stabil; zum Beispiel werden für das Jahr 1930 für Hannover 21,9 % angegeben, für den Südharz 20,5 % und für das gesamte Werra-Fulda-Gebiet 35,5 %, während allerdings Magdeburg-Staßfurt immerhin 14,8 % erreichte (Baumert 1932, S. 209).

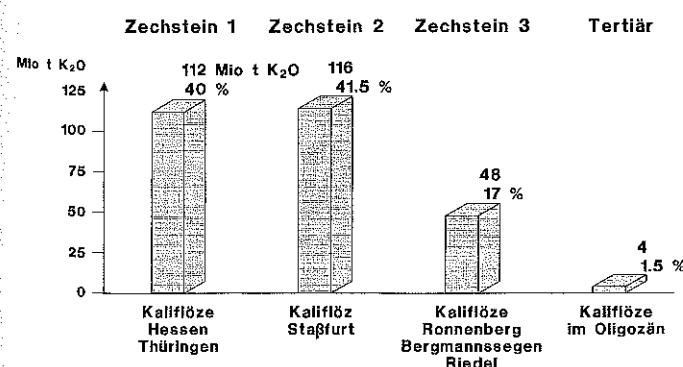


Bild 12. Anteil Kaliflöze an der Förderung bis 1992. Kumuliert 280 Mio. t K<sub>2</sub>O = 100 %.

Tabelle 3. Kalibezirke und -bergwerke mit mehr als 1 Mio. t K<sub>2</sub>O Gesamtförderung.

Bezirk/Kalibergwerk	Mio. t K <sub>2</sub> O	Betriebszeit	Tt K <sub>2</sub> O/Jahr Ø bis 1992	Bemerkung
<b>Werra-Fulda</b>	<b>112,3</b>			
Merkers	27,7	1901 - 1993	300	früher Kaiseroda
Wintershall	24,6	1903 -	275	in Heringen
Hattorf	23,4	1910 -	270	in Philippsthal
Unterbreizbach	15,3	1909 -	180	früher Sachsen-Weimar
Neuhof-Ellers	10,6	1909 - 1926; 1954 -	190	
Springen	10,2	1913 - 1990	115	früher Heiligenroda
<b>Südharz-Unstrut</b>	<b>70,3</b>			
Roßleben	15,6	1908 - 1991	185	
Bischofferode	14,5	1911 - 1993	180	
Glückauf Sondershausen	13,5	1896 - 1991	140	
Sollstedt	11,2	1904 - 1990	130	
Bleicherode	7,7	1902 - 1990	85	
Volkenroda	7,5	1909 - 1990	90	
<b>Saale</b>	<b>2,4</b>			
Teutschenthal	2,15	1911 - 1989	30	früher Krügershall
<b>Leine-Solling</b>	<b>2,8</b>			
Königshall-Hindenburg	2,3	1913 - 1938; 1950 - 1962	55	zeitweise abgesoffen, bei Reyershausen/Göttingen
<b>Nordharz-Staßfurt</b>	<b>10,5</b>			
Staßfurt	8,5	1861 - 1972	75	ungenaue Angabe
Friedenshall	1,8	1895 - 1962	25	früher Solvayhall, bei Bernburg
<b>Zielitz</b>	<b>17,2</b>			
Zielitz	17,1	1973 -	850	
<b>Hannover</b>	<b>61,2</b>			
Salzdetfurth	12,8	1899 - 1992	135	
Sigmundshall	10,9	1904 - 1932; 1949 -	150	bei Wunstorf
Bergmannssegen-Hugo	9,5	1909 -	115	bei Lehrte
Friedrichshall	6,9	1906 - 1981	90	bei Sehnde
Niedersachsen-Riedel	6,7	1909 -	85	bei Celle
Siegfried-Giesen	6,3	1910 - 1987	80	bei Hildesheim
Hansa	3,9	1908 - 1973	60	bei Hannover
Ronnenberg	3,3	1905 - 1975	45	bei Hannover, abgesoffen
<b>Untere Aller</b>	<b>1,0</b>			
<b>Braunschweig/Obere Aller</b>	<b>2,2</b>			
<b>Oberrhein</b>	<b>3,6</b>			
Buggingen	3,2	1928 - 1973	70	

Wie Baumert schon 1932 betonte, stellt das Werra-Fulda-Kaligebiet den bedeutendsten Bezirk dar, es steht mit zusammen 40 % Anteil an der bisherigen Förderung an erster Stelle. Hier befinden sich die drei größten Einzelwerke in Deutschland, bezogen auf die Förderung seit Anbeginn bis 1992 (s. a. Tabelle 3):

- Werk Merkers (vormals Kaiseroda, 1993 stillgelegt)
- Werk Wintershall, seit 1903 in Förderung und somit das älteste noch fördernde Kalibergwerk der Welt
- Werk Hattorf

Auf Merkers wurden damit in 92 Jahren etwa 250 Mio. t Rohsalze gefördert. Zum Vergleich sei das bekannte Erzbergwerk Rammelsberg bei Goslar genannt, für das 27 Mio. t Erze als Förderung während seiner 1000jährigen Geschichte angenommen werden.

Die Bedeutung des Werra-Gebiets wird außer durch die absolute Menge noch durch eine andere wichtige Kenngröße illustriert. Die Werke Hattorf und Wintershall haben von

27,7 Mio. t K<sub>2</sub>O,

24,6 Mio. t K<sub>2</sub>O,  
23,4 Mio. t K<sub>2</sub>O.

Anbeginn bis 1993 zusammen 14,5 Mio. t K<sub>2</sub>O als Kaliumsulfat hergestellt, das ergibt einen Anteil von fast 40 % an der bisherigen Gesamtproduktion der beiden Werke. Auf der thüringischen Seite des Werra-Gebiets sind immerhin noch einmal 3,3 Mio. t K<sub>2</sub>O zu Kaliumsulfat verarbeitet worden.

An der Weltproduktion des Spezialdüngers Kaliumsulfat sind die beiden hessischen Werke an der Werra derzeit mit etwa 25 % beteiligt.

#### Vergleich der Kaliproduktion nach Ländern und Ausblick

Ein Vergleich der Kaliproduktion bis 1993 nach Ländern ergibt ein recht überraschendes Bild (Bild 14, Tabelle 4). Von ungefähr 890 Mio. t K<sub>2</sub>O entfallen 92 % der bisherigen Weltproduktion auf nur fünf Länder.

Trotz der seit Jahrzehnten absolut hohen Kaliproduktion in Kanada sowie der GUS hat Deutschland mit 252 Mio. t K<sub>2</sub>O – entsprechend 28 % – den Spaltenplatz halten können. Diese Produktionszahl setzt sich zusammen aus etwa 52 Mio. t K<sub>2</sub>O

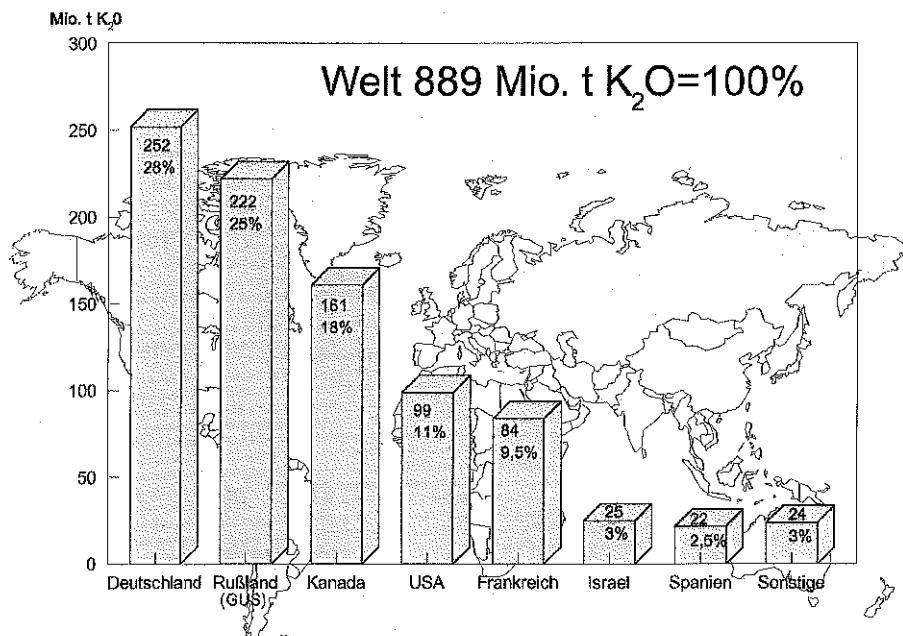


Bild 14. Anteil der kaliproduzierenden Länder an der Weltproduktion bis 1993.

Tabelle 4. Produktion der kaliproduzierenden Länder bis 1993.

Land	Mio. t K <sub>2</sub> O Gesamt	Produktionszeit- raum/Bemerkung <sup>1</sup>	Mio. t K <sub>2</sub> O 1993
Deutschland	252	seit 1861	2,9
GUS (Rußland)	222	seit 1932	4,7
Kanada	161	seit 1962	6,8
USA <sup>2</sup>	99	seit 1917	1,5
Frankreich	84	seit 1919	0,9
Israel <sup>3</sup>	25	seit 1932 (Palästina)	1,3
Spanien	22	seit 1926	0,7
Jordanien <sup>3</sup>	7,3	seit 1983	0,8
Großbritannien	6,1	seit 1974	0,6
Italien	4,2	seit 1959	0
China <sup>3</sup>	1,9	seit 1975 (unsicher)	0,06
Kongo	1,9	1969 - 1977	
Chile	0,7	seit 1972 (KNO <sub>3</sub> , Caliche)	0,04
Polen	1,0	1920 - 1938	
Brasilien	0,6	seit 1986	0,17
<b>Summe</b>	<b>889</b>		

<sup>1</sup> The British Sulphur Corporation 1985

<sup>2</sup> einschließlich des am Great Salt Lake durch solare Evaporation genutzten Vorkommens

<sup>3</sup> durch solare Evaporation genutzte Salzlösungsvorkommen

von 1861 bis 1945, 106 Mio. t der mitteldeutschen Kaliwerke und 94 Mio. t der Kaliwerke in den alten Bundesländern von 1945 bis 1993.

Die GUS und Kanada folgen auf den Plätzen 2 und 3, deutlich abgesetzt gegenüber den USA und Frankreich, das die eingangs erwähnte begrenzte Kalilagerstätte des Tertiärs im Oberrheintal durch konsequenter Pfeilerbruchbau bis zur Erschöpfung Ende dieses Jahrzehnts genutzt haben wird und danach über keine einheimischen Kalilagerstätten mehr verfügt.

Alle übrigen kaliproduzierenden Länder weisen zusammen nur einen Anteil von 71 Mio. t K<sub>2</sub>O auf, entsprechend 8 %. In Tabelle 4 ist Äthiopien nicht enthalten, wo von 1917 bis 1929 in der Danakil-Senke oberflächennah etwa 70 000 t Kalisalze gewonnen wurden.

Aufgrund enormer Kapazitäten und immenser Vorräte der gegenwärtig größten Produzenten in Kanada und in der GUS ist davon auszugehen, daß sich in dem nächsten Jahrzehnt diese Reihenfolge ändern wird. Die Kaliproduktion in Deutschland wird aber einen der vorderen Plätze auch langfristig halten, da in den USA eine geringere Kapazität besteht und in Frankreich die Lagerstätte in Kürze erschöpft ist.

Nach neueren Schätzungen von Bauer und Schachl (1993; s. Tabelle 5) sind in Deutschland zwischen 400 und 800 Mio. t K<sub>2</sub>O an bauwürdigen geologischen Vorräten vorhanden. Damit folgt es auch in der Vorratsstatistik unmittelbar auf die vorgenannten Länder, die in ihren Vorräten eine Zehnerpotenz höher eingeschätzt werden. Dem fusionierten deutschen Kalibergbau mit einer Kapazität von rund 3 Mio. t K<sub>2</sub>O im Jahr stehen also Lagerstätten für eine langanhaltende Zukunft in Mitteleuropa zur Verfügung.

Tabelle 5. Gewinnbare Kalivorräte in Mio. t K<sub>2</sub>O (ohne Lösungsbau; nach Bauer und Schachl 1993, S. 44).

	Bergbau	Solare Evaporation
Kanada	4 500 - 6 000	
GUS	2 000 - 3 000	
Deutschland	400 - 800	
Israel und Jordanien		100 - 200
USA	100 - 150	
Thailand	- 160	
China		10 - 100
Chile und Peru		30 - 50
England	30 - 50	
Spanien	20 - 30	
Brasilien	10 - 40	
Kongo	ca. 20	
Frankreich	ca. 20	
Laos	bis zu 20	
Italien	10 - 20	
<b>Welt</b>	<b>7 500 - 10 000 *</b>	

In Australien, Äthiopien, Iran, Libyen, Marokko, Polen und Tunesien nur Vorkommen von lokaler Bedeutung.

\* um den Faktor 4 bis 5 größer bei Einschluß der nur mit Lösungsbau gewinnbaren Vorkommen

## Zusammenfassung

Die Kalilagerstätten in Deutschland sind hauptsächlich während der Zeit des Zechsteins vor 250 Mio. Jahren in einem Randmeer durch Eindunstung von Meerwasser entstanden. Ein zweites Mal ist nur im Oberrheintal im Tertiär vor 35 Mio. Jahren Kali abgeschieden worden.

Durch den seit mehr als 130 Jahren umgehenden Kalibergbau sind die Lagerstätten gut bekannt, wobei auf die in Verhieb befindlichen Vorkommen sowie auf die wirtschaftliche Bedeutung der Kalilagerstätten eingegangen wird.

Im etwa 1 000 km<sup>2</sup> großen Werra-Fulda-Gebiet liegen die Kaliflöze Thüringen und Hessen in 400 bis 1000 m Tiefe in flacher Lagerung. Die Hartsalz- und Carnallititflöze sind 2 bis 5 m mächtig und enthalten 9 bis 12 % K<sub>2</sub>O.

Auf der etwa 250 km<sup>2</sup> umfassenden Scholle von Calvörde nördlich Magdeburg sind die Kaliflöze Staßfurt und Ronnenberg ausgebildet. Der ausschließlich gebaute Sylvinit des Flözes Ronnenberg zwischen 600 und 1200 m Tiefe fällt mit etwa 10° ein, ist im Mittel 7 m mächtig und enthält durchschnittlich 16,5 % K<sub>2</sub>O.

Im Gebiet um Hannover befinden sich in Salzstöcken die Kaliflöze Staßfurt, Ronnenberg, Bergmannssegen und Riedel in steiler Lagerung und intensiver Verfaltung. Die abzubauenden Hartsalze und Sylviniten liegen in 350 bis 1500 m Tiefe mit 2 bis 40 m Mächtigkeit und 10 bis 30 % K<sub>2</sub>O.

Eine Abschätzung der Bedeutung der deutschen Kalilagerstätten ergibt sich aus der Förderung von etwa 280 Mio. t K<sub>2</sub>O seit 1861 und einer Produktion von etwa 250 Mio. t K<sub>2</sub>O. Das entspricht einem beachtlichen Anteil von 28 % an der bisherigen Weltproduktion von rd. 890 Mio. t K<sub>2</sub>O. Die Kieseritgehalte ermöglichen die Herstellung von Kaliumsulfat mit einem Anteil an der Weltproduktion von derzeit 25 %.

Die noch vorhandenen Vorräte reichen bei der heutigen Förderrate bis weit in das nächste Jahrhundert.

## Quellen nachweis

Bauer, G. (1979): Salze. In: Voss, H. H., Geol. Kte. Niedersachsen 1 : 25 000, Erl. Blatt 3522 Wunstorf, S. 69-71, Hannover.

Bauer, G. (1991): Kryogene Klüfte in norddeutschen Salzdiapirien. In: Zbl. Geol. Paläont. Teil I, H. 4, S. 1247-1261.

Bauer, G.; Schachl, E. (1993): Potash Salt Deposits. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A 22, 41-47, Weinheim.

Baumert, B. (1932): Entwicklung und bergbauliche Bedeutung des Werra-Fulda-Kalibezirks. In: Kali, verwandte Salze und Erdöl, XXVI. Jg., S. 209-214, 249-252, 261-265.

Beer, W. (1990): Elektromagnetische Reflexionsmessungen im Kali- und Steinsalzbergbau – Zwölf Jahre praktische Anwendungen und Ergebnisse. In: Kali und Steinsalz 10, H. 7/8, S. 226-232.

Best, G. (1989): Die Grenze Zechstein/Buntsandstein in Nordwest-Deutschland nach Bohrlochmessungen. In: Z. dt. geol. Ges. 140, S. 73-85.

Dietz, C. (1928): Die Salzlagerstätte des Werra-Kaligebietes. Hrsg. Preuß. geol. L.-A., Berlin.

Duchrow, G. (1990): Die bergtechnische Entwicklung des Kalisalzbergbaus der DDR. In: Glückauf 126, S. 21-22, 1016-1032.

Duchrow, G.; Thoma, K.; Marggraf, P.; Salzer, K. (1988): Forschungen zum Phänomen der Salz-Gas-Ausbrüche im Werra-Kaligebiet der DDR. In: N. Bergbautechnik 18, H. 7, S. 241-250.

Finkenwirth, A.; Fritsche, H. G. (1993): Hydrogeologische Möglichkeiten und Grenzen der Versenkung. In: Salz in Werra und Weser – Ursachen, Folgen, Abhilfe, DVWK Mitteilungen 24, S. 40-65.

Fulda, E. (1938): Steinsalz und Kalisalze. In: Beyschlag, Krusch und Vogt (Hrsg.): Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine, III. Band, 2. Teil, Stuttgart.

Herrmann, A. G. (1981): Grundkenntnisse über die Entstehung der Salzlagerstätten. In: Aufschluss 32, S. 45-72.

Käding, K.-Chr. (1978): Stratigraphische Gliederung des Zechsteins im Werra-Fulda-Becken. In: Geol. Jb. Hessen 106, S. 123-130.

Käding, K.-Chr. (1992): Salzlagerstätten in Niedersachsen. In: Nds. Akad. Geowiss. Veröfftl., H. 8, S. 7-15.

Knipping, B. (1989): Basalt Intrusions in Evaporites. In: Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 24, VI, Berlin u. a.

Marx (1925): Kalilagerstätten. In: Spackeler: Kalibergbaukunde, S. 1-18. Halle: Verlag Wilhelm Knapp.

Mayrhofer, H.; Bauer, G. (1979): Zechstein. In: Voss, H. H., Geol. Kte. Niedersachsen 1 : 25 000, Erl. Blatt 3522 Wunstorf, S. 14-16, Hannover.

Menning, M. (1986): Zur Dauer des Zechsteins aus magnetostratigraphischer Sicht. In: Z. Geol. Wiss. 14, H. 4, S. 395-404.

Mocka, N. (1994): Der Systemkuppenabbau in der Grube Unterbreizbach. In: Kali und Steinsalz 11, H. 8/9, S. 256-262.

Reichenbach, W. (1963): Ergebnisbericht Kalisalzvorerkundung Scholle von Calvörde (Ostteil). Unveröff. Bericht VEB Geologische Erkundung West, Halle/Saale.

Reichenbach, W. (1970): Die lithologische Gliederung der rezessiven Folgen von Zechstein 2 - 5 in ihrer Beckenausbildung. In: Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss., A, Geol. Paläont. 15, H. 4, S. 555-563.

Ochsenius, C. (1877): Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze unter specieller Berücksichtigung der Flöze von Douglashall in der Egeln'schen Mulde. Halle: C.E.M. Pfeffer.

Pielert, P. (1965): Abbildung aus Werksunterlagen des ehemaligen Kalibetriebs „Werra“.

Richter-Bernburg, G. (1955): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. In: Z. deutsch. geol. Ges., Jg. 1953, Bd. 105, S. 843-854.

Roth, H. (1955): Befahrung des Kaliwerkes „Bergmannssegen-Hugo“ der Wintershall AG. In: Z. deutsch. geol. Ges., Jg. 1953, Bd. 105, S. 868-871.

Schachl, E. (1987): Kali- und Steinsalzbergwerk Niedersachsen-Riedel der Kali und Salz AG, Schachtanlage Riedel – Zechsteinstratigraphie und Innenbau des Salzstocks von Hänigsen-Wathlingen. In: Int. Symp. Zechstein 87, Exkf., I, S. 69-100, Wiesbaden.

Schlüter, H. (1932): Die Eingliederung der Werra-Serie in das deutsche Zechsteinprofil. In: Kali, XXVI. Jg., S. 171-174, 190-193.

Seidel, G. (1974): Zechstein. In: Hoppe, W., und Seidel, G. (Hrsg.), Geologie von Thüringen, S. 516-533, Gotha/Leipzig.

Stolle, E. (1965): Vergleichende Betrachtung der Kalilagerstätten der Erde unter wirtschaftlichen Aspekten. In: Bergakademie, 17. Jg., H. 11, S. 657-663.

Struensee, G. v. (1981): Zechstein. - In: Lang, H. D., Geol. Kte. Niedersachsen 1 : 25 000, Erl. Blatt 3324 Lindwedel, S. 10-18, Hannover.

Struensee, G. v. (1984): Zechstein. In: Lepper, J., Geol. Kte. Niedersachsen 1 : 25 000, Erl. Blatt 3725 Sarstedt, S. 15-25, Hannover.

Subkommission Perm-Trias (1993): Beschlüsse zur Festlegung der lithostratigraphischen Grenzen Zechstein/Buntsandstein/Muschelkalk und zu Neubenennungen im Unteren Buntsandstein in der Bundesrepublik Deutschland. In: Nachr. Dt. Geol. Ges., H. 49, S. 76 - 81.

The British Sulphur Corporation Limited (1985): World Survey of Potash Resources. 4. Ed., London.

Zänker, G. (1978): Vorratsberechnung Stand 1.7.1978. Flöz Ronnenberg, Sylvinit und Carnallitit. Unveröff. Bericht VEB Kombinat Kali, VEB Kalibetrieb Zielitz.

Zharkov, M. A. (1981): History of Paleozoic Salt Accumulation. Berlin, Heidelberg, New York.

Ziegler, P. A. (1982): Geological Atlas of Western and Central Europe. Shell Internat., Amsterdam.