

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Badische Schulzeitung. 1860-1933 1929

5/6 (1.6.1929) Die Fortbildungsschule. Monatliche Beilage zur Badischen
Schulzeitung

Die Fortbildungsschule

Monatliche Beilage zur Badischen Schulzeitung.

Nr. 5/6 Alle für die Beilage bestimmten Einsendungen an Fortbildungsschullehrer Karl Beck, Karlsruhe, Welshienstr. 40 Mai/Juni 1929

Das Kali in der Natur; Die Entwicklung der deutschen Kali-Industrie.



Das Kali in der Natur; Die Entwicklung der deutschen Kali-Industrie.

J. Fischer, Pforzen.

Schon in vorgeschichtlicher Zeit waren die Mineralien Kali und Natron bekannt und sicher auch durch einen Namen gekennzeichnet. Die älteste Benennung finden wir bei den Ägyptern. Diese stellten durch Verbrennung von Seepflanzen ein Produkt her, das sie mit einem Wortlaut bezeichneten, den die Griechen mit Nitron, die Lateiner mit Natron wiedergaben, und in welchem wir den Ursprung des Wortes Natron erblicken. Auch bei den Arabern war dieser Ausdruck für natürliches oder durch Verbrennen von Pflanzen gewonnenes kohlensaures Alkali geläufig, gebrauchten aber auch die Bezeichnung „Kali“. Sie nannten ein in Südfrankreich und Spanien einheimisches baumloses, salziges Kraut Kali, das durch Verbrennen, Auslaugen und Eintrocknen das Kaliumkarbonat (Pottasche) lieferte. Der Name Alkali als Bezeichnung einer sodaartigen Substanz; wurde zuerst in lateinischen Schriften entdeckt, die man als Übersetzungen des berühmten maurischen Alchimisten Geber ansah. Jedenfalls ist von Spanien aus, wohin die Araber die Kenntnis von der Gewinnung der Soda und Pottasche durch Verbrennung gewisser Pflanzen brachten, diese Wissenschaft allmählich über Europa verbreitet worden. Aus dem alten Nitrum entstand allmählich die Bezeichnung Natron, während man unter Nitrum den Salpeter verstand. Bis zum 17. Jahrhundert wußte man Natron von Kali nicht zu unterscheiden. Alle bekannten Alkalien wurden vielmehr als verschiedene Abarten ein und desselben laugenartigen Stoffes angesehen.

Im Jahre 1787 wurden von den französischen Chemikern die Ausdrücke „Potasse“ und „Soude“ für die ähnden Alkalien eingesetzt und der deutsche Chemiker Klaproth führte diese Namen in die deutsche Sprache ein mit den heute üblichen „Kali“ und „Natron“. Der Ausdruck Potasse, der fast in allen außerdeutschen europäischen Sprachen sich eingebürgert, rührt von dem volkstümlichen Wort „Pottasche“ her, der für das Kaliumkarbonat von jeher in deutschen Landen angewandt wurde, weil man dieses in Töpfen zu glühen und so in den Handel zu bringen pflegte.

Der Grundbestandteil aller Kalisalze und Kaliumverbindungen, das chemische Element Kalium, wurde 1807 durch den englischen Chemiker Humphry Davy entdeckt.

Der lebhaften Neigung des Kalis, mit einer Säure sich zu einem Salz zu vereinigen, ist es zuzuschreiben, daß freies Kali in der Natur nicht vorkommt, und daß darum die Menschen zuerst die in der Natur zahlreich vorhandenen Kalisalze kannten.

Die Gesamtmenge des in der Natur vorhandenen Kaliums ist auf die in den Gesteinen der Erdrinde vorhandenen kaliumhaltigen Mineralien zurückzuführen. Durch Witterungsprozesse und Ausscheidungen im Pflanzen- und Tierkörper werden die verschiedenen wichtigsten von der Menschheit ausgenutzten Kaliummengen gewonnen.

Die Hauptquelle für die Kaligewinnung vor der Eröffnung des Kalibergbaues bildete von der Urzeit an die Pflanzenasche. Sie begleitet in ihrer mannigfaltigen Anwendung die gesamte menschliche Kultur von ihren Ursprüngen bis zur heutigen Zeit. Es waren die Länder mit reichen Waldbeständen, die in erster Linie die Holzasche lieferten, so im Mittelalter das östliche Deutschland, Polen, Rußland, sowie die Gebirgswaldungen im Harz, Schwarzwald, Böhmerwald, Thüringerwald usw.

Nach eingehend genauen wissenschaftlichen Untersuchungen durch P. Krißche ist festgestellt, daß die verschiedenen Pflanzen ganz verschiedenen Kaligehalt aufweisen.

Weitaus an erster Stelle stehen Tabakblätter und -stengel. In den Vereinigten Staaten werden darum von jeher gemahlene Tabakstengel als Düngemittel und für die Herstellung von Mischdünger verwendet. In der Holzasche finden sich je nach

ihrer Herkunft 10—30 % Kali. 1850 stammte noch Dreiviertel der Kaliumproduktion aus Kanada. Außer Kanada und den Vereinigten Staaten war namentlich Rußland an dieser Produktion beteiligt. Sie nahm aber rasch ab, weil sie gegenüber der Pottasche, die aus den deutschen Kalisalzen gewonnen wurde, sobald der deutsche Kalibergbau erschlossen war, nicht mehr konkurrenzfähig bleiben konnte und weil außerdem die Wälder immer mehr sich lichteteten. Zur Kalidüngung wird heute die Holzasche nur noch in abgelegenen Waldgegenden, wie im Schwarzwald, Böhmerwald, in Kanada und Rußland benutzt. Früher war diese Verwendung überall gebräuchlich.

Nicht nur die Land-, sondern auch die Meerespflanzen bedürfen zu ihrem Aufbau mineralischer Stoffe, namentlich Kali. Besonders die Meerestange sind kalibedürftig und daher sehr kalireich. Schon seit den ältesten Zeiten hat man die gewaltigen Tangmassen, die von den Winterstürmen an die Felsenküsten Schottlands und der Bretagne geschwemmt werden, getrocknet und als Heizmaterial verwendet, ihre Asche als Dünger benutzt.

Zu den Pflanzen, die in hohem Grade kalibedürftig sind, und daher einen außerordentlich hohen Kaligehalt haben, gehören sämtliche Hackfrüchte, sowie Zuckerrüben und Kartoffeln.

Während die Pflanze beträchtliche Mengen an Kali zu ihrem Aufbau benötigt und aus den Gesteinstrümmern des Bodens aufnimmt, ist der Kaligehalt der Tiere, die durch ihre Pflanzennahrung das aus dem Boden stammende Kali zu sich nehmen, nur gering. Der größte Teil der mit der pflanzlichen Nahrung aufgenommenen Kalimengen verläßt den Tierkörper wieder mit den Exkrementen. Neben diesen bildet eine recht eigenartige Kaliansammlung im Tierkörper der sogen. Wollschweiß der Schafe, unter welchem man das von den Wollhaaren abgeforderte Fett versteht.

Eine für die Landwirtschaft des vorigen Jahrhunderts außerordentlich ergiebig gewesene Kaliquelle, die auf tierische Exkremente zurückzuführen ist, liegt in den verschiedenen Guanos vor. Es handelt sich hierbei um die vollständig zersetzten Abfallstoffe und Kadaver von Seetieren und Seevögeln, die sich auf dem Lande, namentlich an den Brutstätten der Seevögel oft bis zu 100 m hohen Lagern aufgehäuft haben. Die bekanntesten dieser Guano Fundstätten sind die vor Peru liegenden Inseln. Schon 1804 brachte Alexander von Humboldt von jenen Inseln Guano proben nach Europa. Im Anfange dieses Jahrhunderts wurden gewaltige Guanolager auf der Insel Schaboe vor Deutsch-Südwestafrika und auf einigen Inseln des australischen Archipels entdeckt. In den fünfziger und achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts deckte der Peruguano den Hauptbedarf an Kunstdünger, dessen Anwendung in den Zuckerrübenbau treibenden Gegenden eingeführt war.

Die großen Sammelbecken, welchen dauernd die aus den Gesteinen herausgewitterten Kalimengen im Sicker- und Quellwasser durch Bäche, Flüsse und Ströme zugeführt werden, sind die Ozeane. Die Meere enthalten darum eine im Anteil zwar geringe, bei der gewaltigen Wassermenge im ganzen aber beträchtliche Kalimenge. Nach P. Krißchebergen die Ozeane der Erde bei einer geschätzten Wassermenge von 1250 Mill. Kubikmeter und einem Gehalt von 0,36 g Kali auf 1 l Wasser die ungeheure Menge von 450 Mill. Tonnen Kali. Mit der uralten Salzgewinnung aus dem Meerwasser in den sog. Meerfalinen steht eine Kaligewinnung in Verbindung.

Nach den Berechnungen einiger hervorragender Forscher besitzt die feste Erdrinde einen Kaligehalt von 2,25—4 %. Die wich-

tigste kaliführenden Gesteine sind Mineralien der Feldspat- und Glimmergruppe. Auch jüngere Eruptivgesteine, wie Basalt usw., führen zum größten Teil Kali. Die genannten Gesteinsarten sind bei den über die Erde verbreiteten Gebirgen in ungeheuren Massen vertreten. So finden sich allein in Deutschland kalihaltiger Schiefer, Granit, Phonolit und verschiedene Basalte im Böhmerwald, Erzgebirge, Riesengebirge, Harz, Westerwald, Thüringerwald, Odenwald, Schwarzwald und Vogelsgebirge. Teilweise bilden sie in den genannten Gebirgen ausgedehnte Gebirgsmassen. Auch Teile der Mittel- und Ostalpen bestehen auf weite Strecken aus kalihaltigem Glimmerschiefer, so die Rhätischen Alpen, Ötztal Alpen, Hohen Tauern, Niedern Tauern usw.

Die kaliführenden Mineralien der Feldspate sind: der Orthoklas oder Kalifeldspat mit 13,37 % Kaligehalt in Form von Kaliumoxyd und der Kalk-Natronfeldspat.

Kalihaltige Silikate: der Nephelin, 6,46 % Kaliumoxyd, ist ein wesentlicher Bestandteil verschiedener jüngerer, namentlich tertiärer, quarzfreier, vulkanischer Eruptivgesteine, der Phonolite, mehrerer Basalte und der dazu gehörigen Laven.

Kalihaltige Mineralien der Glimmergruppe: Die Glimmer sind Silikate von Tonerde und Kali oder Natron, wozu in vielen Glimmern noch Magnesia tritt: Der Kaliglimmer, Magnesia-glimmer.

Von den kalihaltigen Gesteinen ist schon seit längerer Zeit gemahlener Phonolith als Kaliprodukt in den Handel gebracht worden. Dazu gehörte auch das Steinmehl, das in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts mit großer Reklame unter verschiedenen Namen angepriesen wurde und welches aus einem gemahlener, feldspatführender Urgelein bestand. Auch Basalt in gemahlener Form mit einer Beimischung von Braunkohle und Kalkstein wurde schon als Mineralfünger vertrieben. In den Jahren 1908—1912 versuchten einige deutsche Firmen, unterstützt von einzelnen namhaften Chemikern, Phonolithmehl als ein neues Kalidüngemittel auf den Markt zu bringen. Das ablehnende Urteil der amtlichen Stellen auf Grund ihrer Versuche erstickte jedoch die Unternehmungen meistens in den ersten Anfängen.

Besonders reich an kaliführenden Feldspatgesteinen sind einzelne Gebirgsteile im Osten der Vereinigten Staaten von Amerika, besonders das Apalachengebirge. Man hat sich in Amerika deshalb schon früh mit dem Problem befaßt, das unlösliche Kali der Gesteine durch chemische Prozesse löslich zu machen.

Da die chemische Verarbeitung kalihaltiger Gesteine zur Gewinnung des löslichen Kalis infolge technischer Schwierigkeiten sich nicht rentierte, kam man auf den Gedanken, das Kali als Nebenprodukt der Zementindustrie zu gewinnen, statt es wie bisher durch die Schornsteine entweichen zu lassen. Unter dem Einfluß der höheren Temperatur wird in den Zementbrennöfen das chemisch gebundene unlösliche Kali löslich gemacht und geht mit dem Flugstaub in den Schornstein.

In Deutschland hat der Chemiker Schott ein Verfahren zur Abscheidung von Alkaligasen aus den Abgasen von Portlandzementöfen 1914 patentiert erhalten. Das Schottsche Patent, das auch in Amerika geschützt ist, wurde von den Portlandzementwerken Heidelberg-Mannheim in ihrem Werke zu Leimen praktisch ausgeführt. Die eigene Landwirtschaft dieses Zementwerkes verwendet den kalihaltigen Flugstaub mit gutem Erfolg. Das Kali stammt aus tonigen Kalkmergeln der Muschelkalkformation, die 2—3 % Kali enthalten.

Es ist natürlich ausgeschlossen, in der Kaligewinnung bei der Herstellung von Portlandzement eine vorteilhafte Nebeneinnahme zu erzielen.

In den verschiedenen Ablagerungen der Gesteinstrümmen entstehen durch eigenartige Prozesse die Aufspeicherungen von Kali. Das aus den Gesteinstrümmern durch Wasser und Atmosphärenteilchen gelöste Kali, das von der Vegetation nicht aufgenommen wird, geht meistens mit den Sickerwässern in die Tiefe und tritt als Quellwasser wieder zutage. Unter ganz besonders eigenartigen Bedingungen wird das sonst mit den Sickerwässern in die Tiefe gehende lösliche Kali im Boden festgehalten, nämlich, wenn dieser Boden reich an leichtzersehbarem Humus ist, dessen Stickstoff sich in Salpeter umsetzt, der mit dem löslichen Kali des Bodens Kalisalpeter bildet. Wenn nun infolge dauernder Hitze und starker Wasserverdunstung der leichtlösliche Kalisalpeter nicht in den Untergrund versickert, sondern im Boden auskristallisiert, so entsteht jene eigenartige Kaliquelle, die seit Jahrhunderten in Ostindien in Bengalen ausgenutzt wurde und als Bengalsalpeter ein vor der deutschen Kaliindustrie sehr begehrter Handelsartikel war. Die indische Salpetererde enthält nach dem englischen Chemiker Johnstone 3—13 % Nitrate (salpetersaure Salze) an

Kali, Kalk und Magnesia. Die Gesamtausfuhr von Kalkutta aus betrug vor dem Kriege 160 000 dz Kali und nahm während der Kriegsjahre bedeutend zu. Bengalsalpeter enthält nach Johnstone 72,46—94,16 % salpetersaures Kalium (Kaliumnitrat).

Ebenso enthalten die großen Lager des chilenischen Natronsalpeters Beimengungen von Kalisalpeter in wechselnden Mengen. Bei der Herstellung des Chilisalpeters aus der sog. „Caliche“, dem natürlich vorkommenden Salpetergemisch, geht etwas Kalisalpeter mit in das Endprodukt über, so daß der Chilisalpeter etwa 1,6 % Kalisalpeter enthält. Bei einer Gesamterzeugung von 2,8 Millionen Tonnen Chilisalpeter 1913 waren immerhin 21 000 Tonnen Kali enthalten. Der Hauptgehalt des Kalianteils bleibt bei der Herstellung des Chilisalpeters in der Mutterlauge. Vor 1917 wurde diese in der chilenischen Salpeterindustrie teilweise zur Herstellung von Kalisalzen verarbeitet.

An erster Stelle der Kaliquellen stehen Kaliauflagerungen in Gestalt von salzigen Binnenseen. Diese entstehen in Trockengebieten dort, wo die durch Flüsse dem See zugeführten Wassermassen nach dem offenen Meere keinen Abfluß finden. Die physikalischen und geologischen Verhältnisse zur Bildung salzhaltiger Binnenseen sind in hervorragender Weise in den weiten, abflußlosen Gebieten im Westen der Vereinigten Staaten, im sogenannten Großen Becken (Great Basin) gegeben. Die Verarbeitung der Kalisalze dieser Salzseen hat während des Weltkriegs Amerika als Ertrag des deutschen Kalis die bedeutendste Kaliquelle geliefert. Die Produktion der Kalisalze aus den Salzseen des Great Basins hat 1920 allein fast die Hälfte der gesamten Kaliproduktion in den Vereinigten Staaten betragen, nämlich 21 400 Tonnen.

Die im Great Basin vorkommenden Salzablagerungen sind entstanden durch Verdunstung und Vertrocknung von Flußläufen. Auch der Inhalt der in dieser Region vorkommenden abflußlosen Seen hat sich allmählich sehr stark konzentriert und an Salzen angereichert. Er kann als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Kochsalz, Soda und sehr unreinen Kalisalzen dienen.

Wie bei den Seen des Great Basins bildet auch das Wasser des Toten Meeres eine nahezu gesättigte Sole mit 24,5 % verschiedener Salze. Bis jetzt wurde am Toten Meere nur Kochsalz in primitiven Gruben gewonnen. Vor noch nicht langer Zeit trat man von einer gewissen Stelle aus dem Gedanken nahe, neben einer rationalen Kochsalzgewinnung im Toten Meere zugleich eine Kaliherzeugung großen Umfangs zu beginnen.

Die mächtigsten und erst seit jüngerer Zeit erschlossenen Kalispeicher, gegen welche die bis jetzt behandelten Vorkommen so weit zurückstehen, daß sie einen Vergleich überhaupt nicht zulassen, sind die aus ehemaligen Salzseen früherer geologischer Perioden hervorgegangenen gewaltigen Kalisalzlager, wie wir sie in Nord- und Mitteldeutschland und bei Buggingen in Baden — letzteres stellt einen Teil des elsässischen Lagers dar — besitzen. Die im letzten Abschnitt besprochenen Beispiele von Salzabscheidung lehren uns, auf welche Weise Salzlager entstehen können, und daß zahlreiche Steinsalzlager der verschiedensten Formationen auf diesem Wege entstanden sind. Allein zur Bildung so gewaltiger Salzvorkommen, wie z. B. des Staßfurter, die bei einer Ausdehnung von vielen tausend Quadratkilometern eine Dicke bis zu mehreren Hundert Metern besitzen, sind noch andere Umstände erforderlich.

Es wird von den deutschen Geologen heute durchweg angenommen, daß sich vor Beginn der Zechsteinzeit in Mitteleuropa ein ausgedehntes Wüstengebiet befand, in dem sich durch tektonische Vorgänge eine tiefe Senke bildete, deren Oberfläche weit unter den Spiegel des Weltmeers herabreichte. Derartige Senken bestehen heute noch auf der Erdoberfläche, z. B. die Jordan-senke mit dem Toten Meer, die Senke der großen afrikanischen Seen „die größte Schramme im Antlitz unserer Erde“ und die Oberrheinische Tiefebene. In den Senken der Wüsten bilden sich auch gegenwärtig Salzlager, die aus Lösungen entstehen, welche sich durch Auslaugung salzhaltiger Gesteine bei gelegentlichen Niederschlägen bilden können. In diesen Fällen handelt es sich aber immer nur um Salzlager von geringer Mächtigkeit und beschränkter horizontaler Ausdehnung. Für die Bildung so ausgedehnter und mächtiger Salzlager, wie wir sie im deutschen oberen Zechstein finden, reichen die aus der Wüste selbst stammenden salzhaltigen Rinnsale nicht aus. Es ist vielmehr sehr wahrscheinlich, daß das Meer einen Zugang zu der tiefen Zechsteinmulde gefunden hatte und daß Meerwasser darin eingedunstet wurde.

Die Zechsteinmulde ist mehrmals überflutet worden; dabei haben sich jedesmal zuerst tonige Gesteine gebildet, nämlich Kupferschiefer, Stinkstiefen, grauer Salzen und roter Salzen. In den Zwischenräumen war jedenfalls die Verbindung mit dem Meere

unterbrochen. Das Meerwasser dampfte unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen ein. Die Reihenfolge, in der die verschiedenen Salze sich ausschieden, hing ebenso wie beim künstlichen Salziedeprozess vom Grad ihrer Löslichkeit ab. Wie sich bei diesem als schwerflüchtiger Körper zuerst der aus Gips bestehende Pfannenstein und dann das wesentlich aus Kochsalz bestehende Soggen-salz ausscheidet, bis zuletzt nur die leichtest löslichen Kalium- und Magnesiumverbindungen, die sogenannten Mutterlaugensalze in Lösung bleiben, so mußten auch in der Natur zuerst Gips bzw. Anhydrit-Kaliumsulfat, dann die Hauptmasse des Steinsalzes und erst an letzter Stelle und nach Ausscheidung fast allen Steinsalzes die Magnesia- und Kalisalze zur Ablagerung kommen. Daß die natürliche Salzabscheidung wirklich in dieser Weise verlaufen ist, zeigt besonders klar das berühmte Salzager von Staßfurt, wo die verschiedenen Salze genau in der ihrer Löslichkeit entsprechenden Reihenfolge liegen.

Man kennt außerhalb Nord- und Mitteldeutschland wenige Salzager, die wie das Staßfurter über einer unteren Zone von Steinsalz eine obere Zone von Kali- und Magnesiumsalzen besitzen, die also in ihrem Aufbau eine solche Vollständigkeit zeigen. Die Unvollständigkeit der meisten Salzager kann ursprünglich oder erst nachträglich eingetreten sein. Im ersten Fall sind Abraum-salze überhaupt nicht zum Absatz gekommen, weil nach Ablagerung des Steinsalzes durch Meereseinbruch oder durch Abfluß der Mutterlauge die weitere Salzabscheidung unterbrochen wurde. Im letzten Falle aber wurden Mutterlaugensalze zwar abgelagert, aber infolge ihrer hohen Löslichkeit später durch eindringende Tageswässer wieder fortgeführt.

Die verwickelten Verhältnisse, unter denen die ozeanischen Salzablagerungen überhaupt und die Salze der norddeutschen Kalisalzagerstätten im besonderen ausgeschieden worden sind, wurden durch die umfassenden Arbeiten von van't Hoff und seinen Mitarbeitern in denkbar genauester Weise untersucht und geklärt. In seinen Untersuchungen über die Zusammensetzung der Kalisalze kam der genannte Forscher unter anderem zu dem Ergebnis, daß sich Hart-salz erst bei Temperaturen über 72 Grad Celsius bilden kann. Ein Klima, das so hohe Temperaturen erzeugte, muß natürlich als ausgeschlossen erscheinen, und doch sind die Zeugen solcher Temperaturen in allen Bergwerken vorhanden! Einen Ausweg aus diesem Widerspruch fanden Lachmann und Arrhenius. Sie nahmen an, daß die Kalisalze zunächst in der Zechsteinzeit bei niedriger Temperatur, etwa 10–20 Grad in Form von kristall- und wasserreichen Mineralien entstanden. Dann seien sie durch die jüngeren Sedimente des Mesozoikums in der Mächtigkeit von etwa 2000 m bedeckt worden und dadurch in eine Tiefenstufe geraten, die eine Temperatur von mehr als 72 Grad bedingte. Dabei hätten sich die Kalisalze in ihre gegenwärtige Form umgewandelt. Sie seien also sämtlich metamorph (umgewandelt), mit Ausnahme von einigen Carnallitgesteinen, da sich ja das Mineral Carnallit unter Umständen auch bei ziemlich tiefer Temperatur bilden kann.

Die Kalisalzager bauen sich der Hauptsache nach aus den Chloriden (= Verbindungen des Chlors mit Metallen) und Sulfaten (= Schwefelsauren Salzen) des Kaliums, Natriums und Magnesiums und ihren Doppelsalzen auf. In den untersten Schichten findet sich Kaliumsulfat-Anhydrit mit noch andern Stoffen, außerdem treten die Elemente Bor, Brom und Jod, letzteres in geringen Spuren auf. Infolge späterer Einwirkungen und Umwandlungen führen die Kalilager auch Flüssigkeitseinschlüsse, die sogenannten „Urlaugen“ und Gase, namentlich Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenäure und Methan (Grubengas). Von der Menge der am Aufbau der Kalilager beteiligten Salze und Doppelsalze seien nur diejenigen genannt, welche die Hauptmasse der Salzgesteine bilden: Anhydrit, Steinsalz, Sylvin, Carnallit, Kieserit, Gips und Kainit. Wegen diese sieben Hauptminerale treten die andern zurück und reichen sich nur örtlich mehr oder weniger an. Ferner sind am Aufbau der Lager elf weitere kalihaltige und vierzehn kalifreie Salzminerale enthalten, deren Aufzählung zu weit führen würde. Im allgemeinen kommt man mit den vier Gesteinsnamen: Sylvinit, Hart-salz, Carnallit und Kainit aus und diese finden durchweg auch in allen Fällen Verwendung.

Der Sylvinit wurde im Jahr 1887 beim Abteufen des Schachtes III der Kaliwerke Alchtersleben entdeckt. Er bildete einen Teil des Salzhutes, des oberen Teils, des eben genannten Salz-lagers. Im Sylvinit ist das wichtigste Mineral, der Sylvin = reines Chlorkalium, ferner namhafte Mengen Kochsalz enthalten. Der Sylvin ist farblos oder durch Eisen verschieden rot gefärbt, durchsichtig oder milchig trübe, unangenehm bitter schmeckend. Er besteht aus 52,46 Teilen Kalium und 47,54 Teilen Chlor mit Spuren von Natrium und Jod. Das Mineral ist sehr leicht löslich in Wasser. Am begehrtesten für die Verarbeitung ist natürlich der Syl-

vin, der lediglich Chlorkalium und Chlornatrium (Kochsalz) enthält. Solchen Sylvinit finden wir in der jüngeren Salzfolge der hannoverschen Lager. Der Chlorkaliumgehalt des Sylvinit schwankt zwischen 20 und 40%, an manchen Stellen steigt er aber auch auf 60, 80% an, ja es gibt Sylvinitbänke, die bis zu 90% Chlorkalium enthalten. Dadurch wird der Sylvinit zum kostbarsten Rohsalz, das in den Kalibergwerken gefunden wird. Diese besonders hochprozentigen Sylvinite werden gemahlen als Düngesalz verwendet oder finden eine fabrikmäßige Verarbeitung. Der Sylvinit im Elßaß, also auch in Buggingen, ist durch Kalk, Dolomit, Anhydrit und Ton stark verunreinigt, seine Bestandteile weniger eng miteinander verwachsen, geschichtet.

Trifft zu dem Gemenge von Steinsalz und Sylvin noch Kieserit (= schwefelsaures Magnesium) in größeren Mengen, so bezeichnet man dieses Gestein als Hart-salz. Auch Anhydrit (= schwefelsaures Kalium) ist ein wesentlicher Bestandteil des Hart-salzes. Letzterer gibt dem Hart-salz zusammen mit dem Kieserit die Härte, von der es den Namen erhalten hat. Das Hart-salz wurde zuerst im anhaltischen Werk Leopoldshall gefunden. Der Sylvin ist in ihm bis zu 30% enthalten, der Kieserit bis über 50% und der Anteil an Anhydrit steigt von Bruchteilen eines Prozents bis über 30%. Auch der Gehalt an Steinsalz ist sehr wechselnd. Die Grundfarbe ist gelbrot bis rot. Der Kieserit ist durch seine eisförmige, grauweiße bis schwarzgraue Farbe zu erkennen. Die Hauptvorkommen von Hart-salz liegen an der Werra und in Hannover im Südharz. In diesen Gebieten ist das Hart-salz allmählich das führende Edelsalz im deutschen Bergbau geworden.

Als einziges Rohsalz wurde bis 1864 der Carnallit gefördert, der seiner chemischen Beschaffenheit nach aus 26,8 Teilen Chlorkalium, 34,2 Teilen Magnesiumchlorid und 39 Teilen Wasser besteht, und bei abbauwürdigen Salzen mindestens die Hälfte ihrer Masse einnimmt. Neben dem Hauptmineral sind beim Carnallit stets Steinsalz und Kieserit vorhanden; außerdem ist er oft stark verunreinigt mit Anhydrit und Ton, die sich bei der Verarbeitung durch recht lästige Schlamm-bildung bemerkbar macht. Neben dieser Ausbildungsform findet sich das Carnallitgestein in einer fast chemisch reinen Form, die nur mit geringen Mengen Steinsalz und Spuren von schwefelsaurer Magnesia (Kieserit) aufweist. Abbauwürdig findet sich dieser Kristallcarnallit in den jüngeren Kaliflözen Hannovers und als Begleitflöze der beiden Kalilager an der Werra. Das Carnallitgestein ist leicht kenntlich an seinem starken Fettglanz und an seinem starksalzigen, von Magnesiumchlorid herrührenden Geschmack. Der Carnallit kann farblos sein; zumeist aber ist er gefärbt und zwar weißlich, gelblich mit metallischem Schimmer, rötlich bis rot; auch grauer, ja sogar durch Magnesiumgehalt geschwärzter Carnallit ist keine Seltenheit. Wie beim Sylvin ist auch beim Carnallit der Bruch muschelig. Er zerfließt sehr leicht und bildet den Hauptbestandteil der Abraum-salze. In Wasser ist der Carnallit leicht löslich, wobei er in Sylvin und Magnesiumchlorid zerfällt, worauf die fabrikmäßige Verarbeitung beruht. Alle Carnallite enthalten auch Brom. Die Hauptlagerstätten dieses Gesteins liegen im östlichen Teile des Südharzes, im Anstrut-Saalegebiet, in Hannover, Staßfurt und a. d. Werra. Den Namen erhielt das Gestein zu Ehren des 1874 zu Breslau verstorbenen Berghauptmanns Rudolf Carnall.

Im Jahr 1865 wurde zum erstenmal in den höheren Regionen des anhaltischen Werkes in Leopoldshall ein neuartiges Kalisalz gefunden, das einen wesentlich höheren Kaligehalt hatte, als der bisher geförderte Carnallit. Sein Kaligehalt schwankte zwischen 12 und 15%. Die Hauptbestandteile dieses derben, gelblichen oder rötlichen Gesteins sind Chlorkalium, schwefelsaure Magnesia und Wasser. Das Kainitgestein besteht im Durchschnitt aus 60% Kainit, 5% Sylvin, 33% Steinsalz und 2% Gips und Ton. Es zeigte sich, daß dieses Salz der sattelförmig gelagerten Carnallitregion in den höchsten Lagen als Hut aufgesetzt ist, daß seine Lager also sehr beschränkt sind. Von besonderer Mächtigkeit waren die Kainitlager in Leopoldshall. 1875 wurden wieder reiche Kainitlager erschlossen und 1877 wurde auch im preussischen Kalisalzwerk zu Staßfurt Kainit gefunden. Der Bergbau hat früher die Gewinnung des Kainitgesteins lebhaft betrieben. Es stellte sich jedoch bald heraus, daß die Gefahr des Eindringens von Wasser in die Kainitschächte wegen ihrer Lage in der Nähe von wasserreichen Schichten besonders groß war. Nachdem eine Reihe von Kaliwerken durch Eindringen von Wasser verloren gingen, hat man die Kainitgewinnungen fast vollkommen aufgegeben.

Die Kali- und Magnesiumsalze kommen stets in Gemeinschaft mit größeren Steinsalzlagerstätten vor. Meistens finden sich aber kalihaltige Mineralien sehr spärlich im Salzgebirge. Mit den Kalisalzlagern im Oberen Zechstein von Mittel- und Norddeutschland, im Perm des westlichen Uralvorlandes in Rußland, im Cozän in Nordspanien, im Mitteloligozän der Oberrheinischen Tiefebene, im

Miozän von Galizien und im Quartär von Abessinien sind die Vorkommen genannt, deren wirtschaftliche Bedeutung erwiesen ist. Von den genannten Lagerstätten sind bis jetzt nur die in Mittel- und Norddeutschland und in der Oberrheinischen Tiefebene durch einen hochentwickelten Bergbau erschlossen. Der Weltabsatz an Kalisalzen verteilte sich nach Dr. E. Fulda im Jahre 1925 auf die einzelnen Produktionsländer in folgender Weise:

Deutschland	12 250 000	Tonnen Reinkali
Elfaß	3 100 000	" "
Polen	230 000	" "
Ver. Staaten	300 000	" "
Gesamtsumme	15 880 000	Tonnen Reinkali

Bei der großen Zahl der Kalibergwerke des deutschen Zechsteingebiets, teilte man letztere in einzelne Bezirke ein, wobei geologische Verhältnisse maßgebend waren. Eine Gliederung des Kaligebietes wird durch die paläozoischen Gebirgskerne bedingt, deren Formationen an ihrer Oberfläche älter sind als der Zechstein. Es sind dies Gebiete, in denen der Zechstein mit seinen Salzlagern bereits in früheren Erdperioden durch die erodierende Tätigkeit der fließenden Gewässer zerstört wurde. Von dem Erzgebirgswalle aus schieben sich wie drei Finger die alten Gebirgskerne des Thüringer Waldes, des Harzes und des parallel mit dem Harz ziehenden Flechtinger Höhenzuges nach Nordwesten vor und zerlegen die ursprünglich zusammenhängenden Zechsteingebiete in einzelne Mulden. Diese alten Gebirge sind daher die gebenen natürlichen Grenzen für die Lagerstättenbezirke.

Außer dem großen mitteldeutschen Kalilager der Zechsteinperiode ist ein zweites Lager der Tertiärzeit auf elsässischem und badischem Boden bei Müllhausen und Müllheim erschlossen worden. Schon 1904 hatte man in der Nähe von Wittelsheim bei Müllhausen eine Tiefbohrung vorgenommen in der Hoffnung, Steinkohle und Erdöl zu gewinnen. Dabei stieß man in 600 m Tiefe auf einen Kern hochprozentiger Kalisalze. Durch 130 Bohrungen wurde in der Folgezeit das Salzgebirge der Oberrheinischen Tiefebene im Elfaß untersucht, und erst 1907 erfuhr die Öffentlichkeit, welche namhafte Kalisalzlagerstätte im Oberelfaß entdeckt wurde. Fast zu gleicher Zeit wurde in Baden bei Buggingen ein Kalifund gemacht. Nach den Untersuchungen des geologischen badischen Landesamts sind die badischen Lager den elsässischen völlig gleich. Sie wurden in einer Tiefe von 655, 708 und 880 m in einer Mächtigkeit von 0,25 und 4,4 m ange-troffen, mit einem Durchschnittsgehalt von 25 % Kali. Bald folgte der Bau von Schachtanlagen. Auf elsässischem Boden entstanden 14 Schächte, auf badischer Seite die beiden Schächte „Baden“ und „Markgräfler“.

Die Gesteinschichtung ist Mergel, Mergelschiefer, Ton, Kalksandstein, Trümmergestein, Anhydrit, Dolomit, Steinsalz und Kalisalz. Im Oberrheingebiet bilden die Mergel und Tone mehr als die Hälfte des Salzgebirges. Das Steinsalz nimmt nur ein Drittel des ganzen Schichtenkomplexes ein. Die Kalisalze kommen in der oberen bituminösen Zone von streifigen Mergeln vor bei Wittelsheim, Blondelsheim und Buggingen. Von diesen Verbreitungsgebieten ist das Wittelsheimer Becken bei weitem das größte. Es enthält zwei abbaubare Kalisalzlager, die durch ein Salzgebirge von 21,6 m Mächtigkeit getrennt werden und in welchem noch zwei kleine Kalilager von 10 und 28 cm Mächtigkeit vorkommen. Die Kalivorräte des Wittelsheimer Beckens betragen etwa 1,5 Milliarden Tonnen Rohsalz mit 300 Millionen Tonnen Reinkaligehalt.

Südöstlich von Blondelsheim schließt sich auf der rechten Rheinseite das Kalisalzvorkommen von Buggingen an, das seit 1925 durch die Doppelschachanlage Baden—Markgräfler ausgebeutet wird. Durch die Grubenausschlüsse ist dort ein Kalisalzlager nachgewiesen worden und zwar in einer Ausbildung, die fast vollkommen mit derjenigen von Wittelsheim übereinstimmt. Der Reinkaligehalt ist dabei noch etwas höher.

Das oberrheinische Salzvorkommen ist wahrscheinlich in einer Senke abgesetzt worden, die im Mitteltertiär von einem Wüstengebiet umgeben war. Die Konzentration der Lösungen, die sich in der Senke ansammelten, war zeitweise jedenfalls starken Schwankungen ausgesetzt. Wolkenbrüche, wie sie auch heute in manchen Wüsten zeitweise stattfinden, haben die Senke vorübergehend gefüllt und von dem umgebenden Wüstengebiet toniges Material herbeigeführt, das sich im Salzwasser absetzte. Nach Eindampfung des überschüssigen Wassers konnte sich dann die Salzablagung fortsetzen. Das Verhältnis zwischen Zufluß und Verdunstung hat wahrscheinlich dauernd geschwankt. In der Bildungszeit der verfeinerungsreichen Zone war vermutlich der Zufluß so stark, daß das Becken ziemlich ausgefüllt wurde und günstige Lebensbedingungen für eine üppige Tierwelt bot. Zur Zeit der Kalisalzablagung war die Verdunstung so stark, daß nur noch Mutterlaugen im Becken übrig geblieben waren, die zunächst Sylvinit und zur Zeit der stärksten Eindunstung stellenweise Carnallitgesteine

lieferten. Da der Sulfatgehalt durch reichliches Kalzium gebunden wurde, entstand kein Kieserit, sondern nur Anhydrit. Die Hauptmasse der Chlormagnesiumlauge ist vermutlich dauernd in Lösung geblieben und von den folgenden Überflutungen aufgenommen worden. Bei der Eindunstung schrumpfte die Ausdehnung des Salzsees zur Zeit der stärksten Konzentration erheblich zusammen. Das Verbreitungsgebiet des unteren Lagers ist daher kleiner als dasjenige der darunterliegenden Steinsalzschieben. Noch kleiner ist die Ausdehnung des oberen Lagers, das offenbar nur im allerletzten Teil der Senke entstanden ist.

II.

Vor der Erschließung des Kalibergbaus wurden die zur Verfügung stehenden geringen Kalivorkommen in der Natur, namentlich die Holzasche von der Menschheit ausgenützt. Das genügte auch für die Bedürfnisse bis in die neueste Zeit hinein. Im Mittelalter und schon früher verwertete man das Kali in Form von Holzasche zur Herstellung von Seifen, auch verwendete man Holzasche mit Wasser angerührt als Reinigungsmittel seit den allerfrühesten Zeiten. Neben dieser Verwertung als Reinigungslauge oder Seife war schon bei den Römern die Benutzung der aus Holzasche gewonnenen Roh-Pottasche als Heilmittel üblich und begründete die namentlich im Mittelalter beliebte Verwendung des Kalis in Form verschiedener Kalisalze als Arznei. Mit der Erfindung des Schießpulvers trat eine weitere Verwendungsmöglichkeit des Kalis auf, nämlich zur Herstellung von Sprengstoffen, und ganz besonders eröffnete die Fabrikation des Glases eine der wichtigsten Verwertungsarten des Kali. Neben den Seifensiedereien, Glashütten und Pulvermühlen treten die Apotheken als Herstellungsorte chemischer Erzeugnisse hervor und auch hier spielte die Herstellung von verschiedenen Kalisalzen als Heilmittel oder als gewerbliches Produkt eine Rolle.

Neben dieser gewerblich-industriellen Verwertung des Kalis ging seit Anfang der menschlichen Kultur die landwirtschaftliche nebenher. Zunächst benutzte man die Holzasche als Kunstdünger, dann kamen die kalihaltigen Naturdünger: Stallmist, Jauche, Kompost und endlich verschiedene Arten von Kunstdünger auf. Der französische Kunstköpfer u. Glasmaler Bernhard Palissy von Chapelle Biron, der Begründer der sog. Salztheorie, sprach die Behauptung aus, daß das Wirkamste des Mistes in seinen löslichen Salzen bestehe. Infolge dieser aufgestellten Theorie wurde die Asche von nun an besonders als Dünger geschätzt und der Wert der Alkalien hervorgehoben. Die Salztheorie wurde später durch die Wassertheorie verdrängt, die in stagnierenden, faulenden Wässern die Düngungskraft sah, dann durch die Erdtheorie, die der Erde, die Öltheorie, die dem Felt, die Feuertheorie, die der Wärme und die Dunsttheorie, welche den durch die Kraft des Feuers aus dem Innern der Erde aufsteigenden Dünsten besondere Wirkung zuschrieb. Es kam auch eine Humus-theorie auf, bis schließlich die Mineraltheorie endgültig die hohe Bedeutung der mineralischen Bestandteile und damit auch des Kaliums für die Pflanzen zur allgemeinen Geltung brachte. Trotz aller wechselnden Theorien blieb das Kali in verschiedenen Formen ein stets praktisch gern angewandter Kunstdünger. Schon in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurde in England Kalisalpeter als landwirtschaftlicher Dünger verwandt. Als 1802 A. von Humboldt die ersten Proben Peruanos nach Europa brachte und von 1804 ab rasch ansteigende Mengen Guanos auf den Markt gelangten, war auch damit ein kalihaltiges Produkt der landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. Neben diesen verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten kalihaltiger Produkte, zu denen noch Tangasche, Meersalz, Bengalsalpeter usw. hinzugerechnet werden müssen, wurden an verschiedenen Orten auch Salinenprodukte als Dünger verwandt und darin kann man die Vorläufer der heute so gewaltigen, alle andern Verwendungsarten des Kalis weit überflügelnden Anwendung der deutschen Kalisalze als Kunstdünger sehen. Einer der führenden deutschen Agrikulturchemiker vor Liebig, Dr. Karl Sprengel, hebt in seinem Werke „Die Lehre vom Dünger“ ausdrücklich hervor, daß das schwefelsaure Kali die Wirkungen des schwefelsauren Kaltes oder Gipses übertrifft und besonders das Wachstum des Klee befördert. Sprengels Düngerlehre zeichnet sich vor andern zur selben Zeit erschienenen Werken dadurch aus, daß sie dem Kaliproblem eine weitgehende Beachtung widmet. Noch zwei Jahrzehnte nach Sprengels Werk erschienene Bücher befaßten sich nur mit dem Peruanano, dem Natronsalpeter und dem Knochenmehl, und nirgends ist auf die Notwendigkeit der Kaliversorgung der Pflanzen hingewiesen. Bei den von namhaften Chemikern der damaligen Zeit angegebenen Analysen werden noch nicht einmal die einzelnen Alkaliarten, Natron und Kali, voneinander getrennt, obwohl Liebig bereits in seinem 1840 erschienenen Werke „Die Chemie und ihre Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ die Bedeutung der Kalidüngung in Form von Holzasche würdigte. Anstelle der kaum nennenswerten land-

wirtschaftlichen und kleingewerblichen Verwertung des Kalis in industrieller Hinsicht trat bald eine ungeahnte Entwicklung, als in England die große industrielle Flutwelle ihren Anfang nahm und in Deutschland Justus v. Liebig die Bedeutung der Lehre der Pflanzenernährung für die praktische Landwirtschaft veröffentlichte und mit Feuereifer für eine Verwertung des Kulturlandes mit reichlichen mineralischen Pflanzennährstoffen, Phosphorsäure und Kali, eintrat. Als einen außerordentlich glücklichen Zufall müssen wir die Tatsache betrachten, daß genau zur selben Zeit, als die chemische Industrie ihren Aufstieg begann, die Agrikultur sich volle Geltung in der landwirtschaftlichen Praxis verschaffte und beide Ausschau hielten nach einem geeigneten, billigen Kalitrohprodukt, Deutschlands gewaltige Kalischiefer sich aufluteten, die allem Kalimangel ein Ende setzten und in das Gebilde der deutschen Wirtschaft einen weiteren Riesenstein, die deutsche Kaliindustrie, einfügten.

Die beim Niedertreten der ersten Stassfurter Schächte 1856 auf die Halde geworfenen kali- und magnesiumhaltigen Abraumsalze erregten als neuartige Salzform die Aufmerksamkeit der Mineralogen und Chemiker in hohem Grade. Sehr großes Interesse nahm der Oberberghauptmann Krug von Nida an der Entwicklung des Stassfurter Unternehmens und namentlich an dem Vorkommen der Kalisalze. Ihm gebührt das Verdienst, als Begründer der deutschen Kaliindustrie zu gelten, indem er zuerst auf die außerordentliche Wichtigkeit der Kalisalze hingewiesen, die Hebung dieses gewaltigen Schatzes ermöglichte und die landwirtschaftliche und industrielle Verwertung hervorgerufen und dann die entstandene Industrie gefördert hat. Es bemühten sich verschiedene chemische Fabriken um die Verarbeitung des Carnallits zu Chlorkalium und bereits im Jahr 1861 begann man mit dem Bau von Chlorkaliumfabriken, so daß man mit Recht das Jahr 1861 als das Gründungsjahr der chemischen Kaliindustrie bezeichnen kann.

Ursprünglich befaßten sich die Kalibergwerke nicht mit der Verarbeitung der Salze. Das war vielmehr die Aufgabe der zuerst in Stassfurt und Leopoldshall entstandenen Fabriken, die heute noch bestehen als sog. „Sonderfabriken“ und deren Rohstoffbelieferung von jeder die Kalibergwerke ertragsmäßig besorgen. Den ersten Schritt einer Konzentration in der Kaliindustrie, die Zusammenfassung von Gewinn, Verarbeitung und Veredelung des Rohstoffs — Produktion von Rohstoff, Zwischenproduktion, Halbfabrikat und Fabrikat in einer Hand — unternahm Douglasshall in Westeregeln durch Errichtung einer eigenen Chlorkaliumfabrik. Dem Beispiel schlossen sich weitere Werke an und allmählich wurde es zur Regel, daß ein Kalibergwerk auch die Verarbeitung der Rohsalze zu Chlorkalium und die sonstigen hochprozentigen Edelmetalle in eigener Fabrik unternahm.

Von besonderer Wichtigkeit für die industrielle Verwertung der Kalisalze war der Aufschwung der elektrochemischen Industrie in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, namentlich die 1893 durch die Gesellschaft Elektron-Orieseheim durchgeführte Gewinnung von Äthkalilauge und Chlor durch Elektrolyse von Chlorkalium. Die Kalilauge findet in erster Linie Abfall zur Herstellung von Schmierseifen. Von den Fabriken Elektron-Orieseheim und der badischen Anilin-Sodafabrik wurde das Chlor zu Chlorkalk verarbeitet oder auch in flüssiger Form in Stahlzylindern in den Handel gebracht.

In der neueren Technik der Kalisalzerzeugung spielt wegen des während des Weltkrieges einsetzenden und später anhaltenden Kohlenmangels die Wärmeökonomie, das rationelle Löseverfahren (Laugenvorwärmer) eine besondere Rolle.

Durch Liebig war man auf die große Bedeutung des Kalis als Pflanzennährstoff allgemein aufmerksam gemacht. Noch im selben Jahre, 1856, in welchem die sog. Abraumsalze als kalihaltige Salze erkannt wurden, nahm man landwirtschaftliche Düngerversuche mit ihnen vor. Diese ersten Düngerversuche fielen unzweifelhaft günstig aus; denn im folgenden Jahre 1857 gingen schon mehrere Anfragen beim Stassfurter Salzwerk ein, nach denen man den Kalisalzen einen hohen wirtschaftlichen Wert beimaß. In Stassfurt, dem Ausgangspunkt der Kalisalzdüngung, wurde natürlich diese Angelegenheit besonders lebhaft in Angriff genommen. Die Stassfurter Kalisalzlager wurden von den Anhängern der Liebig'schen Lehre mit den höchsten Erwartungen begrüßt, bildeten sie doch sozusagen den Abschluß des Liebig'schen Systems der Mineralstoffernährung.

Immerhin veranlaßte die ungleichmäßige Zusammenfüzung und der hohe Chlormagnesiumgehalt der Rohsalze, daß ein Teil der Versuche ungünstig ausfiel und dadurch eine allgemeine Verwendung der Rohsalze verhindert wurde. Als man dann Chlorkalium und schwefelsaures Kalium technisch aus den Rohsalzen herzustellen verstand, gelangten die Versuche mit der landwirtschaftlichen Verwertung des Kalis in ein lebhaftes Studium, so daß 1867—69 schon verschiedene Schriften über die Düngung mit

Kalisalzen erschienen. Praktische Versuche größeren Umfanges wurden vielfach von Landwirten in der Nähe Stassfurts und, da Liebig die Wichtigkeit eines Kaliersatzes für Rübenbau betont hatte, in mehreren Zuckerrübenwirtschaften der Provinz Sachsen unternommen. Zugleich wurden in jener Zeit natürlich auch von den Agrikulturchemikern wissenschaftliche Versuche in großer Zahl angestellt (Liebig, Knop, Stöckhardt u. a.).

Einen ganz bedeutenden Aufschwung nahm die landwirtschaftliche Kali-Verwendung, als es zwei namhaften landwirtschaftlichen Praktikern, Schulz-Lupitz und Rimpau-Cunrau, gelang, nachzuweisen, daß durch die Anwendung der Kalisalze sich von früher ertraglosen Böden, den Sand- und Moorböden, vorzügliche Ernten gewinnen lassen. Auf diese anfänglichen Erfolge eröffneten sich große Aussichten im landwirtschaftlichen Kaliabsatz. Die durch Rimpau mit Hilfe der Kalisalze und Phosphorsäure durchgeführte Moordammkultur auf Niedermoor bildete den Ausgang der so erfolgreichen deutschen Moorkulturforschungen, welche schließlich zur planmäßigen, wissenschaftlichen Ausgestaltung des sog. deutschen Hochmoorkulturverfahrens seitens der Bremer Moorkulturstation unter Leitung von Professor Lacke führten. Diese Moorkulturstation arbeitete ein Verfahren aus, nach welchem sich das entwässerte Hochmoor, ohne daß der Torf abgetragen wird, mit Hilfe von Kunstdünger, namentlich der Kalisalze, in Acker, Wiesen und Weiden mit Erfolg umwandeln läßt. Da auf deutschem Boden heute noch das Moor eine gewaltige Fläche bedeckt, so steht hier den Kalisalzen noch ein großes Wirkungsfeld offen. Aufsehenregende Erfolge auf Sandböden — reichlich mit Kali gebüht — erzielte zuerst der Rittergutsbesitzer Schulz-Lupitz um 1889. Diese damals beinahe an Wunder grenzende Erzielung guter Ernten auf dem vorher fast ertraglosen Fluglande eroberten den Kalisalzen zum Moorboden auch den Sandboden, von dem namentlich in Mittel-, Nord- und Ostdeutschland ja so ausgedehnte Flächen vorherrschen. Daß Moor und Sand die ersten großen Kalierfolge brachten, ist erklärlich; denn beide sind kallarm, durch Wasserauslaugung des ursprünglichen Kaligehaltes fast vollkommen beraubt. So bürgerte sich die Kalidüngung allgemein auf den nährstoffärmeren Böden ein.

Eine neue Epoche in der landwirtschaftlichen Verwertung der Kalisalze befaßte sich vornehmlich mit der Frage, ob Kalisalze sich auch auf schweren Böden rentieren. Die hier von namhaften Forschern und zahlreichen Praktikern ausgeführten Versuche haben ergeben, daß das Bodenkali weit weniger beweglich und den Pflanzen zugänglich ist, als früher allgemein angenommen wurde. Es gibt natürlich Böden, die genügend beweglichen Kalivorrat haben, sie sind aber viel seltener vorhanden, als man bisher anzunehmen pflegte. So nahm die landwirtschaftliche Kalisalzverwertung bald einen gewaltigen Aufschwung und nimmt von Jahr zu Jahr, namentlich seitens der deutschen Landwirtschaft, zur Erzielung reicherer Ernten, bedeutend zu. Nach den Angaben P. Kriches ist der landwirtschaftliche Verbrauch in Deutschland bis 1920 auf 32,5 Millionen dz Kalisalze gestiegen. Während in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts die industrielle Verwertung der Kalisalze noch im Vordergrund stand, während 1880 noch 57,5 % des Gesamtabsatzes auf die Industrie entfielen, wurde 1920 nur noch 6,2 % von ihr benützt, die Landwirtschaft hat dagegen 93,8 % an sich gerissen und zweifellos wird der landwirtschaftlich verwertete Prozentsatz des Gesamtabsatzes noch bedeutend steigen.

Die Förderung der Kalisalze betrug nach Kriches im Jahre 1861 nur etwa 23 000 dz, stieg 1862 bereits auf 200 000, 1863 auf über 0,5 Millionen und 1864 auf 1 Million dz. Die Gesamtförderung stieg demnach in den sechziger Jahren auf beinahe drei Millionen dz, in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts auf über 6,5 Millionen, in den achtziger Jahren auf 12 Millionen dz, in den neunziger Jahren auf 25 Millionen und erreichte 1900 die beträchtliche Höhe von über 30 Millionen dz. Sie stieg dann weiter in den ersten 10 Jahren dieses Jahrhunderts auf über 81 Millionen und erreichte im letzten Friedensjahr 1913 den Höchststand von 116 Millionen dz. Trotz des Verlustes der Eisäcker Werke ist der Absatz im Jahre 1920 wieder auf 114 Millionen dz, also annähernd auf die höchste Friedenshöhe angewachsen.

In der ersten Zeit herrschte bei der landwirtschaftlichen Verwertung der Kalisalze eine besondere Abneigung gegen den Chlorgehalt. Deshalb war der Stassfurter „Krugit und Polphalit“, der unter der Handelsmarke „Krugit“ mit einem Garantiegehalt von 20% Kaliumsulfat an die Landwirtschaft verkauft wurde, besonders beliebt. Die neueren Forschungen van't Hoff's haben jedoch bewiesen, daß das Kali im Kainit wie im Sarsalz, Solwinil und Carnallit als Chlorkalium enthalten ist. Außerdem haben die agrökulturchemischen Forschungen der letzten Jahrzehnte gezeigt, daß die Furcht vor dem Chlor in den ersten Jahren der landwirtschaftlichen Verwendung von Kalisalzen übertrieben war.

Neben der Verwendung des gemahlten Fördergutes der Kaliwerke, des Rohsalzes, spielt von Anfang an die chemische Verarbeitung zu hochprozentigem Kalisalz eine Rolle. Als solches wurde das Chlorkalium hergestellt, das sowohl in der Industrie wie auch in der Landwirtschaft als Kalidünger Verwertung fand und in verschiedenen Handelsmarken mit einem Gehalt von 80 bis 85% Chlorkalium entsprechend einem Gehalt von 50,0—56,9% Kali in den Handel kam.

Neben dem Chlorkalium wurde schon früh die schwefelsaure Kalimagnesia hergestellt, die namentlich in Holland als sogen. Patentkali ein beliebtes Düngemittel für Kartoffeln wurde. Für landwirtschaftliche Zwecke diente nur die kalzinierte schwefelsaure Magnesia mit einem Mindestgehalt von 48% Kaliumoxyd, neben der als zweite Handelsmarke die kristallisierte schwefelsaure Kalimagnesia (Mindestgehalt 40% Kaliumoxyd) eingeführt wurde, die ausschließlich für die Industrie Abnahme findet. Neben der schwefelsauren Kalimagnesia wurde schon früh als besonders chlorfreies, hochprozentiges Düngesalz das Kaliumsulfat hergestellt, und zwar in zwei Handelsmarken von 90—95% und 96% schwefelsaurem Kalium.

Das Jahr 1899 brachte eine einschneidende Erweiterung durch die Einführung der sog. Kalidüngesalze, die mit drei Mindestgehalten von 20, 30 und 40% Kali eingeführt wurden. Diese Düngesalze sind entweder ein auf den betreffenden Gehalt herabgemischtes Rohchlorkalium oder aus der Grube herausgeholtes Fördergut der Edelsalze, das den betreffenden Kaligehalt erreicht. Für die deutsche Landwirtschaft wurde besonders das 40%ige Kalidüngesalz zu einem besonders günstigen Preis angeboten. Eingehende Versuche der Versuchstationen stellten fest, daß dieses neue Salz in der Kalimwirkung den bisherigen Handelsmarken gleichsteht und so wurde das im Preise besonders begünstigte 40%ige Kalidüngesalz die führende hochprozentige Kalimarkte in der deutschen Landwirtschaft.

Die Eigenart des Entwicklungsganges der Verwertung der Kalisalze ist in erster Linie dadurch bedingt, daß die industrielle Verwertung, die anfangs im Vordergrund stand, immer mehr zugunsten der landwirtschaftlichen Verwertung zurücktritt. Während im Jahre 1880 vom Gesamtabsatz noch 42,5% auf die Landwirtschaft entfielen und 57,5% auf die Industrie, hat sich bereits 1888 ein Übergewicht des landwirtschaftlichen Absatzes mit 52,8% gegenüber 47,2% der Industrie herausgestellt und nun macht sich dauernd das Übergewicht des landwirtschaftlichen Absatzes geltend. In dem landwirtschaftlichen Absatz war in den achtziger Jahren nach der ausländische dem deutschen Verbrauch überlegen. 1880 wurden bereits 249 000 dz Kali für die landwirtschaftliche Verwendung ausgeführt, während die deutsche Landwirtschaft nur 42 000 dz benötigte. Eine wesentliche Hebung des deutschen Absatzes setzte Mitte der achtziger Jahre nach Gründung der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft ein, deren Düngertabelle sich energisch für die Verwendung der deutschen Kalisalze einsetzte. 1882 hatte bereits der inländische landwirtschaftliche Absatz den ausländischen um ein geringes überstrungen und seither hielten sich beide bis zum Kriege ungefähr die Wage. Eine vollständige Änderung trat natürlich durch den Weltkrieg ein, welche Deutschland vom Überseeverkehr ausschloß. So sank der landwirtschaftliche Auslandsabfuhr von 4,7 Millionen dz auf etwa über 1 Million dz in den Kriegsjahren und hat auch 1920 diese Höhe nicht wesentlich überschritten. Im industriellen Absatz hat stets das Inland gegenüber dem Ausland einen Vorsprung gehabt. Zugleich zeigte sich eine ziemlich gleichbleibende industrielle Beanspruchung der Kalisalze, die 1880 bereits 394 000 dz Kali betrug und bei dem Höchstbedarf des letzten Friedensjahres 1913 nur ein Weniges über 1 Million dz Kali gestiegen ist.

Nach dem Verbrauch auf der landwirtschaftlichen Anbaufläche zu 100 ha = 1 qkm stand vor dem Kriege Holland mit 2000 kg Kali an erster Stelle, ihm folgte Deutschland mit 1530 kg. In weitem Abstande kommen dann die übrigen Länder. 1913 brauchten auf je 100 ha Anbaufläche: Belgien 677, Schweden 391, Schottland 367, Norwegen 260, Dänemark 254, die Schweiz 144, die Union 120, England 118 und Österreich 114 kg Kali. Auch nach dem Kriege, 1920, stand Holland mit 2520 kg an der Spitze, ihm folgte Deutschland mit 1844 kg, Belgien 544, die Schweiz 136, Österreich 129,4 und Schottland 112,7 kg. In den technisch entwickelten Ländern hat die Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten derartige Fortschritte gemacht, daß sie die Erträge erheblich zu steigern vermochte. So haben nach Vade in dem 25jährigen Zeitraum von 1885—1910 die Erträge auf der Flächeneinheit im Durchschnitt um über ein Drittel zugenommen. Es wurden nämlich geerntet im Durchschnitt auf 1 ha in dz:

	1865:	1910:
Roggen	11,8	16,7
Weizen	15,1	19,9
Gerste	15,0	19,5

Kartoffeln	101,7	139,0
Hafer	14,1	19,2
Wiesenheu	32,7	43,4

Wie Hoffmann in einem Aufsätze „Beispielsdüngungen im Heft 299 der Arbeiten der deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft Berlin“ mitteilt, ist diese Erntesteigerung zu etwa 50% der Anwendung künstlicher Düngemittel nach dem Urteil hervorragender Fachgelehrter zuzuschreiben.

Wie alle Zweige angewandter Wissenschaft befindet sich auch die Frage der Kalidüngung in ständiger Entwicklung. Als erstes und wirksamstes Propagandamittel wurde von jeher die Ausfuhrung von Düngerversuchen betrachtet und angewandt. In einem Umfang, von dem selbst viele mit der Kaliindustrie Vertraute sich kaum eine Vorstellung bilden, wurden seit 1888 Jahren, jahraus in Deutschland wie im Auslande zahllose Düngungsversuche bei allen Kulturpflanzen ausgeführt. Von diesen Versuchen sind die meisten von Versuchsanstellern ausgeführt, die dem Kleingrundbesitz angehören. Ein hoher Prozentsatz dieser Versuche ist teils auf dem Felde, teils in den Ergebnissen der einzelnen Versuchspartzellen photographisch aufgenommen. Der größte Teil stammt natürlich aus Deutschland.

Um ein Verständnis für die landwirtschaftliche Verwertung der Kalisalze zu gewinnen, ist es zunächst nötig, sich über die Rolle des Kaliums im Leben der Pflanze eine Vorstellung zu machen. Während die Pflanzen den Stickstoff zur Bildung verschiedener stickstoffhaltiger Verbindungen — Eiweiß, Amide usw. — benötigen und die Phosphorsäure bei der Eiweißbildung der Pflanze maßgebend beteiligt ist, spielt das Kali eine besondere, bisher noch wenig aufgeklärte Rolle bei der Bildung und dem Transport der Kohlehydraten der Pflanze: Stärke, Zucker und Holzstoff. Bei den für die menschliche Nahrung wichtigsten Kulturpflanzen, Getreide und Hackfrüchte, steht die Gewinnung von Kohlehydraten im Vordergrund des Interesses. Diese Betrachtung allein genügt, um zu erkennen, welche große Bedeutung das Kalium besonders bei der Produktion der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen besitzt. Die ernährungsphysiologische Wichtigkeit des Kaliums drückt sich schon dadurch aus, daß die Samen unserer Kulturpflanzen verhältnismäßig hohe Kaliummengen aufspeichern, die sie der keimenden Pflanze zur Verfügung stellen. Von den mineralischen Bestandteilen des Samens steht infolgedessen das Kali an erster Stelle, das bei den verschiedenen Kulturpflanzen $\frac{1}{4}$ — $\frac{2}{5}$ der Gesamtsäure bildet. Von den Samen abgesehen ist in unseren Kulturpflanzen das Kalium hauptsächlich dort vorhanden, wo Kohlehydrate gebildet oder in andere Stoffe umgebildet werden. Das hat schon Liebig erkannt und ausgesprochen. Infolgedessen enthalten die Fabrikationsorgane für Stärke in der Pflanze, die Blätter, die größten Mengen an Kalium, das außer in den Wästen auch namentlich in denjenigen Teilen vorhanden ist, die den Blättern am nächsten sind, den Gipfel- und Asttrieben. Das Kali ist ganz besonders mit den Kohlehydraten bei den Kulturfrüchten vergesellschaftet, die große Mengen solcher bilden und diese in umfangreichen Reservoirorganen, den Wurzeln und Knollen, aufspeichern, die deshalb zu den ausgesprochenen Kalitresern gehören. Durch Vegetationsversuche der Bernburger Versuchstation haben Hellriegel und Willfahrt festgestellt, daß die Kohlehydratbildung bei der Zuckerrübe in erster Linie von dem vorhandenen Kali abhängig ist. Sie kamen zu folgenden Zahlen:

Düngung: Kali	Rüben	Zucker
6,504 g	809 g	13,9 %
2,826 „	784 „	12,8 „
1,884 „	844 „	13,6 „
1,130 „	697 „	13,6 „
0,848 „	647 „	10,9 „
0,563 „	538 „	11,2 „
0,283 „	268 „	8,2 „
0,000 „	44 „	0,0 „

Die Zuckerbildung spielt nicht nur bei der Zuckerrübe, sondern auch bei fast allen Obstarten, Weintrauben und Beerenfrüchten eine ausschlaggebende Rolle. In letzter Zeit hat sich namentlich Professor Stocklase mit dem Studium der Rolle des Kaliums im Pflanzenorganismus befaßt und ist zu der Anschauung gelangt, daß das Kalium bei der Bildung der Stärke in den chlorophyllhaltigen Blättern eine maßgebende Rolle spielt. Soviel steht fest, daß sich die Kohlehydrate bei Mangel an Kali nicht entwickeln können, so daß eine Pflanze ohne Kali überhaupt nicht zu bestehen vermag und bei Kalimangel nur verkümmertes Wachstum zeigt. Darum ist das Kali besonders wichtig bei unsern Kulturpflanzen, die durchweg Kohlehydrate, entweder Stärke bei Getreidearten und Kartoffeln oder Zucker bei Zuckerrüben, Zuckerrohr Obst liefern sollen.

Die Löslichkeit des Bodenkalis ist in verschiedenen Bodenarten recht verschieden, und im allgemeinen geben die leichteren Böden eher Kali ab als die schweren. Nach Versuchen wurden

von 100 Teilen Bodenkali durch die Pflanzen, und zwar durch Getreide und Hackfrüchte entzogen:

aus Lehmboden	4,3	4,5	Teile
aus lehmigem Sandboden	7,4	8,6	"
aus Sandboden	7,4	10,6	"

Namentlich entziehen Gräser bedeutende Mengen Kali. So entzog Raygras in 3 Jahren in Gefäßkulturen von 100 Teilen Bodenkali

bei humusreichem Sandboden	66,0	Teile
bei Sandboden	55,2	"
bei sandigem Lehmboden	57,0	"
bei Lehm	32,9	"

Dem landwirtschaftlichen Boden wird durch eine mittlere Ernte folgende Mengen an Stickstoff, Phosphorsäure und Kali, den drei Hauptnährstoffen, entzogen:

Bei Anbau von	in Kilogramm pro Fläche:		
	Kali	Phosphorsäure	Stickstoff
Weizen	40	30	85
Roggen	50	25	65
Gerste	35	20	60
Hafer	70	20	65
Erbsen	50	30	125
Futterwicke	95	54	130
Acker- oder Pferdebohne	95	35	205
Lupine	50	25	150
Luzerne	115	65	130
rotem Klee	85	35	135
Inkarnatklee	40	18	90
Espartette	60	40	175
Wiesenheu	100	35	95
Kartoffel	100	30	65
Zuckerrüben	150	35	70
Zichorie	90	25	70
Futterrübe	255	45	155
Tabak	90	15	105
Weinrebe	70	20	65
Hopfen	90	15	140
Weißkraut	405	95	170
Zwiebel	188	195	190
Spargel	80	20	65

Im Durchschnitt werden durch die Ernten der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen dem Boden also mehr Mengen Kali als Stickstoff und namentlich mehr Mengen Kali als Phosphorsäure entzogen.

Als sehr wesentlicher Faktor bei der Kalidüngung kommt die verschiedenartige Fähigkeit der Pflanzen, das Kali aus dem Boden aufzunehmen, in Betracht. Die Gerste eignet sich die Nährstoffe des Bodens schwerer an als Roggen und Weizen. Sie hat zwar ein sehr ausgebildetes Wurzelsystem, aber weniger Kohlensäureabgabe zur Löslichmachung der Bodennährstoffe, also eine sehr schwache Atmungsenergie des Wurzelsystems. Sie bedarf deshalb größerer Mengen leichtlöslichen Kalis, wie es die wasserlöslichen Kalisalze haben, als Weizen. Besser als Roggen und Weizen weiß sich der Hafer die meistens in schwerlöslicher Form im Boden vorhandenen Nährstoffe anzueignen insofern der höheren Atmungsenergie seines Wurzelsystems. Er hat also weniger Bedürfnis nach leichtlöslichen Nährstoffen, wie die Kunstdünger sie bieten. Diese Verschiedenartigkeit kommt natürlich bei Fragen praktischer Düngung in Betracht. Die Aufnahme der in der Düngung verabsolgteten wichtigsten Nährstoffe ist sehr verschieden. Nach Lemmermann beträgt sie beim Stickstoff durchschnittlich 50 %, bei der Phosphorsäure 10—20 % und beim Kali 30—40 %. Unter Berücksichtigung dieser verschiedenen Ausnutzung und des verschiedenen Gehaltes in der Ernte und an den Hauptnährstoffen sind bei der Düngung bei 1000 kg Stickstoff etwa 3000 kg Phosphorsäure und 3000 kg Kali zu verwenden, also die dreifache Menge von Phosphorsäure und Kali gegenüber Stickstoff. Vor dem Weltkrieg verbrauchte die deutsche Landwirtschaft etwa 200 000 t Stickstoff, 600 000 t Phosphorsäure und 600 000 t Kali. Die deutsche landwirtschaftliche Praxis hat also im allgemeinen die theoretische richtige Menge an diesen drei Hauptnährstoffen angewandt.

Natürlich ist die Kaliumaufnahme der verschiedenen Pflanzen aus dem Boden verschieden, wie auch die Aufnahme der verschiedenen Kalisalze verschieden ist. Nach den Versuchen von Wagner wurde bei 14jährigen Gefäßversuchen bei Anwendung verschiedener Kalisalze von 100 Teilen des in der Düngung gegebenen Kalis im Mittel bei den Gefäßversuchen von den Pflanzen 60 % aufgenommen, also in der Ernte zurückgewonnen, nämlich:

bei Düngung mit Chlorkalium	58	Teile
bei Düngung mit schwefelsaurem Kali	56	"
bei Düngung mit salpetersaurem Kali	57	"
bei Düngung mit Kalinit	60	"

Während bei den Gefäßversuchen 60 % des in der Düngung gegebenen Kalis von den Pflanzen aufgenommen werden, betrug die Aufnahme bei den Feldversuchen im Mittel nur 25 % und war sehr verschieden. War der Acker reich an Kali, so blieb die Düngung ohne Wirkung, dann wurde auch wenig Kali der Düngung aufgenommen.

Das Kalibedürfnis der Kulturpflanzen hat man zunächst durch sog. Gefäßversuche festgestellt, indem man in die Gefäße mit Wasser, Sand oder Boden bestimmte Nährstoffmengen brachte und das Wachstum und die Ernte der darin gesäten Pflanzen beobachtete. Diese Topfversuche dienen hauptsächlich wissenschaftlichen Zwecken und geben wichtige Fingerzeige für die Praxis. Ausschlaggebend für diese sind natürlich allein die Felddüngerversuche. Auf diesem Gebiet hat Paul Wagner eine genaue, wissenschaftlich einwandfreie Verbrauchsordnung ausgearbeitet, nach welcher allgemein vorgegangen wird. Will man wissen, ob eine Anwendung von Kunstdüngern neben dem üblichen Stallmist oder der vorjährigen Stallmistgabe rentabel ist, so hat man nur zwei Parzellen nötig, die eine wird wie üblich behandelt, die andere erhält außerdem eine Düngung mit Handelsdünger. Will man dagegen wissen, um wieviel sich der Ertrag mindert, wenn man nicht Volldüngung — Stickstoff, Phosphorsäure und Kali — gegeben, sondern einer der drei Hauptnährstoffe ausgelassen wird, dann legt man folgende 5 Parzellen an:

1. Ungedüngt.
2. Volldüngung (KPN).
3. Düngung ohne Kali, nur Phosphorsäure und Stickstoff (PN).
4. Düngung ohne Stickstoff, nur Phosphorsäure und Kali (PK).
5. Düngung ohne Phosphorsäure, nur Stickstoff und Kali (NK).

Gewöhnlich braucht man hierzu 1 a große, quadratische Teilstücke auf einem nach Beschaffenheit, Feuchtigkeitverhältnissen möglichst gleichmäßigen Acker. Die Düngermengen für die einzelnen Teilstücke werden genau abgewogen und deren Ernten einzeln auf dem Acker sofort nach der Ernte festgestellt. Von diesen nimmt man Proben, und zwar bei Halmgewächsen 7 kg, bei Kartoffeln, bei Rüben 20 kg. Die in geschlossenen Säcken gut verwahrten Proben dienen zur Bestimmung der Trockensubstanz und des Verhältnisses von Stroh und Korn, sowie nach dem Trocknen und Mahlen für die chemisch-analytischen Bestimmungen, die in der Praxis allerdings fortfallen, da dem Landwirt hauptsächlich an der Feststellung der Ertragssteigerung bei der Düngung gelegen ist. Wenn man lediglich wissen will, ob man bei der Düngung nur einen Nährstoff vernachlässigt hat und unbedingt Volldüngung geben muß, kann man auch dreiparzellige Felddüngungsversuche ausführen. Will man wissen, ob man Kali nicht vernachlässigen darf bei der Düngung, dann wählt man die Versuchsordnung:

1. ungedüngt,
2. Phosphorsäure, Stickstoff (PN),
3. Kali, Phosphorsäure, Stickstoff (KPN).

Zur Darstellung der Kaliumwirkung. Neuerdings hat sich unter Anregung der Professoren Mitscherlich und Roemer namentlich innerhalb der in letzter Zeit überall gebildeten Versuchsringe, in denen sich mehrere Wirtschaften zusammenschließen, eine Reform auf dem Gebiete des praktischen Felddüngungsversuches vollzogen, die vor allen Dingen eine möglichste Ausmerzung der Fehlerquellen bezweckt.

Die Wirkung der Kalisalzdüngung auf die Körner-, Rüben- und Kartoffelerträge im Verhältnis zur Steigerung der Stroh- und Blättererträge hat unter anderen Paul Wagner festgestellt. Wie die nachstehenden Zahlenübersichten der Mittelsergebnisse von Gefäß- und Feldversuchen zeigen, sind bei ausgedehntem Kaliumdüngung stets die Körner-, Rüben- und Kartoffelerträge mehr als die Stroh- und Blättererträge gesteigert. Auf 100 g Stroh bzw. Blätter wurden an Körnern bzw. Rüben und Kartoffeln erhalten:

Versuchspflanze	ohne Kalidüng.	mit Kalidüng.
Hafer	66 g	74 g
Gerste	51 "	60 "
Winterroggen	48 "	49 "
Sommerroggen	42 "	53 "
Röhre	95 "	137 "
Futterrüben	162 "	201 "
Zuckerrüben	137 "	194 "
Kartoffeln	169 "	237 "
Erbsen	54 "	53 "
Lein	30 "	32 "
Wicken	48 "	52 "

Setzt man die Stroh- bzw. Heu- oder Blättererträge = 100, so erzielte man als Mittelsergebnisse bei Felddüngungsversuchen an Körnern bzw. Rüben:

Versuchspflanze	ohne Kalidüng.	mit Kalidüng.
Hafers	63 g	63 g
Gerste	67 "	68 "
Winterroggen	43 "	45 "
Winterweizen	37 "	38 "
Futterrüben	724 "	756 "
Zuckerrüben	236 "	255 "

Auch über die Kalidüngung der Wiesen hat Paul Wagner eingehende Versuche veröffentlicht. Diese Schwankungen haben in dem ungemein wechselnden Kaligehalt des Wiesenheus ihren Grund. Man hat damit zu rechnen, daß durch Kalidüngung nicht nur der Heuertrag, sondern auch der prozentische Kaligehalt der Erntesubstanz erheblich erhöht wird, und daß man keine Höchst-erträge ernten kann, ohne dem Boden soviel Kali zu geben, daß zugleich ein kalireiches Heu erzeugt wird. Die Kaligaben sind so bemessen, daß die Wiesenpflanzen sich mit Kali vollständig sättigen. Nach den Versuchen bestätigt sich die Annahme, daß zur Erzeugung von 100 dz Heu 170 kg Kali, entsprechend 13,3–13,4 dz Kainit oder 4 dz 40%iges Kalisalz erforderlich sind. Das ist das Mittel. Ist man mit den Erträgen zufrieden, die geringer sind, als die Wiese sie bei starker Kalidüngung liefern kann, so braucht man weniger; will man Höchstträge erzielen, so braucht man mehr.

Aber die Kalidüngung im Obstbau hat Professor Steglich eingehende Versuche veröffentlicht. Nach dessen Untersuchungen ist der Nährstoffentzug der Obstbäume je nach dem Alter sehr verschieden und beträgt bei den Hauptobstarten je nach dem in halber Stammeshöhe gemessenen Stammumfang:

Apfel:		Birne:	
15 cm	21,03 g	15 cm	30,00 g
25 "	58,01 "	25 "	51,95 "
50 "	150,11 "	50 "	198,62 "
75 "	242,74 "	75 "	345,11 "
125 "	427,70 "	125 "	638,25 "
150 "	519,71 "	150 "	784,92 "
Kirsche:		Pflaume:	
15 cm	11,87 g	15 cm	27,11 g
25 "	51,05 "	25 "	76,43 "
50 "	159,23 "	50 "	201,30 "
75 "	267,26 "	75 "	326,45 "
125 "	483,61 "	100 "	450,92 "
150 "	591,81 "		

Die doppelten, etwa 3–4fachen Mengen Kali des Kalientzuges sind in Form von Kalisalzen gleichmäßig auf der Standortfläche auszustreuen.

Aber die Kalidüngung der Reben liegen u. a. eingehende Versuche von Paul Wagner vor. Nach diesen Forschungen wirkt der Stallmist ausgezeichnet auf den Weinberg, bei 200 dz jährlicher Stallmistdüngung pro Hektar ist deshalb keine Kalisalzdüngung nach P. Wagner möglich. Fehlt Stallmist, so sind pro Hektar 2½ dz 40%iges Kalidüngesalz zu geben, dazu 8 dz Salpeter und 2 dz Thomasmehl.

Bei den Halmfrüchten wirken die Kalisalze vorzüglich. Durchschnittliche Angaben sind: auf den ha beim Roggen 50–75 kg Kali (2 dz 40%iges Kalisalz), daneben 30–50 kg Phosphorsäure und 25–30 kg Stickstoff. Weizen benötigt auf leichtem Boden ähnliche Mengen. Gerste, welche sich Kali schwerer aneignet als Roggen und Weizen, bedarf deshalb auch größeren Nährstoffvorrat. Zu deren zweckmäßigen Düngung sind 75–100 kg Kali (1½–2 dz 40%iges Kalisalz), 30–50 kg Phosphor und nur geringe Stickstoffdüngung nötig, da Qualitätsgerste — Braugerste — nicht über 10% Stickstoff enthalten darf. Hafers erfordert 20 bis 40 kg Kali, neben 15–20 kg Phosphor und 25–30 kg Stickstoff.

Die Hackfrüchte nutzen den Stallmist 3–4mal so hoch aus wie die Halmfrüchte, man baut sie daher meist nach einer Düngung von 200–300 dz Stallmist auf 1 ha an. Außerdem ist wegen der starken Kaliverzehrung Kalidüngung, die bei vorhergehender Stallmistgabe schwach, sonst sehr stark zu geben ist, zu verabsolgen, ohne Stallmist auf das Hektar 40–120 kg, 30–100 kg Phosphor und 30–75 kg Stickstoff. Bei Kartoffeln gibt man das Kali nicht als Rohsalz, sondern als 40%iges Kalidüngesalz, Chlorkalium, das Rohsalz jedenfalls schon im Herbst, damit dessen hoher Chlorgehalt, der Stärkevermindert wirkt, während des Winters in den Untergrund gewaschen wird.

Die Hülsenfrüchte und Kleearten, die selbst den Stickstoff der Luft zu verwerten vermögen, bedürfen meistens nur der Kali-

phosphatdüngung, und zwar auf das Hektar 50–75 kg Kali und 50–60 kg Phosphorsäure.

Auf Wiesen und Weiden ist hauptsächlich Kaliphosphatdüngung beliebt, und zwar pro Hektar 2–3 dz 40%iges und 3–4 dz Thomasmehl; denn dem Wiesenboden wird Jahr für Jahr eine Menge Nährstoff genommen, ohne daß, wie auf dem Acker, durch Stallmist ein Ersatz stattfindet. Neuerdings legt man auch auf die Stickstoffdüngung der Wiesen Wert, welche den Wuchs der süßen Gräser fördert, während Kali und Phosphorsäure den Wuchs der Kleearten begünstigt.

Unter den Handelspflanzen ist Raps sehr kalibedürftig. Man rechnet auf ¼ ha neben Stallmist etwa 40 kg Kali, daneben 30 kg Phosphorsäure und 15 kg Stickstoff. Vor allen andern Handelspflanzen beansprucht Tabak das meiste Kali, da die Tabakblätter rauchbarer Pflanzen in der Trockensubstanz etwa 6% Kali enthalten. Allerdings darf nur chlorreies Kalisalz gegeben werden, also Kaliumsulfat, da die Blätter nicht über 0,6% Chlor enthalten dürfen, wann sie gut brennbar sein sollen. Hopfen benötigt ebenfalls eine bedeutende Menge Kali, obwohl eine Mittel-ernte pro Hektar nur 30 kg Kali erzielt. Nach Fruchtwirth empfiehlt sich für den Stock 60–80 g schwefelsaures Ammoniak beim Schnitt, 30–40 g Salpeter 4–6 Wochen später, 50 g 40%iges Kalidüngesalz und 100–150 g Thomasmehl im Herbst oder 50 g Superphosphat im Frühjahr.

Für Obst und Gemüse empfiehlt Paul Wagner pro Ar in Kilogramm:

	Kali	Phosphor	Stickstoff	
Obstbäume	3	1,5	2	Februar
Kohlarten	5	3	4	14 Tg. vor Pflanzung
Rübenarten	3	2	2	14 Tg. vor Einsaat
Erbsen und Bohnen	2	2	1,5	bei Beetanlage
Zwiebeln	3	2,5	2	im Frühjahr
Salat	1	1	1,5	im März
Spargel	1,5	2,5	3	bei Beetanlage
Sellerie, Lauch	4	3	3	im Herbst
Tomaten	5	3	4	im Herbst
Erdbeeren	3	1	—	im Frühjahr
Erdbeeren	—	—	2	im Frühjahr

Beim Wein steht nach P. Wagner die Stickstoffdüngung an erster Stelle, andere Erfahrungen geben auch dem Kali große Bedeutung als ertragssteigernde und qualitätsverbessernde Maßregel. Man gibt alle 3 Jahre 500 dz Stallmist, außerdem etwa 40 kg Kali, 30 kg Stickstoff und bei Phosphorsäurearmut des Bodens 20–40 kg Phosphorsäure.

In der Regel erfolgt die künstliche Düngung in der Weise, daß neben einer Kalidüngung eine solche mit Stickstoff und Phosphorsäure, also eine sog. Volldüngung erfolgt. Die Hauptsache der Düngungspraxis ist zu ermitteln, ob und in welchen Mengen die 3 Hauptnährstoffe im Boden ersatzbedürftig sind. Neben Stickstoff, Phosphorsäure und Kali tritt als vierter Faktor der Kalk, der eine ganz besondere Rolle spielt, weil er in erster Linie als Bodenverbesserungsmittel, weniger als Pflanzennährstoff dient, da er in der Regel nicht mit den andern Nährstoffen zusammen, sondern für sich, ferner auch nicht regelmäßig vor jeder Ernte, sondern in größeren Mengen für mehrere Ernten zugleich verabfolgt wird. Für die Kalidüngung hat die Kalkfrage von jeher noch eine ganz besondere Rolle gespielt, da die chlorhaltigen Kalisalze entkalkend wirken. Man hat daher in der Praxis bei starker Kalidüngung darauf geachtet, daß der dem Boden dabei zugleich entzogenen Kalk wieder ersetzt wird.

Zum Schlusse sei noch kurz ein wichtiger Punkt hinsichtlich des Problems der Kalidüngung in der Kalkfrage erwähnt, das von Professor Ehrenberg aufgestellte Kalk-Kali-Gesetz, das folgenden Wortlaut hat: Wird für eine nur schwächer mit Kali versorgte Pflanze die Kalkzufuhr erheblich gesteigert, so tritt hierdurch eine Zurückdrängung der Kaliumaufnahme ein, welche erhebliche Schädigung im Gefolge haben kann; durch einseitige Verstärkung der Kalidüngung kann aber wieder die Pflanze vor Kalküberschwemmung bewahrt und zu günstigerer, gegebenenfalls normaler Entwicklung gebracht werden. Nach diesem Gesetze können also Schädigungen, welche durch eine zu hohe Kalkdüngung eintreten, durch starke Kalidüngung behoben werden.

Die industrielle Verwertung der Kalisalze spielt gegenüber der landwirtschaftlichen, wie schon erwähnt wurde, eine sehr geringe Rolle, da nur etwa 4% Gesamtzeugung der Kalisalze industriell verwertet werden zur Herstellung von Pottasche und Alkali, zur Gewinnung von Salpeter, zur Herstellung von chlorsaurem und chromsaurem Kalium, und zur Gewinnung von Alaun.