SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 49 • Jahrgang 2001

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 3-89626-369-2

Inhalt

Hans-Heinz Emons

Die Kaliindustrie - Geschichte eines deutschen Wirtschaftszweiges? >>>

Hartmut Baumbach

Die Qualität von technischen, technologischen und Dienstleistungsprozessen >>>

Siegfried Nowak

Umweltrechtliche Bestimmungen und moderne Technologien einer integrierten Abfall-Wirtschaft >>>

Hans-Heinz Emons

Die Kaliindustrie – Geschichte eines deutschen Wirtschaftszweiges?*

1. Einleitung

„Deutsch heißt das stolze Wort, in dem das charaktervolle Gesamtgebilde der Kali-Industrie in seinem Hauptgrundzug den schlagendsten Ausdruck findet. Deutsch und nur deutsch die Berge, wo in der Tiefe der köstliche Schatz aus dem Meer ruht, deutsch die Hände und der Wagemut, die ihn zu Tage heben und für den Gebrauch zurichten: Ein herrliches Schaffensgebiet, von der Vorsehung auf die heimischen Lande beschränkt und unserem Volkstum allein vorbehalten, ...ein Feld wie geschaffen zur Betätigung echt vaterländischen Geistes auf dem Kampfplatz der Arbeit! Stets bleibe in dieser Industrie dem nationalen Gedanken die Treue bewahrt und „deutsch immerdar" sei auch für ihren künftigen Werdegang die verheißungsvolle Losung" [1].

Diese Worte, vorgetragen auf dem X. Allgemeinen Bergmannstag zu Eisenach 1907 von dem seit dem gleichen Jahr wirkenden Vorsitzenden des Aufsichtsrates des Kalisyndikats H. PAXMANN, sollen als Ansatz für die folgenden Ausführungen und gleichzeitig als Begründung für das Fragezeichen im Titel dienen.

Den Beginn der Kaliindustrie können wir im Gegensatz zum Steinsalz auf genau datierte Ereignisse des 19. Jahrhunderts beziehen, finden sich doch weder in der „Historia naturalis" des jüngeren PLINIUS noch bei den Repräsentanten des Mittelalters wie RÜLEIN VON CALV und GEORGIUS AGRICOLA Hinweise auf diesen Bergbau. Kaliumverbindungen wurden jedoch – mehr oder weniger richtig erkannt – in Form von Pottasche (K_2CO_3) und Kalisalpeter

* Überarbeitete und erweiterte Fassung des Vortrages im Plenum der Leibniz-Sozietät am 19. April 2001

(KNO_3) seit dem klassischen Altertum zur Erzeugung von Glas, Seife, für die Textilfabrikation und die Herstellung von Schießpulver genutzt.

Die am 23. April 1839 begonnene Bohrung auf dem Kokturhof in Staßfurt zur Erkundung eines Steinsalzlagers erreichte 1843 in einer Teufe von 247,5 m das Kalilager, das später „Flöz Staßfurt" benannt wurde.

Tabelle 1: Zeittafel wichtiger Ereignisse für die Entstehung der Kaliindustrie [2].

Zeitangabe	Ereignis
1843	Eine 1839 auf dem Kokturhof in Staßfurt zum Zwecke der Steinsalzsolung begonnene Bohrung erreicht das Kalilager
04.12.1851	Teufbeginn des Kunstschachtes von der Heydt
31.01.1852	Feierliche Eröffnung des Staßfurter Steinsalzbergbaues und Teufbeginn des Förderschachtes von Manteuffel
1856	Die beiden Schächte durchteufen das Kalilager; 600 t Kalisalz werden gefördert und auf der Abraumhalde verstürzt
01.12.1858	Beginn der Auffahrung eines Querschlages in das Kalilager
18.05.1859	Zeitweilige Einstellung des Querschlages wegen zuströmender Laugen und Gase
März 1860	Wiederaufnahme des Querschlages und Lieferung von Kalisalzen zu Versuchszwecken an Chemiker und Landwirte
Nov. 1860	Patentanmeldung durch Dr. A. Frank
Oktober 1861	Erste Kalifabrik durch Dr. A. Frank fertiggestellt
01.11.1861	Beginn einer planmäßigen Herstellung von Kaliumchlorid aus carnallitischem Rohsalz

Trotz der Enttäuschung, kein Steinsalz gefunden zu haben, begannen auf Vorschlag des Geheimen Bergrats VON CARNALL – Namensgeber des Minerals Carnallit – im Dezember 1851 die Teufarbeiten für die zwei Schächte „von

der Heydt" und „von Manteuffel" für eine Steinsalzförderung. Diese Schächte sollten die ersten Kalischächte der Welt werden. Im Laufe des Jahres 1856 wurde das Kalilager durchteuft, dabei etwa 600 t Kalisalze gefördert, die auf Halde verstürzt – Abraumsalze – wurden und die bald gesuchter Gegenstand wissenschaftlicher und praktischer Untersuchungen hinsichtlich des Einsatzes als Dünger in der Landwirtschaft waren, nachdem HEINRICH ROSE und R. F. MARCHAND bei ihrer Analyse beachtliche Mengen an Kalium in Form von Kaliumchlorid bestimmt hatten.

Die Versuche des in einer Staßfurter Zuckerfabrik beschäftigten Chemikers A. FRANK führten 1860 zur Patentanmeldung, zum Aufbau einer kleinen Fabrik und zur erstmaligen, planmäßigen Produktion von angereicherten Kalidüngemitteln, so dass der 1. November 1861 nach meiner Auffassung mit Recht als Gründungstag der Kaliindustrie angesehen werden sollte.

2. Die deutsche Zeit der Kaliindustrie

Die ozeanischen Salze – entstanden bei der Evaporation des Meeres bzw. bei der nachträglichen Rekristallisation bereits ausgeschiedener Salze – setzen sich überwiegend aus den Ionen des hexären Systems Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^- und SO_4^{2-} zusammen, wobei weiterhin die schwerlöslichen Carbonate sowie in geringen Mengen Brom, Bor, Rubidium und andere Spurenelemente zu beachten sind. Für ihre Gewinnung und Verarbeitung lassen sich die Vorkommen mit nahezu 50 verschiedenen Salzmineralen wie folgt zusammenfassen (s. Tabelle 2)

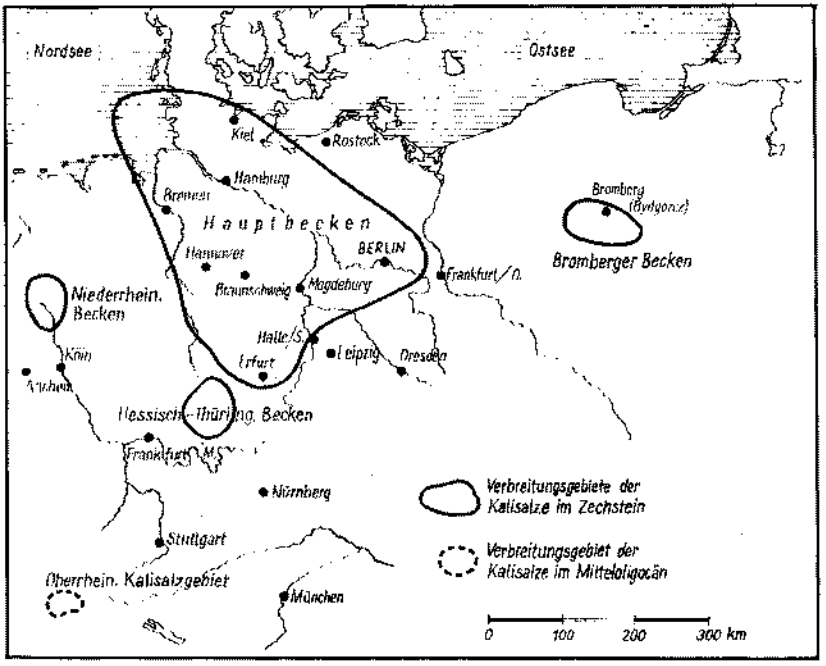
Als weiteres wichtiges Rohsalz sei der Kainitit (Hauptbestandteil Kainit) genannt, der bis zum Ende des 19. Jahrhunderts insbesondere im Staßfurter Raum auf Grund seines günstigen K_2O-Gehaltes von 19% abgebaut, vermahlen und direkt verkauft wurde. Die Folgen der Gewinnung dieses sogenannten Hutsalzes werden wir noch kennenlernen. Die Verbreitung der Kalisalze ist im allgemeinen an große Steinsalzlagerstätten gebunden. Einen Überblick für Deutschland vermittelt die Abbildung 1.

Auf weitere geologische und geochemische Aspekte sei hier verzichtet.

Tabelle 2: Rohsalztypen und charakteristische Zusammensetzungen

Bezeichnung des Rohsalzes	Hauptbestandteile	Nebenbestandteile
Sylvinit 20...35% KCl	Sylvin, Steinsalz	Kieserit, Carnallit, Polyhalit, Anhydrit, Ton
Hartsalz (kieseritisch) 15...30% KCl	Sylvin, Steinsalz, Kieserit	Anhydrit, Langbeinit, Polyhalit, Glaserit, Ton, Carnallit
Hartsalz (anhydritisch) 15...30% KCl	Sylvin, Steinsalz, Anhydrit	Kieserit, Langbeinit, Polyhalit, Glaserit,Ton, Carnallit
Carnallitit 13...24% KCl	Carnallit, Steinsalz, Kieserit	Anhydrit, Polyhalit, Bischofit, Tachhydrit, Sylvin, Borate, Bromcarnallit, Rubidiumcarnallit

Abbildung 1: Kalisalzverbreitung in Deutschland nach E. FULDA [2]



2.1 Die Staßfurter Zeit des Kalisyndikats

Etwa zur gleichen Zeit wie A. FRANK – beginnend 1858 – entwickelte H. J. GRÜNEBERG ein Verfahren zur Kaliumchloridgewinnung aus Carnallitit, dessen Grundzüge bis heute angewendet werden – Zersetzung des inkongruent löslichen Carnallits mit Wasser. Während FRANK in seiner Fabrik nur 20 Ztr. Rohsalz/Tag verarbeiten konnte, waren es in der 1861 – 62 in Betrieb genommenen GRÜNEBERG-FORSTERschen Fabrik 200 Ztr. [3]. In kürzester Frist entwickelte sich um das bisherige Ackerstädtchen Staßfurt eine neue Industrielandschaft. 1863 wurden bereits 18 Kalifabriken gezählt, die von den beiden Schächten beliefert wurden. Für die weitere Entwicklung im genannten Raum müssen besonders bergrechtliche Aspekte berücksichtigt werden. Der preußische Salzbergbau war zu dieser Zeit staatlich. Im benachbarten Anhalt gab es diese Beschränkungen nicht, so dass vor den Toren Staßfurts 1862 die beiden Werke Leopoldshall I und II – beide ab 1874 mit eigenen Fabriken – entstanden, zunächst bevorteilt durch das Abbauen eines Kainitits (ohne $MgCl_2$), der nach der Vermahlung direkt verkauft werden konnte. Die hier aufgezeigte Tendenz der Zusammenfassung von Gewinnung und Produktion in einem gemeinsamen Werk bestimmte generell die folgende Gründerzeit. Das preußische Allgemeine Berggesetz vom 01.10.1865 schuf die Voraussetzung für die Gründung von Privatunternehmen, wie u. a. des Werkes von H. S. DOUGLAS bei Westeregeln mit zwei Schächten, deren Förderung 1874 begann.

Diese rasante Entwicklung barg naturgemäß schon die Keime für die ersten Absatzkrisen 1864/65 und 1874/75 in sich, da die Märkte – in erster Linie die Landwirtschaft – weder geistig noch wirtschaftlich im notwendigen Umfang erschlossen waren.

Die in Verbindung mit der auf Staßfurt und Umgebung begrenzten Monopolproduktion nimmt es nicht Wunder, dass hier die ersten Kartellbestrebungen und damit ein interessantes Feld der Wirtschaftswissenschaften zu finden sind. Das Kalisyndikat ist ein theoretisch einfaches Beispiel, das jedoch praktisch eine schwer realisierbare Kartellpolitik demonstrierte.

Tabelle 3: Die Entwicklung der Kartellisierung [4]

1. Die Kartellvorläufer 1876–1884
2. Das Verkaufssyndikat der Fabriken 1884–1888
3. Das Verkaufssyndikat der Einzelverträge
4. Die sieben einheitlichen Vollsyndikate

In die erste Periode fallen die 1. Carnallitkonvention von 1879 und der 1. Kainitvertrag von 1880, die zu ersten Anteilquoten für die einzelnen Werke führten. Hier seien als Beispiel die Festlegungen der 2. Carnallitkonvention (1883) über die Beteiligungen der zwei staatlichen und drei privaten Syndikatswerke aufgezeigt:

Königlich Preußisches Salzwerk	20%
Herzoglich Anhaltinisches Salzwerk	24%
Cons. Alkaliwerke Westeregeln (Douglashall)	18 1/6%
Neu-Staßfurt	18 1/6%
Schmidtmannshall	19 2/3%

1885 kam es zum Kainitvertrag mit der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft. Die Entwicklung bis 1909 war gekennzeichnet durch die Ausnutzung des deutschen Natur-Monopolproduktes Kali durch ein allmählich auf- und ausgebautes Syndikat, das durch die Entdeckung neuer Kalireviere und die damit verbundene ständige Vergrößerung zunehmend schwieriger zu handhaben wurde. Die Schwerpunkte, die zur Kartellbildung führten und weiterhin im Mittelpunkt standen, waren: Festlegung der Fördermengen nach Vorkommensarten (Quoten), der Fertigproduktpalette und -mengen einschließlich der Qualitätskriterien, Absatzmengen, Preise für In- und Ausland. Als maßgebliche Verrechnungsgröße wird der fiktive K_2O-Gehalt den Kalisalzen zu Grunde gelegt

100% KCl = 63,17% K_2O, 100% K_2SO_4 = 54,05% K_2O.

Beachtliche Schwierigkeiten bereitete dabei auch die Frage des Staatsvorbehaltes – also der staatlichen Steuerung. Die unterschiedliche Gesetzgebung in den einzelnen deutschen Ländern führte prinzipiell zu keinen geordneten Bahnen im Kalibergbau.

Nicht unerwähnt bleiben soll in diesem Zeitabschnitt die am 18.10.1905 erfolgte Gründung des eigenen freien Wirtschaftsverbandes „Verein der deut-

schen Kaliinteressenten e.V.". Die Deutschen Kalitage – beginnend 1905 in Hannover – dienten der Förderung gemeinschaftlicher Interessen, der Behandlung wissenschaftlicher, technischer und wirtschaftlicher Fragestellungen. Der 2. Kalitag 1906 führte durch das aktive Engagement von F. RINNE, H. PRECHT und J. H. VAN'T HOFF zur Gründung des sehr aktiven „Verbandes zur wissenschaftlichen Erforschung der Kalisalzlagerstätten".

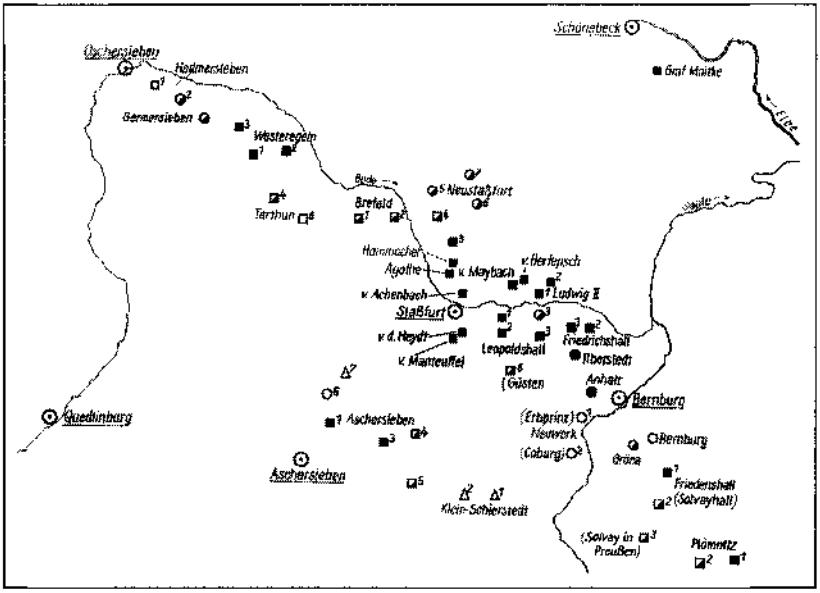
Der Kampf zwischen den Vertretern des Kartellgedankens und denen, die für eine freie Wirtschaft eintraten, nahm in der Folgezeit zu. Einzelne bedeutende Werke wie Aschersleben und Sollstedt durchbrachen die Syndikatsvorgaben. Dieser „Absatzkonkurrenzkampf" kulminierte bei den Verhandlungen zur 5. Syndikatsperiode am 30.06.1909 im Berliner Hotel Adlon mit der durch den Aufsichtsratsvorsitzenden PAXMANN erklärten Auflösung des Syndikats. Damit endete auch praktisch die „Staßfurter Zeit". Das Revier besaß bis 1886 das deutsche und damit das Weltmonopol. Die Entwicklung des Gebietes zeigt die Abbildung 2.

Der Kainitabbau im Revier war Ursache für ständig zunehmende Wasserflüsse und letztendlich für das Absaufen der Schachtanlagen – beginnend mit Aschersleben I 1885, Westeregeln 1891 und Aschersleben III 1891. Auch Leopoldshall I und II (1899) sowie „von der Heydt", „von Manteuffel'" und Achenbach (1900–1901) ereilte dieses Schicksal. Die wirtschaftliche Bedeutung, verknüpft mit dem Rückgang der Vorräte, den oben genannten Geschehnissen und dem Aufblühen neuer Reviere – 1896 nahm Glückauf Sondershausen als erstes Kaliwerk im Südharz, 1901 Kaiserroda 1 im Werra-Fulda-Revier und 1901 der Ernst-Schacht bei Wanzleben im Saale-Unstrut-Gebiet die Förderung auf – ging kontinuierlich abwärts und beschleunigte die Verlagerung der zentralen Institutionen nach Berlin (1910–1911). Der Nachweis von Kalisalzen südlich des Harzes bei Kelmstedt in der Nähe von Bleicherode hatte übrigens Ende der 80er Jahre die Auffassung erschüttert, dass das Vorkommen von Kalisalzen auf die Gebiete nördlich des Harzes beschränkt sei.

2.2 Das Kaliwerk Vienenburg im wechselvollen Lauf der Kaliindustrie [6]

Das bei Vienenburg im Landkreis Goslar gelegene Kaliwerk war zu seiner Zeit eine der bedeutendsten Kaliproduktionsstätten Deutschlands. Ab 1884 wurde der Schacht I geteuft und schon zwei Jahre später konnten Produktion und Ver-

Abbildung 2: Übersichtskarte über die bis 1928 vollendeten Kalischächte im Raum Staßfurt [5]



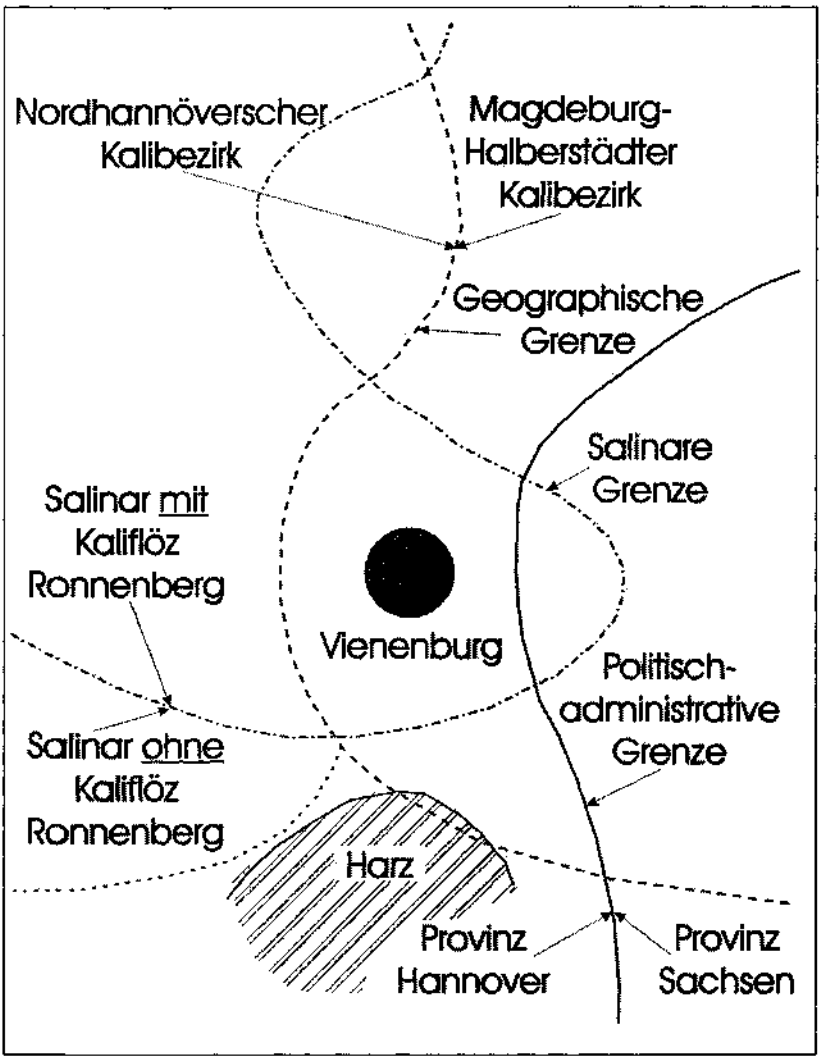
■ bis 1894 ◪ 1895–1906 □ 1907–1911

● 1912 ◪ 1913 Δ nach 1945

arbeitung aufgenommen werden. Die Produktion blieb 44 Jahre erhalten, bis sie 1930 durch einen katastrophalen Laugeneinbruch abrupt beendet wurde. Die besondere Rolle Vienenburgs lag im rechtlichen und wirtschaftlichen Bereich. Dafür waren Standort- und Besitzverhältnisse maßgebend (s. Abb. 3).

Geographisch-geologisch befand sich das Werk in der Magdeburg-Halberstädter Mulde zwischen dem Flechtinger Höhenzug und dem Harz und gehörte somit zum Magdeburg-Halberstädter-Kalibezirk. Im Salinar greift das damals noch unbekannte Erstreckungsgebiet des K_2O-reichen Jüngeren Kalilagers – das spätere, hier erstmals erschlossene Flöz Ronnenberg – halbinselförmig in die Vienenburger Gerechtsame über, die politisch-administrativ zur preußischen Provinz Hannover gehörte. Besitzer des Werkes war zunächst die

Abbildung 3: Die Grenzlagen des Werkes Vienenburg



Gewerkschaft Hercynia, die es 1906 an den preußischen Fiskus verkaufte, von wo es als Berginspektion Vienenburg 1924 an die Preußische Bergwerks- und Hüttenaktiengesellschaft (Preußag) als dessen Erbe überging.

Den jeweiligen Besitzern entsprechend lassen sich drei Gruppen besonderer Vorkommnisse zusammenfassen:

Die Gewerkschaftsphase war geprägt vom Grundeigentümerbau, dem Kauf des Gewerkschaftsmantels, der Versenkung der Endlaugen, dem Fund des Ronnenberg-Flözes und dem Absatz von Edelrohsalz; die Fiskuszeit war gekennzeichnet durch den teuersten Erwerb eines Kaliwerks, die höchste Absatzquote und den krassesten Laugeneinbruch, während das erste Jahrzehnt der Zugehörigkeit zur staatlichen Aktiengesellschaft von Monopolisierungsbestrebungen durch das Carnallit- und Kainitkartell, die Schutzgemeinschaft und das Kalisyndikat bestimmt war.

Während mit dem Allgemeinen Berggesetz vom 24.06.1865 im Königreich Preußen das althergebrachte Bergregal abgelöst wurde und damit auch für Salze das Prinzip der Bergfreiheit galt, hatte in dem annektierten ehemaligen Königreich Hannover weiterhin das Bergbaurecht der Grundeigentümer Gültigkeit. Diese besondere Rechtslage brachte erhebliche Belastungen mit sich. Eine nutzbare Gerechtsame ließ sich meist nur nach zähen Verhandlungen und kostspieligen Vertragsabschlüssen mit einer Vielzahl von Grundbesitzern zusammenbringen, weshalb etwa das Kaliwerk Salzdetfurth zur Konsolidierung seiner Gerechtsame mit mehr als 1000 Grundbesitzern kontrahieren mußte. In Vienenburg hatten es die Gewerke nur mit einem Grundbesitzer, der königlichen Klosterkammer, zu tun. Die Bergwerksbetreiber hatten für das erteilte Abbaurecht einen Förderzins von 1 Pfg/Ztr Steinsalz und 2 Pfg/Ztr Kalisalz sowie 8% des Reingewinns zu entrichten. Seinerseits wurde die Gewerkschaft mit Vorliebe als Gesellschaftsform für Bergwerksunternehmen gewählt. Nun setzte aber die Existenz einer Gewerkschaft die staatliche Verleihung einer Gerechtsame – also Bergwerkseigentum – voraus, über das man im hannoverschen Vienenburg nicht verfügen konnte. Um trotz des fehlenden Eigentums in der hannoverschen Provinz ein gewerkschaftliches Bergwerk betreiben zu können, kamen die Werksgründer auf die Idee, sich anderswo einen „Gewerkschaftsmantel" zu kaufen und damit ihr Unternehmen „einzukleiden". Dieses trickreiche Novum machte Schule und fand am Ende an die 50 Nachahmer im hannoverschen Kalibergbau. In Vienenburg hatte man außerdem

herausgefunden, dass von Rechts wegen das verliehene Bergwerk mit dem zu betreibenden nicht identisch zu sein brauchte und auch nicht in der Provinz Hannover liegen mußte. Man erwarb also das auf Braunkohle verliehene kleine Bergwerk Wienrode südöstlich von Blankenburg am Harz als 1000teilige Gewerkschaft Hercynia mit Sitz in Wernigerode. Außer dieser marginalen Braunkohlenbuddelei betrieb die Gewerkschaft dann – im rechtlichen Sinne „nebenbei" – die großangelegte Kalisalzgewinnung.

Schacht I (Neubauer-Schacht) erschloß das bereits bekannte, später als Flöz Staßfurt bezeichnete Kalilager in einer steil aufgerichteten Sattelstruktur. Petrographisch herrschte in den Aufschlüssen kieseritischer Carnallitit vor und im oberen Sattelbereich stieß man auf den sehr begehrten Kainitit. Beim fortschreitenden Aufschluß der Lagerstätte entdeckte man später das Jüngere Kalilager (Flöz Ronnenberg). Dieses Lager bestand aus Sylvinit unterlagert mit Carnallitit und zeichnete sich durch einen hohen K_2O-Gehalt von 13–32% gegenüber dem älteren mit 9–10,5% und dem Carnallitit bis 11–14% aus. Diese hervorragenden Bedingungen gaben Anlaß, zwischen 1894 und 1897 einen weiteren Schacht niederzubringen und diesen ab 1899 als Hauptförderschacht zu nutzen – Schacht I wurde Reserve- und Wetterschacht. Als 1930 der Laugeneinbruch das Aus bedeutete, waren etwa 6,8 Mio t Rohsalze und damit lediglich 6% der geschätzten Reserve in die Förderung gegangen.

In dem Maße, in dem sich das Werk durch interessenkonformes Verhalten einen Platz in der Reihe der quotenprivilegierten Altwerke eroberte, stieg die Produktion ständig an, übrigens schon 1890 mit einem respektablen Export in die USA.

In den 90er Jahren wandelte sich Vienenburg zum Sylvinitwerk. Die Gewinnung im Carnallitit-Flöz wurde aufgegeben, wie auch die Verarbeitung in der etwa 17 km entfernten Fabrik in Langelsheim. Die gesamte Förderung wurde auf Schacht II konzentriert und die Verarbeitung auf die direkt daneben errichtete neue Fabrik „Sylvinit-Aufbereitungsanlage". Diese grundlegende innerbetriebliche Umstellung ging geradezu harmonisch mit Veränderungen einher, die sich von außen durch das Syndikat ergaben. Ab 1899 wurden die den Werken zugeteilten Quoten nicht mehr nach den mineralischen Zusammensetzungen und den Verwendungszwecken der Rohsalze bestimmt, sondern in vier Gruppen nach Fertigprodukten. Jetzt hatte die Gewerkschaft Hercynia ein geradezu optimal auf ihre Bedingungen zugeschnittenes Ope-

rationsfeld. Den größten Teil der geförderten Rohsalze konnte sie unverlöst, lediglich vermahlen, absetzen, Erzeugnisse für die Gruppe I und Aufmischkonzentrate für die Gruppe II fast ohne Anfall von Abstoßlösungen aus bestem Sylvinit produzieren sowie – falls der Markt dafür Aufnahme bot – auch „Carnallit" in ausgezeichneter Qualität liefern.

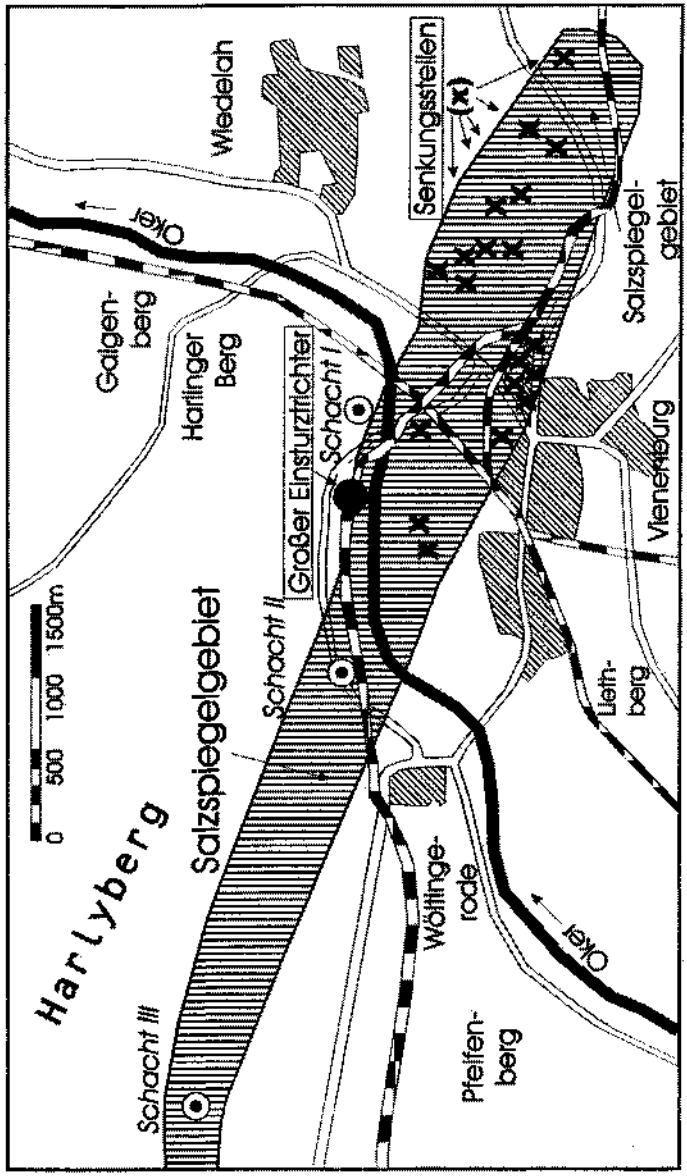
Am 01.07.1906 war die Gewerkschaft Hercynia, wie schon erwähnt, in staatlichen Besitz übergegangen. Dieses Geschehen wird in der deutschen Kaligeschichte als wichtiges Ereignis mit beachtenswerten Details gesehen. Das Motiv dieser Transaktion war, wie vom damaligen preußischen Minister DELBRÜCK vor dem Abgeordnetenhaus verkündet, angeblich „nicht in den banalen Niederungen bloßer kaufmännischer Interessen zu suchen" sondern „in den hehren Sphären des öffentlichen Wohls und Interesses" zu finden. Die „Fiskalpreußen", Gründer des ersten Kalibergwerks der Welt und dann gemeinsam mit den „Fiskalanhaltinern" Beherrscher des Kalimarktes, sahen die Gefahr des Einflußverlustes durch die permanente Zunahme der dem Syndikat angehörenden Werke. Das äußerlich schwarz-weiß-rote, intern jedoch goldene Kommerzkonzept bescherte der Kaliindustrie eine Zeitlang exorbitante Gewinnmargen, die en masse das spekulative Kapital anzog. Von der Gründung des Syndikats bis zu dem Zeitpunkt des hier anstehenden Verkaufs hatte sich die Förderung auf 557% erhöht. Hier lag das eigentliche Motiv des Vienenburger Besitzwechsels. Der preußische Staat mußte seine Beteiligung neben den beiden königlichen Berginspektionen Staßfurt und Bleicherode erweitern. Ein drittes Werk mußte schnellstens zur Verfügung stehen. Am 13.01.1906 trat der Fiskus in Kaufverhandlungen mit der Gewerkschaft Hercynia ein, danach lief das ganze Szenario mit beachtlichem Tempo ab. Das gesamte Vermögen wurde für 30 Mio Mark, zahlbar am 30.06.1906, gekauft. Der Fiskus verschaffte sich die erforderlichen Geldmittel durch die Ausgabe von Staatsschuldverschreibungen bzw. Schatzanweisungen. Der bezahlte Preis entsprach der Investitionssumme von 4 bis 5 neuen Kaliwerken der Vienenburger Größenordnung. Dies beweist, wie sehr es den Staat pressiert haben muß, seinen Einfluß im Industriezweig zu festigen. Wer sein Insiderwissen ge- richtiger mißbrauchte, machte einen guten Schnitt. Ende 1905 wurde ein Hercynia-Kux mit 22 500 M bewertet, im Januar handelte man ihn mit 28 000 M und mit der endgültigen Offenbarung der Kaufofferte stieg er nochmals um 1500 bis 2000 M an.

Unter den Quotenbewerbern nahm Vienenburg nach der Verkündung des „Kaligesetzes über den Absatz von Kalisalzen" am 25.05.1910 mit Schacht I den ersten Platz mit der höchsten Beteiligungsziffer ein, auch Schacht II rangierte im vorderen Fünftel der bald über 200 Bewerber.

Dennoch war das Werk mit einem entscheidenden Makel behaftet. Es litt – wie man zu spät erkannte – gewissermaßen an einer „schleichenden tödlichen Krankheit", so dass OVIDS Feststellung „steter Tropfen höhlt den Stein" nach 44 Jahren eine überzeugende Bestätigung fand. Bereits im ersten Betriebsjahr hatte man beim Kainititabbau in nur 230 m Teufe, etwa 300 m westlich von Schacht I einen Zufluß von zunächst NaCl-gesättigter Sole ausgelöst, der konstant mit etwa 5 l/min schüttete und über Jahrzehnte hin anhielt. 40 Jahre später zeigten sich dann in dreifacher Hinsicht als bedrohlich zu registrierende Veränderungen. Es floß nur noch halbgesättigte Sole zu, die Menge stieg um das 14fache an, und durch die Auflösung von Carnallitit hatte sich die Lauge einen Weg von der 230 m-Kainitit-Sohle zur II. Tiefbausohle in 318 m Teufe gebahnt. Nach einem Gutachten der Preußischen Geologischen Landesanstalt in Berlin vom 01.10.1927 sollte die Katastrophe in 10 bis 20 Jahren ausgelöst werden. Doch schon am 08.05.1930 vormittags erfolgte an der langjährigen Schadensstelle ein verheerender Wassereinbruch, dem das gesamte Bergwerk in kürzester Zeit zum Opfer fiel. Obwohl das Werk innerhalb weniger Stunden aufgegeben werden mußte, hatten sich alle Bergleute über den neu geteuften dritten Schacht retten können. 12 Stunden nach dem Wassereinbruch entstand über der Einbruchstelle ein riesiger trichterförmiger Tagesbruch. Auch hierbei gab es keinen Personenschaden. Ein am Rand des Trichters wohnender Eisenbahnbeamter veranlaßte die sofortige Sperrung der im Einsturzbereich liegenden Schnellzugstrecke. Der Rauminhalt der abgesackten Gesteinsmassen wurde auf 450 000 m^3 und der Kraterdurchmesser auf mindestens 100 m geschätzt. Zusätzlich kam es an 19 Stellen zu Erdfällen unterschiedlicher Größe, der letzte bisher 1960. Keiner dieser Einstürze lag zwar über den Grubenbauen, aber alle ereigneten sich im Gebiet des Salzspiegels (s. Abb. 4).

Die Klärung der Kausalzusammenhänge, die zur Katastrophe führten, gelang bis heute weitgehend lückenlos, sei aber nicht weiter diskutiert. Am 31.12.1930 wurden Betrieb und Verwaltung im Kaliwerk Vienenburg offiziell aufgelöst.

Abbildung 4: Die Erdfälle im Vienenburger Salzspiegelgebiet



2.3 Die Ausbreitung des Kalibergbaus in Deutschland

1910 zählen wir in Deutschland 68 Kaliwerke mit 141 Schächten, unabhängig ob in Produktion oder ruhend. Auf Grund der komplizierten Situation (1907–1909) reichte die Kaliindustrie auf Beschluß der Mehrheit der Werke eine Denkschrift an die gesetzgebenden Institutionen des Reiches ein, in der reichsgesetzlicher Schutz für den Industriezweig beantragt wurde. Die sehr zügige Ausarbeitung des iniziierten Gesetzentwurfes beweist einerseits den beachtlichen Einfluß der Kalilobby auf Reichsregierung und Reichstag, andererseits das eigene Interesse der Regierenden auf Grund der Position der fiskalischen Werke. Das 1. Reichskaligesetz, das Gewinnung, Produktion und Absatz staatlich regelte, wurde am 25.05.1910 in Kraft gesetzt. Der Inhalt läßt sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- Die Kaliindustrie hat in erster Linie für den Inlandsbedarf zu sorgen
- Die Höchstpreise für das Inland sind Mindestpreise für das Ausland
- Ausnahmen kann nur der Bundesrat zulassen
- Bei einer Vernachlässigung des Inlandsabsatzes hat sich der Auslandsabsatz in dem darauffolgenden Jahr in einem bestimmten Verhältnis zu ermäßigen
- Je Doppelzentner Reinkaliabsatz sind 60 Pfg als Abgabe an das Reich für Propagandazwecke zu zahlen.

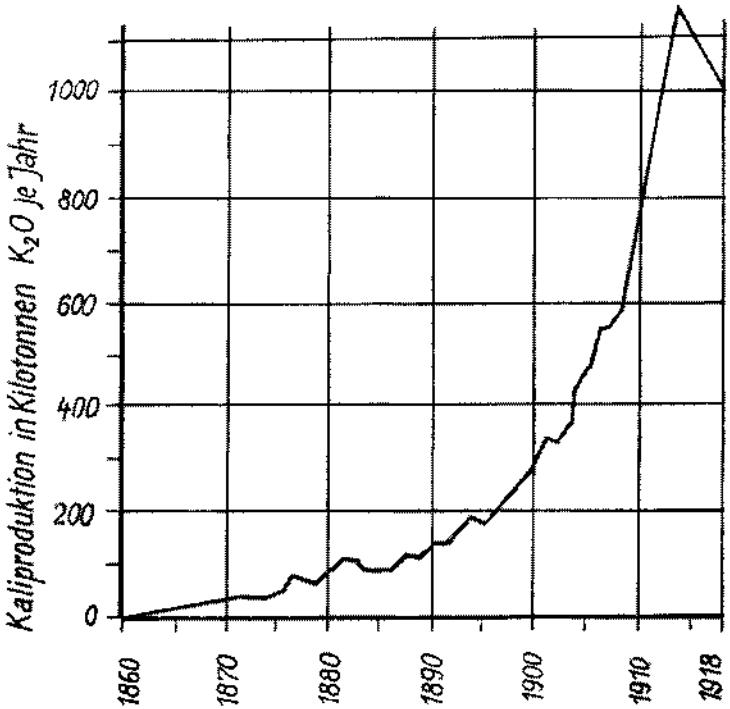
Wichtige Institutionen wurden die Berufungskommission und die Verteilungsstelle, die u. a. die Beteiligungsziffern festlegte [7]. Das neue Kalisyndikat begann am 01.01.1910 mit 51 Werken, erfaßte nach der Gesetzgebung 68 Werke und erreichte 1917 mit 209 Werken den Höchststand. Durch das Kaligesetz wurden jegliche außersyndikatischen Aktivitäten unterdrückt. Der neue Syndikatsvertrag war erstmals nur Gesellschafts- und Verkaufsvertrag. Nicht verhindern konnte das Gesetz die explosionsartigen Neugründungen in der Kaliindustrie. Innerhalb von 3 Jahren (1911–1913) wurden 88 Schächte geteuft und 96 Werke gegründet, denen bis 1917 weitere 45 folgten. Zusätzlich befanden sich 80 im Bau. In vielen Fällen ging es bei dieser Entwicklung nicht darum, wirklich neue produzierende Kapazitäten zu schaffen, sondern um den Erwerb von Beteiligungsziffern, die auf bestehende Werke verlagert werden konnten. Das Ausland, besonders die USA, reagierte auf das Gesetz mit großzügigen, z. T. gesetzlichen (USA 1911) Maßnahmen zur Auf-

findung außerdeutscher Kalivorkommen. Die Entwicklung der Produktion in diesem Zeitraum zeigt Abbildung 5.

Die Fördermenge von 11 607 512 t_{eff} im Jahr 1913 entsprach einer Produktion an Fertigerzeugnissen von 1,33 Mio t K_2O. Der Absatz betrug 1,11 Mio t K_2O, davon gingen 90% in die Landwirtschaft [8]. Über die Auslandsaktivitäten und die Propagandageschäftsstellen informiert Tabelle 4.

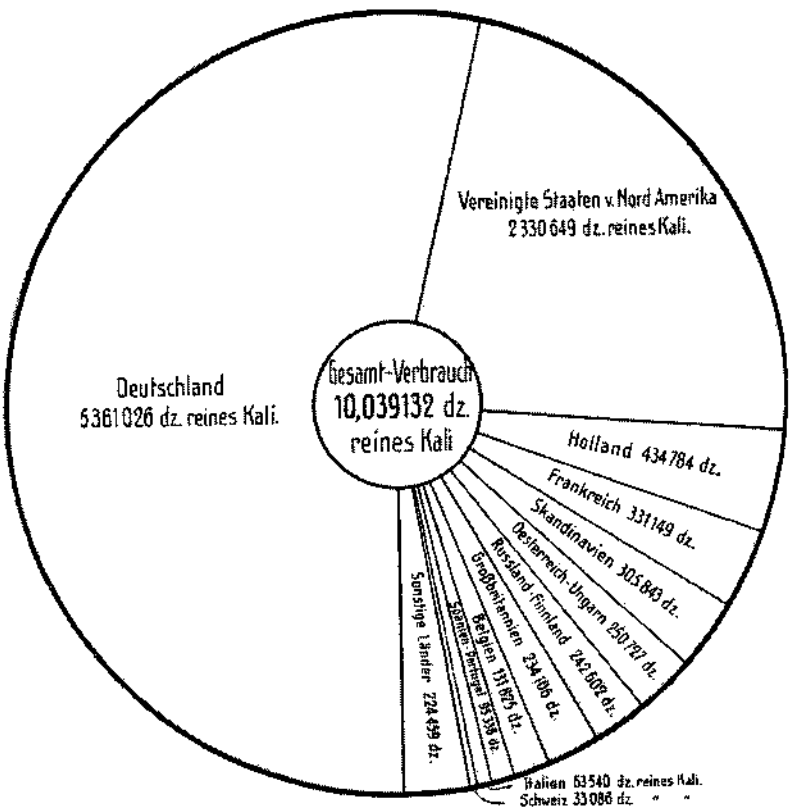
Zu den Aufgaben dieser Institutionen gehörte der eigentliche Handel, die Propagierung der Kalidüngung sowie die Ableitung und Anregung spezieller Forschungsgebiete wie die Anwendung der Kalisalze bei Moorkulturen, im Obst- und Gemüseanbau, der Forstdüngung, bei Tropenkulturen, beim Anbau von Braugerste und Zuckerrüben. Einen Eindruck über den Einsatz in der Landwirtschaft vermittelt Abbildung 6.

Abbildung 5: Die Kaliproduktion bis 1918



Über 100 kg je Hektar Anbaufläche verbrauchten 11 Länder, dabei stand Holland mit 2000 kg/ha vor Deutschland mit 1530 kg/ha an erster Stelle.

Abbildung 6: Kaliverbrauch in der Landwirtschaft 1913 [10]



2.4 Der Bruch des Weltkalimonopols

Das Ende des 1. Weltkrieges und die Rückkehr des Elsaß zu Frankreich zogen tiefgreifende Veränderungen für den Kalibergbau nach sich. Das deutsche Weltmonopol wurde nach 57 Jahren gebrochen, die elsässische Produk-

Tabelle 4: Propagandageschäftsstellen des Kalisyndikats 1909 [9]

Nr.	Ort	Gründungs-jahr	Nr.	Ort	Gründungs-jahr
1.	New-York	1893	22.	Ettelbrück	1904
2.	Paris	1897	23.	Sydney	1904
3.	Rom (früher Bologna)	1899	24.	Lissabon	1904
4.	London	1901	25.	Posen	1905
5.	Brüssel	1901	26.	Straßburg i. E.	1905
6.	Stuttgart	1902	27.	Breslau	1905
7.	Dublin	1902	28.	Prag	1905
8.	St. Petersburg	1902	29.	Zürich	1905
9.	Santiago	1902	30.	Stettin	1906
10.	Lima	1902	31.	Köln a. Rh.	1906
11.	München	1903	32.	Münster i. W.	1906
12.	Graz	1903	33.	Toronto	1906
13.	Toulouse	1903	34.	Bandoeng	1906
14.	Madrid	1903	35.	Rio de Janeiro	1906
15.	Atlanta	1903	36.	Philippeville-Alger	1906
16.	Chicago (früher St. Louis)	1903	37.	Havanna	1907
17.	Yokohama	1903	38.	Kiel	1907
18.	Zeitz	1904	39.	Hannover	1907
19.	Königsberg i. Pr.	1904	40.	Shanghai	1908
20.	Brünn	1904	41.	Bombay	1909
21.	Utrecht	1904			

tion – zunächst 13 Werke – stieg innerhalb von 20 Jahren auf das 10fache an. Deutschland erreichte 1920 etwa den Vorkriegsstand (s. Tabelle 5)

Die in der Öffentlichkeit und in der Volksvertretung lebhaft diskutierte Frage nach dem Verhältnis von Staat und Bergbau führte mit dem am 04.04.1919 beschlossenen Kaliwirtschaftsgesetz zu einer Neuordnung der Kaliindustrie. Dem Gesetz folgte am 16.10.1919 der Gesellschaftsvertrag für die „Deutsche Kalisyndikat GmbH". Das Gesetz übertrug die Leitung der Kaliwirtschaft dem neu zu bildenden Reichskalirat, der die Kaliindustrie nach gemeinwirtschaftlichen Grundsätzen unter Oberaufsicht der Reichsregierung zu leiten hatte. Er setzte die Verkaufspreise für das Inland fest und erließ Bestimmungen zur Sicherung von Durchschnittslöhnen und -gehältern. Die ihm zugeordnete Kaliprüfungsstelle bestimmte die Beteiligungsziffern. Erstmals konnten die Arbeitnehmer in diesen Gremien ihre Rechte durch eigene Vertreter wahrneh-

Tabelle 5: Die Entwicklung der Kaliproduktion in Frankreich und Deutschland [11]

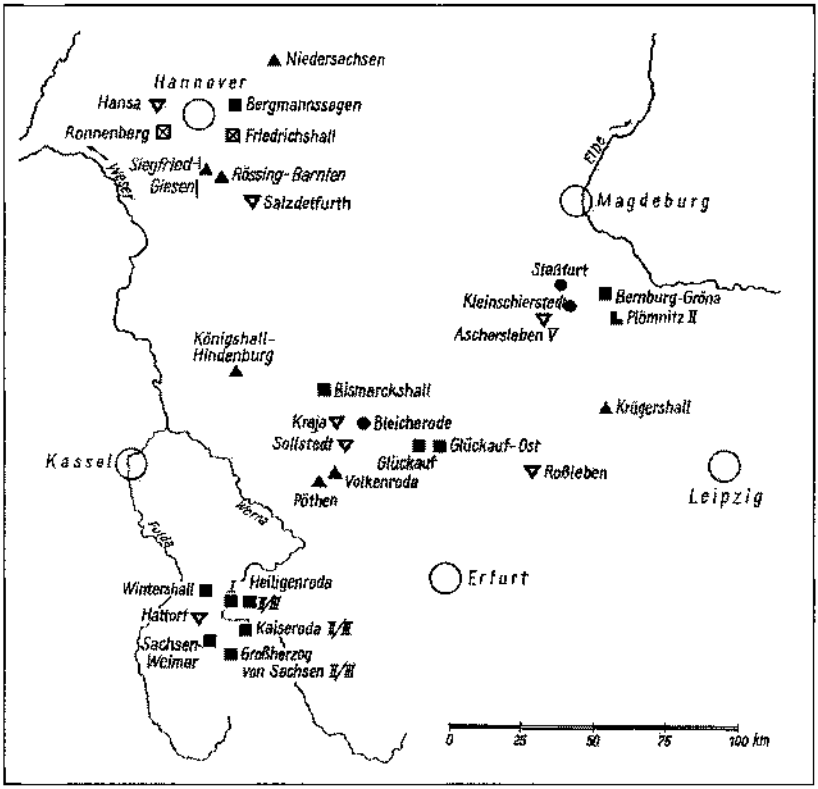
Jahr	Kaliproduktion in Kilotonnen K_2O Frankreich	Kaliproduktion in Kilotonnen K_2O Deutschland
1913	6*)	998**)
1918	56*)	946**)
1919	96	812
1920	194	923
1921	145	921
1922	208	1296
1923	249	886
1924	272	842
1925	312	1226
1926	367	1100
1927	377	1239
1936	365	1437
1939	593	1800

men. Eine der wichtigsten Aufgaben des Reichskalirates war die Reorganisation und Rationalisierung der Kaliindustrie, die sich maßgeblich in der sogen. Stillegungsverordnung vom 18.07.1919 niederschlug. Sie bestimmte u. a. die Übertragung von Beteiligungsziffern derjenigen Werke, die bis 1925 – später bis 01.04.1926 – ihre freiwillige Stillegung bis 1953 unwiderruflich erklärten. Übernommen wurde in die Verordnung das Abteufverbot zur Verhinderung neuer Werke. Bis 1933 wurden von den 229 Schachtanlagen, die eine Beteiligungsziffer besaßen, 125 stillgelegt. Die Belegschaften reduzierten sich u. a. von 48 667 im Jahr 1922 auf 18 935 Mitarbeiter im Jahr 1928. Im gleichen Jahr befanden sich noch 38 Schächte in Betrieb, 66 wurden auf Reserve gehalten (s. Abbildung 7).

Mit diesen Maßnahmen ging die Schwerpunktsverschiebung der Kalireviere mit der Verlagerung zum Werra-Fulda-Gebiet und die Konzentration fast aller Werke in sechs Konzernen mit eindeutiger Führung der Wintershall-Gruppe einher.

Der K_2O-Durchschnittsgehalt der geförderten Salze lag 1938 bei ~13,3%, wie auch schon 10 Jahre zuvor, bei geringerer Carnallititförderung aber Zunahme des niedrigprozentigen Hartsalzes aus dem Werra-Revier, das hier flach gelagert und mit Mächtigkeiten von 2,5 m effektiv abgebaut werden konnte.

Abbildung 7: Produzierende deutsche Kaliwerke 1938 – ohne Baden-Markgräfler (Preußag) bei Freiburg [12]



Etwa zur gleichen Zeit beobachten wir die gleichen Konzentrationen in der chemischen Industrie – 1925 IG Farbenindustrie AG – und der Montanindustrie – 1926 Vereinigte Stahlwerke AG. Mit dem Konzentrationsprozeß gekoppelt ist die Einführung neuer Technologien und einer modernen Anlagen- und Apparatetechnik wie die Umstellung der Gruben auf Skipförderung, Schrapperbetrieb, Streckenförderung mit Großraumwagen und die Einführung der Vakuumkühlungskristallisation in den Fabriken, um nur wenige Beispiele zu nennen. Ermöglicht wurde dies durch eine 7%ige Goldhypothekenanleihe (1925–1929) des Kalisyndikats von einem Bankenkonsortium, geführt

Tabelle 6: Schwerpunktsverschiebung der Kaliproduktion innerhalb der deutschen Kalireviere

Gebiet	Anteil der Kaliproduktion in den einzelnen Jahren		
	1922	1930	1938
Staßfurt	20,1	14,8	9,0
Hannover	28,3	21,9	20,0
Saale-Unstrut	9,4	5,1	5,6
Südharz	22,0	20,5	21,7
Werra-Fulda	20,2	35,5	41,5
Mecklenburg	-	-	-
Baden	-	2,2	2,2

Tabelle 7: Absatzanteile der sechs Kalikonzerne 1938

Konzern	Absatzanteile in Prozent
Wintershall AG in Kassel	41,0
Vereinigte Salzwerke Salzdetfurth AG in Berlin	24,5
Burbach-Kaliwerke AG in Magdeburg	14,7
Preußag in Berlin	13,0
Kali-Chemie AG in Berlin	4,4
Deutsche Solvaywerke AG in Bernburg	2,4

vom Londoner Bankhaus J. H. SCHRODER u. Co., aufgelegt in Europa und den USA [13]. Finanziert wurde u. a. auch die große Fabrik in Merkers.

Der internationale Konkurrenzkampf entschärfte sich durch den „Deutsch-Französischen Kalivertrag", unterzeichnet am 29.12.1926 in Paris. Zu diesem Vertrag schrieb H. ROSTERG, Sohn des Generaldirektors der Wintershall AG A. ROSTERG u. a. in seiner Dissertationsschrift [14]: „Weit größer als die wirtschaftliche Bedeutung ist seine politische. Denn erst durch ihre politischen Auswirkungen geht die industrielle Vereinigung über das Interesse der Vertragspartner hinaus und nimmt völkerrechtlichen Charakter an". Nachdem durch den Kalivertrag der erste Schritt zur deutsch-französischen Verflechtung getan war, folgte – auch 1926 – der sog. „Eisenpakt" der Schwerindustrie. H. ROSTERG bezeichnete diese Geschehnisse „als einen Schritt zu dem großen napoleonischen Ziele der Vereinigten Staaten von Europa".

Weitere Länder nahmen in dieser Zeit die Kaliproduktion auf wie Polen 1922 und Spanien 1925, die beide später dem deutsch-französischen Kartell-

vertrag beitraten. Die 1930 und 1937 am Toten Meer errichteten Fabriken der Palestine Potash Company produzierten 1938 ~25 kt K_2O an Kalidüngemitteln, eine bescheidene Menge gegenüber der heutigen Produktion, sie waren aber im 2. Weltkrieg die einzige Versorgungsquelle des britischen Empire für Kali. Die United States Potash Company baute als erstes Unternehmen Nordamerikas bei Carlsbad, New Mexico, bergmännisch Kalisalze ab, und die Sowjetunion begann 1933 an der oberen Kama mit der Kalisalzproduktion.

2.5 Die Kaliindustrie in der Zeit des Nationalsozialismus

Schon in der Weimarer Republik nahmen führende Vertreter der Kaliindustrie politisch verantwortliche Positionen ein. Genannt seien hier J. CURTIUS, Jurist, 1925–1928 Aufsichtsratsmitglied des Kalisyndikats, 1928 der Kaliindustrie AG (Wintershall), 1929 Reichswirtschafts- und 1929–1932 Reichsaußenminister; Dr. Drs. h. c. H. KÖHLER, 1920–1927 badischer Finanzminister bzw. Staatspräsident, 1927–1928 Reichsfinanzminister, Aufsichtsratsmitglied des Burbach-Konzerns und Dr. W. MAYER, 1920–1923 Aufsichtsratsmitglied der Kaliindustrie AG und des Kalisyndikats, 1921 Reichsschatzminister und 1922–1923 deutscher Botschafter in Paris [15].

In die zweite Hälfte der 20er Jahre gehören die ersten Kontakte zur NSDAP und die gezielte Platzierung von Konzernmitgliedern bei den territorialen Wahlen. 1929 gewährte der Wintershall-Konzern dem Land Thüringen ein Darlehen von 3,5 Mio RM, das nach den Landtagswahlen die Regierung des Nationalsozialisten FRICK übernahm. Am 01.12.1929 erhielten der Aufsichtsratsvorsitzende der Wintershall AG J. SCHMIDT, Hannover, und der Generaldirektor A. ROSTERG 2 Mio RM jährlich zur selbständigen Verfügung. Aus diesem Dispositionsfonds dürften die Unterstützungen für „Stahlhelm" und NSDAP stammen. HITLER erhielt für die Reichstagswahlen 1933 u. a. 2 Mio RM. Sozialdirektor KRIEGER von der Zentralverwaltung in Kassel erklärte am 24.04.1935 in der Vertrauensratssitzung in Sondershausen: „Die Beiträge, die seit Jahren, auch längst vor der Machtergreifung monatlich an die Partei und die Organisationen gezahlt werden, sollen in Zahlen nicht erwähnt werden" [15].

Seit 1931 engagierten sich Vertreter des Industriezweiges gezielt für die Übernahme der Regierungsgewalt durch die Nationalsozialisten wie A. DIEHN, A. ROSTERG, G. QUANDT.

- DIEHN, August, Dr. jur. h.c. (1874–1942), vom 01.01.1925 bis Januar 1942 Generaldirektor des Deutschen Kalisyndikats, u. a. Vorsitzender des Kolonialwirtschaftlichen Komitees 1930, Mitglied der Gesellschaft zum Studium des Fachismus (Fördereinrichtung für die NSDAP), freundschaftliche Beziehungen zum polnischen Präsidenten PILSUDSKI, dem ungarischen Reichsverweser HORTHY, dem Präsidenten der USA ROOSEVELT, dem Gouverneuer der Bank von England M. NORMAN, Teilnehmer an der Beratung mit HITLER im Industrieklub Düsseldorf 1932, goldenes Parteiabzeichen, Wehrwirtschaftsführer [16].
- ROSTERG, August (1870–1945), ab 1925 Generaldirektor der Kaliindustrie AG, ab 1929 der Wintershall AG, 1931 Mitglied des Aufsichtspräsidiums des Deutschen Kalisyndikats, 1932 Mitglied des Freundeskreises der Wirtschaft, Wehrwirtschaftsführer [17].
- NEUMANN, Erich (1892–?), 1942–1945 Generaldirektor des Deutschen Kalisyndikats, Preußischer Staatsrat, 1941 Generalmajor der Waffen-SS, 1944 SS-Brigadeführer und Generalleutnant der Polizei, 2. Staatssekretär des Beauftragten des Vierjahresplans, Teilnehmer an der Wannsee-Konferenz über die Endlösung der Judenfrage 1942 [18].

Die finanziellen Unterstützungen hielten an bzw. dehnten sich nach 1933 noch aus. Noch 1943 steht ROSTERG an der Spitze einer Liste über finanzielle Beihilfen für „HIMMLERS Sonderaufgaben" mit einem Jahresbeitrag von 100 000 RM [15].

Als „Gegenleistung" erließ die Regierung schon 1933 das neue Kaligesetz, das eindeutig die Interessen der Konzerne stärkte, das „Führerprinzip" durchsetzte und jeglichen demokratischen Einfluß der Werktätigen abschaffte. Der Reichswirtschaftsminister übernahm die Kontrollfunktionen und die Bestätigung von Aufsichtsrats- und Vorstandsvorsitzenden.

Neben der Konsolidierung der Werke in Verbindung mit der weiteren Modernisierung der Anlagen und der Erweiterung der Belegschaften mußte sich die Kaliindustrie durch Preissenkungen (1937) um 20–25%, durch 60%igen Preisverfall auf dem Weltmarkt infolge der zunehmenden Konkur-

renz sowie die Veränderungen der Exportstruktur auf neue Bedingungen einstellen – so lag der Exportanteil bei 55%, reduzierte sich aber nach den USA um mehr als 50% auf ~100 000 t K_2O und steigerte sich in Europa mit Ausnahme Frankreichs. Neue Linien – kriegs- und rüstungsgeprägt – wie Erdöl, Magnesium, Leichtmetall-Legierungen wurden in Angriff genommen.

Schon 1934 begannen die Vorbereitungen für die Nutzung von stillgelegten Unter- und Übertageanlagen als Lagerungs- und Produktionsstätten von Wehrmachtsmunitionsanstalten. Definitiv wurden ab 1936 26 Werke mit 48 Schächten sukzessive bis Kriegsende genutzt. Später, besonders in den letzten Kriegsjahren, erfolgte die Verlagerung von Rüstungsproduktionen in 48 Kali- und Salzbergwerke einschließlich in Wieliczka, Polen. Namen wie JUNKERS, HEINKEL, SIEMENS, BMW, BÜSSING und viele andere erscheinen in der umfangreichen Liste der produzierenden Industrien ebenso wie die V2-Herstellung. Verbunden mit dieser Entwicklung war die Errichtung von KZ-Außenstellen und Zwangsarbeitslagern, aber nicht für diese Betriebe sondern auch für die eigene Produktion. So betrug der Anteil von Kriegsgefangenen und Zwangsarbeitern an der Gesamtbelegschaft der Kaliindustrie 1940 bei 28 219 Mitarbeitern 19,6% und 1943 bei 35 464 Mitarbeitern 31,6% [19].

Schließlich darf die Beteiligung der Kalikonzerne an der Ausbeutung von Bodenschätzen und Industriebetrieben in den okkupierten europäischen Ländern nicht unerwähnt bleiben. Hierzu gehören die Erdölfelder in der Tschechoslowakei und in den Karpaten (Wintershall und Preußag), die elsässische Kaliindustrie (Preußag), Betriebe der französischen chemischen Industrie (Kali Chemie), serbische Erzvorkommen (Preußag und Salzdetfurth) sowie die Kaliproduktion in Galizien, ein Gebiet, in dem seit 1864 mit Unterbrechungen Kalisalze bergmännisch gewonnen und seit 1935 verarbeitet wurden.

Große Bedeutung für das Reich – aber auch in der Nachkriegszeit und zum Teil bis heute – besaß die Einlagerung in Kalibetrieben von Kultur- und Kunstschätzen der Museen und Universitäten, von Archiven und dem aktuellen Schriftgut des Reiches, der Länder, der Wehrmacht und der Konzerne sowie besonders des Staatsschatzes – bestehend aus Gold-, Silber- und Platinbarren, Feingold und Silber, Goldmünzen wichtiger Weltwährungen, musealen Goldstücken und Dukaten sowie 3 Milliarden RM in Papiergeld – mit einem geschätzten Umfang damals von über 655 Mio RM. Am 12.04.1945 besuchte der amerikanische Oberkommandierende D. D. EISENHOWER die Anlage in Merkers und 4 Tage später begann der Abstransport des Reichsbankschatzes.

Abbildung 8: Eingelagerte Schätze im Kaliwerk Merkers 1945 [20]

Die Spuren dieser Wertschätze verlieren sich in Frankfurt (Main). Nachfolgend wurden alle anderen Wertobjekte abtransportiert, einiges – aber lange nicht alles – ist in den Jahrzehnten seither wieder aufgetaucht. Diese Aussagen gelten auch weitgehend für die anderen Einlagerungen in Kalibetrieben.

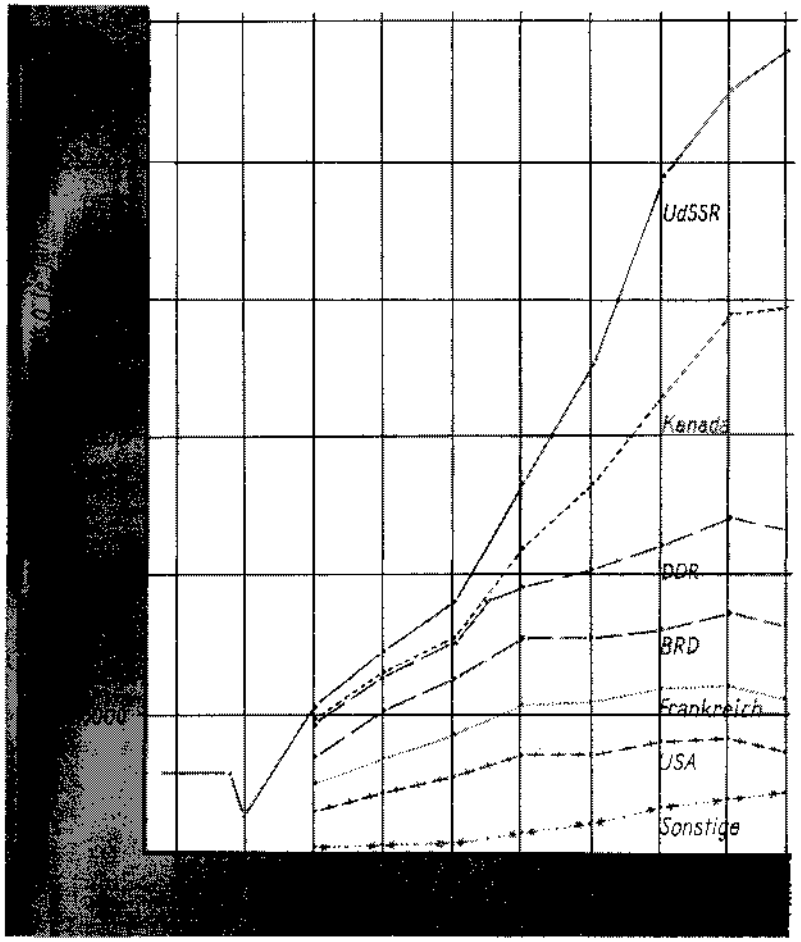
2.6 Die Entwicklung der Kalireviere nach dem 2. Weltkrieg

Die mit Beendigung des 2. Weltkrieges eingetretenen weltweiten politischen Veränderungen besaßen eine entscheidende Bedeutung für die Kalisalzgewinnung. Die europäische Kaliindustrie in Deutschland, Frankreich und der UdSSR erzeugten nur einen Bruchteil ihrer Vorkriegsmengen. Die Weltproduktion sank von ~3 Mio t K_2O (1938), mit 55%igem deutschen Anteil, auf 1,2 Mio t K_2O (1945), von denen über 2/3 auf die USA entfielen. Den sich anschließenden steilen Produktionsanstieg auf ~5,2 Mio t K_2O (1950) und die weitere stürmische Entwicklung demonstriert Abbildung 9.

Zu „sonstige" gehören Israel, Spanien, Großbritannien, Italien, Jordanien und Kongo.

Die hiermit im Zusammenhang stehenden wichtigsten Geschehnisse, insbesondere die ständige Erweiterung der kaliproduzierenden Länder auf Grund der weltweit vorangetriebenen geologischen Erkundung, bevorzugt auf Erdöl und Erdgas – damit in Folge auch auf Mineralsalze – sind in Tabelle 8 zusammengefaßt.

Abbildung 9: Kaliweltproduktion 1950 – 1984 [21]



Besonders bedeutungsvoll waren in diesem Zeitabschnitt

- der Auf- und Ausbau der sowjetischen Kaliindustrie auf der Basis hochwertiger Sylvinit-Lagerstätten in der Belorussischen SSR (Soligorsk I bis IV) mit einem Anteil von etwa 45% der Gesamtproduktion, an der obe-

ren Kama (Solikamsk I bis III) mit etwa 50% und in der Ukrainischen SSR im Revier am Stebnik mit ~5%. Die UdSSR wird in diesem Zeitraum zum größten Produzenten in der Welt und nimmt im Export bei einem Inlandsverbrauch von 70–80% die dritte Stelle ein.

- der Auf- und Abschwung in den USA. Nach der kriegsbeeinflußten Entwicklung in den 40er Jahren und der Erweiterung der produzierenden Gesellschaften in den drei Revieren Carlsbad (New Mexico), Moab (Utah) und Searles Kake (Californien) auf 11 einschließlich der soleverarbeitenden Werke erreichte die Kaliindustrie 1966 mit einer Produktion von über 3 Mio t K_2O ihren Höhepunkt. Der folgende Rückgang wurde durch das Bekanntwerden der kanadischen Vorkommen und den Einstieg amerikanischer Produzenten in Kanada sowie durch die Erschöpfung vor allem der wertvollen Lagerstätten iniziiert.
- der Eintritt der kanadischen Kaliindustrie mit den Revieren Regina (Saskatchewan), Saskatoon (Saskatchewan) und New Brunswick mit allein 10 produzierenden Gesellschaften in Zentralkanada, wobei die staatliche Gesellschaft PCI (Potash Corporation of Saskatchewan) 45% der Gesamtproduktion vereinte. Der erste Schacht in Kanada wurde von der IMC (International Minerals and Chemical Corporation) 1962 fertiggeteuft. Erstmals in der Welt wurde das „solution mining" in großtechnischem Maßstab auf Kalisalze angewendet. Weiterhin verzeichnen wir eine beeindruckende technische Entwicklung von Gewinnungsmaschinen. Kanada wird der größte Exporteur der Welt, Hauptabsatzgebiete sind die USA (45%) und der asiatische Raum.

2.6.1 Was geschah in Deutschland?

Auf Beschluß des Alliierten Kontrollrats wurde im Mai 1945 das Kalisyndikat aufgelöst. 60% der ehemaligen Produktionskapazität lagen nunmehr im der sowjetischen Besatzungszone, 40% in den drei Westzonen. Die politische Entwicklung hatte zur Folge, dass 80% des Betriebsvermögens der Wintershall AG und 44% der Salzdetfurth AG zunächst in sowjetische Verwaltung übergingen. Besonders einschneidend war die Trennung des Wirtschaftsraums im Werra-Fulda-Gebiet.

Tabelle 8: Entwicklung der Kaliweltproduktion im Zeitraum von 1950 – 1985 [21]

Jahr	Entwicklungsetappen
1950	Der Vorkriegsstand ist in der Kali-Weltproduktion bereits um 84% überboten.
1955	Israel nimmt am Toten Meer die Kaliproduktion in geringem Maße auf, steigert aber bis 1984 zu einer Jahresproduktion von 1 000 000 t K_2O
1955	Die Kali-Weltproduktion wird zu 87% von den USA, der BRD, DDR und Frankreich gebracht
1959	Italien beginnt mit der Kaliproduktion, die aber gegenüber den meisten anderen Ländern gering bleibt
1963	Die Sowjetunion nimmt mit Soligorsk I (Belorussische SSR) ihr erstes großes Kaliwerk außerhalb des Gebietes an der oberen Kama in Betrieb
1963	Die Kaliproduktion in der Welt überschreitet die Grenze von 10 Mio t K_2O im Jahr
1965	Kanada gehört nach seiner Produktionsaufnahme im Jahre 1962 zu den sechs großen Kaliproduzenten der Welt und besitzt in Saskatchewan die reichhaltigsten aller Kalisalzlagerstätten
1966	Die USA erreichen den Höhepunkt ihrer Kaliproduktion mit 3 012 000 t K_2O je Jahr. Danach reduzieren sie ständig (1983: 1 423 000 t K_2O)
1968	Die Kali-Weltproduktion überschreitet die Grenze von 15 Mio t K_2O im Jahr. Die Sowjetunion liegt seither an der Spitze aller Kaliländer
1969	Die Volksrepublik Kongo nimmt als erstes afrikanisches Land die Kaliproduktion in der Nähe der Maycombe-Berge auf. Ihre einzige Grube fällt aber am 22. 06. 1977 einem Wassereinbruch zum Opfer
1973	Am 23. 06. nimmt die DDR im Kalibetrieb Zielitz, ihrem modernsten und leistungsfähigsten Kaliwerk, die planmäßige Produktion auf
1973	Die Kali- Weltproduktion überschreitet die Grenze von 20 Mio t K_2O im Jahr
1973	Die BRD setzt als erstes Land in der Welt die elektrostatische Abscheidung als drittes wichtiges Aufbereitungsverfahren für Kalirohsalze ein
1974	Großbritannien nimmt die Kaliproduktion auf, die aber in der Folgezeit hinter den Erwartungen zurückbleibt
1975	Die UdSSR und Kanada liefern 55% der Kali-Weltproduktion, 1984 sogar 59%
1977	Die Kaliproduktion in der Welt überschreitet die Grenze von 25 Mio t K_2O im Jahr
1979	Frankreich hat mit 1 934 000 t K_2O je Jahr den bisherigen Höhepunkt seiner Kaliproduktion erreicht
1982	Jordanien nimmt, ähnlich wie Israel, seine Kaliproduktion am Toten Meer auf
1984	Kanada nimmt seine Kaliproduktion in New Brunswick auf
1985	Brasilien gehört als erstes südamerikanisches Land zu den Kaliproduzenten, wird aber seinen Eigenbedarf an Kalidüngemitteln vorerst nur in geringem Maße durch seine Inlandproduktion decken können

2.6.1.1 Zur Kaliindustrie der DDR

Die sowjetische Regierung übernahm die direkte Verantwortung für die Kaliwerke ihrer Besatzungszone, ordnete die Bildung der Deutschen Düngerzentrale an, an die alle Werke ab 01.07.1946 ihre produzierten Salze zu verkaufen hatten und gründete am 01.09.1946 die Sowjetische Aktiengesellschaft für Kalidüngemittel in Deutschland mit Sitz in Erfurt. Erste Rückführungen in deutsches Volkseigentum begannen 1947 (vgl. Tabelle 9).

Im Mai 1952 waren alle SAG-Betriebe an die DDR übergeben worden, und mit Wirkung vom 01.10.1952 unterstanden die Werke der Hauptverwaltung Kali und Nichterzbergbau in Berlin. Wurde auf dem Gebiet der späteren DDR 1944 eine Kaliproduktion von fast 900 000 t K_2O realisiert, waren es 1945 in 14 Werken nur 200 000 t K_2O. 1949 konnte infolge des Wiederaufbaus die 1 Mio t K_2O-Grenze überschritten werden und damit auch das höchste Vorkriegsergebnis. Mitte der 50er Jahre förderten die 29 Schachtanlagen der 6 Werke des Südharzreviers, der 3 Werke des Werra-Reviers, die 2 Werke des Nordharz-Reviers und die 4 Werke des Saale-Reviers ~15 Mio t Rohsalze und produzierten 1955 1426 000 t K_2O an Fertigprodukten.

Tabelle 9: Zuordnung der Kaliwerke zu den drei sowjetischen Aktiengesellschaften und der VVB Kali und Salze

VVB Kali und Salze
Schierstedt (Preußische Bergwerks- und Hütten AG)
Staßfurt (Preußische Bergwerks- und Hütten AG)
Sondershausen (Wintershall AG)
Teutschenthal (Burbach-Kaliwerke AG)
Roßleben (Vereinigte Kaliwerke Salzdetfurth AG)
Bernburg-Gröna (Wintershall AG)
Solvayhall (Deutsche Solvay-Werke AG, Treuhandbetrieb)

Staatliche AG für Kalidüngemittel „Kainit"
Bleicherode (Preußische Bergwerks- und Hütten AG)
Sachsen-Weimar, Unterbreizbach (Wintershall AG)
Sollstedt (Vereinigte Kaliwerke Salzdetfurth AG)
Staatliche AG für Kalidüngemittel „Kali"
Heiligenroda, Dorndorf (Wintershall AG)
Kaiseroda, Merkers (Wintershall AG)

Staatliche AG für Kalidüngemittel „Sylvinit"
Bismarckshall, Bischofferode (Wintershall AG)
Volkenroda (Burbach-Kaliwerke AG)

Am 01.04.1958 wurde die Vereinigung Volkseigener Betrieb Kali (VVB Kali) mit Sitz in Erfurt mit 12 Kaliwerken, zu denen 21 fördernde Schächte gehörten, gegründet. Am 01.01.1970 erfolgte die Bildung des VEB Kombinat Kali mit Sitz in Sondershausen und den folgenden Betrieben:

Tabelle 10: Betriebe des VEB Kombinat Kali

VEB Kalibetrieb „Südharz"
VEB Kalibetrieb „Werra"
VEB Kalibetrieb „Ernst Schneller" Zielitz
VEB Kali- und Steinsalzbetrieb „Saale"
VEB Fluß- und Schwerspatbetrieb
VEB Bergwerksmaschinen Dietlas
VE Außenhandelsbetrieb „Kali-Bergbau"

Rationalisierungsmaßnahmen führten auf Grund der Erschöpfung der Vorräte zur Stillegung der letzten drei Werke in der Nordharz-Saale-Region. Bernburg wurde auf die ausschließliche Produktion von Natriumchlorid umgestellt. Nach zahlreichen Erkundungsbohrungen und Vorbereitungen wurde am 16.08. 1963 vom Ministerrat der „Aufbau Kaliwerk Zielitz" beschlossen und am 23.06.1973 nach mehrjähriger provisorischer Förderung die planmäßige Produktion aufgenommen. Schon von 1889–1898 gab es Tiefbohrungen bei Vahlsdorf. Der Aufbau einer Schachtanlage wurde bei einer Endteufe von 752 m abgeschlossen, die Förderung lief mit Unterbrechungen bis 1921. 1908 wurde in Zielitz die Gewerkschaft „Moltkeshall" gegründet, das Anlegen der Schächte jedoch 1913 abgebrochen. Das neue Werk war entscheidend an der Steigerung der Kaliproduktion beteiligt, die 1985 3 465 000 t K_2O erreichte, bei einem zeitweiligen Exportanteil von über 80%.

2.6.1.2 Zur Kaliindustrie der BR Deutschland

Nach Kriegsende 1945 bestanden in den drei westlichen Besatzungszonen 10 produzierende Werke, 7 im Revier Hannover, 2 im hessischen Teil des Werra-Reviers und das Werk Buggingen in Baden. In den Folgejahren wurden frühere Werke und Schächte in Betrieb genommen wie: 1949 Siegmundshall/Weser; 1950 Riedel, Herfa-Neurode; Königshall-Hindenburg; 1951 Hildesia-Mathildenhall; 1954 Neuhof-Ellers und 1964 Adolfsglück-Hope. Die ersten zehn Jahre nach dem Krieg dienten dem Auf- und Ausbau der Werke unter Einsatz beachtlicher finanzieller Mittel einschließlich amerikanischer Kredite. Die Produktion stieg von 307 000 t K_2O (1946) auf 1 350 000 t K_2O (1954). Sie war bis Mitte der 60er Jahre mit >20% an der Weltproduktion beteiligt bei einem Exportanteil von ~40%. Der Zeitraum von 1966–1977 weist nur geringe Zunahmen aus. Der Abschnitt war geprägt durch einen Preisverfall von >50%, einer extremen Steigerung der Frachtpreise und dem Verfall des Dollars von 3,56 DM (1970) auf 1,81 DM (1980); auch der Inlandsbedarf stagnierte. Für Rationalisierung und Umweltauflagen wurden ~500 Mio DM investiert. Die Leistungen der Gruben stiegen im Werra-Fulda-Gebiet von 3000 t (1960) auf 11 000 t (1977) je Mann und Jahr. Diese Entwicklungen setzten sich einschließlich der Belegschaftsreduzierungen und der Schließung von Werken in den 80er Jahren fort. 1990 waren an 9 Produktionsorten noch 7280 Mitarbeiter beschäftigt. Der Anteil an der Weltproduktion betrug Ende der 80er Jahre ~7,3% und konnte unter den gegebenen Bedingungen nur durch die Einführung neuer Technologien, Apparate und Anlagen bei einem Investaufwand von >2,2 Mrd DM gehalten werden. Die Konzentrationsvorgänge werden an den folgenden Fakten deutlich:

- 1955 Organschaftsvertrag Wintershall AG und Burbach-Konzern
- 1965 Übernahme des Kuxenanteils der Preußag an den Gewerkschaften Baden und Markgräfler, später des Anteils des badischen Fiskus durch die Wintershall AG, die damit mehr als die Hälfte der BRD-Erzeugung in der Hand hält
- 1969 95%ige Beteiligung der BASF an der Wintershall AG, Wintershall besitzt 43% der Aktien der Salzdetfurth AG
- 1970 Zusammenschluß der Wintershall AG und der Salzdetfurth AG zur Kali und Salz GmbH, Sitz Kassel, mit einem Anteil von 88% der bundesdeutschen Kalierzeugung
- 1971 Umbenennung in Kali und Salz AG

Die übrige Produktion stammte aus den Werken Friedrichshall und Ronnenberg der Kali-Chemie AG, bei der die Deutsche-Solvay-Werke GmbH die Aktienmehrheit besaß [22].

Wie sich solche Veränderungen auf die Besitzverhältnisse eines Werkes auswirkten, zeigt die nächste Tabelle am Beispiel des Kaliwerkes Sigmundshall.

2. Das bunte, bittere Salz – heute

Kali- und Salzvorkommen gibt es weltweit, die Mengen und ihre Verteilung schließen eine strategische Bedeutung weitgehend aus [24]. Die geologischen Vorräte werden auf über 21 Mrd t K_2O und die gewinnbaren Vorräte auf über 10 Mrd t K_2O geschätzt. Heute werden unseres Wissens 50–60 Produktionsstätten auf drei Kontinenten betrieben. Die Weltproduktion erreichte 1988 ihren Höhepunkt, fiel bis 1993 stark ab und stabilisierte sich in den letzten vier Jahren bei 25–26 Mio t K_2O. Dabei entfallen 1/3 auf Kanada, 23% auf die GUS-Staaten und 14% auf Deutschland. An den Zahlen werden die Auswirkungen der politischen und wirtschaftlichen Transformationsprozesse Osteuropas, der EU-Landwirtschaftspolitik sowie die finanzielle Lage der großen asiatischen Märkte Indien und China deutlich. Verschärft wurde die Situation durch das Auseinanderklaffen von Kapazitäten und Produktion.

Natriumchlorid läuft recht stabil, da sich die Chlordiskussion etwas entspannt hat. Problematischer zeigt sich die Sodaherstellung, da die Natursoda heute in der Welt 1/3 des Marktes (USA) besetzt. Zu Deutschland sei ergänzt:

Nach der Liquidierung des VEB Kombinat Kali 1990 vereinigten sich die ehemaligen DDR-Werke mit beachtlichen Querelen (z. B. Zielitz) bis 1993 in der Mitteldeutschen Kali AG, die im gleichen Jahr mit der Kali und Salz GmbH fusionierte. Nach umfangreichen Rationalisierungsmaßnahmen und Kapazitätsanpassungen existieren nunmehr 6 Kaliwerke, unter denen Zielitz mit einer Förderung von über 10 Mio t Rohsalzen und einer Produktion von über 1,4 Mio t K_2O Fertigprodukten einen führenden Platz einnimmt. Das Werra-Fulda-Gebiet umfaßt ~1000 km^2. Gewonnen werden etwa 21 Mio t Rohsalze aus 500–1100 m Tiefe. 1100 Fahrzeuge bewegen sich unter Tage u. a. auf 600 km befahrbaren Strecken, dazu kommen über 150 km Bandanlagen. Je Mann und Schicht werden an die 220 t über die Bänder gefördert. Als Ergebnis resultieren ~3,5 Mio t Fertigprodukte.

Tabelle 11: Besitzverhältnisse des Kaliwerkes Sigmundshall westlich von Hannover (Salzstock von Bokeloh) [23]

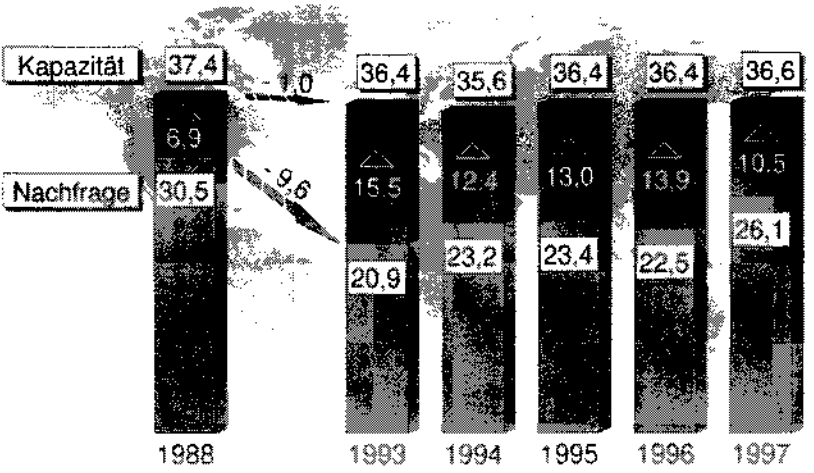
1898	Gewerkschaft Mathias erwirbt das Bergwerkseigentum
1902	Alkaliwerke Sigmundshall Aktiengesellschaft übernimmt den Vermögensbestand der Gewerkschaft Mathias
1907	Sigmundshall AG erwirbt 4000 der 5000 Kuxen der Gewerkschaft Weser. Von diesem Zeitpunkt an werden die Schächte Sigmundshall und Weser stets gemeinsam genannt
1922	Mit Wirkung zum 1. Januar geht das Gesamtvermögen der Alkaliwerke Sigmundshall AG in den Besitz der Consolidirten Alkaliwerke Westeregeln über
1937	Zusammenschluß der drei Gesellschaften Kaliwerke Salzdetfurth AG, Kaliwerk Aschersleben AG und der AG Consolidirte Alkaliwerke Westeregeln zur Vereinigten Kaliwerke Salzdetfurth AG mit Sitz in Berlin. Die Betriebsanlagen zur Kaligewinnung werden in der neuen Gesellschaft Vereinigte Kaliwerke Salzdetfurth AG zusammengefaßt
1970	Zusammenschluß der Kalibergwerke der Wintershall AG und der Vereinigte Kaliwerke Salzdetfurth AG zur Kali und Salz GmbH mit Sitz in Kassel
1971	Umwandlung der Kali und Salz GmbH in Kali und Salz AG mit Sitz in Kassel
1972	Umwandlung der Kali und Salz AG auf Salzdetfurth AG. Anschließend Umbenennung in Kali und Salz AG
1993	Fusion der Mitteldeutschen Kali AG und der Kali und Salz AG zur Kali und Salz GmbH mit Sitz in Sondershausen. Umbenennung der Kali und Salz AG in Kali und Salz Beteiligungs AG

1998 erwarb die Kali und Salz Beteiligungs AG die 49% Anteile der ehemaligen Treuhandanstalt und besaß damit 100% der Anteile der Kali und Salz GmbH. Die BASF war übrigens immer stärker aus der Gesellschaft ausgestiegen, ihr Aktienanteil betrug Ende 1998 wenig mehr als 25%. Im gleichen Jahr wurde nach längerem Zeitraum wieder eine Dividende ausgeschüttet, die sich 1999 in der nunmehr Kali und Salz AG um über 58% steigerte. Der Umsatz wuchs von 1997–1999 von 2,1738 Mrd DM auf 2,331 Mrd DM, wovon etwa 80% auf die Kali- und Verbundprodukte entfielen. Besonders hervorzuheben ist der Anteil an sulfatischen Salzen. Auf diesem Sektor ist Deutschland mit einer Produktion von über 1 Mio t führend in der Welt.

Die Zahl der Mitarbeiter bewegt sich jetzt um 9150 (1999 = 9176), die Produktion um 3,6 Mio t K_2O. Damit liegen beide Werte über den geschätzten für das Jahr 2000.

Von der Förderung werden ~25% Finalprodukte erhalten, davon 48% Kaliprodukte, 21% Spezialdünger, 15% Natriumchlorid, 11% Industriepro-

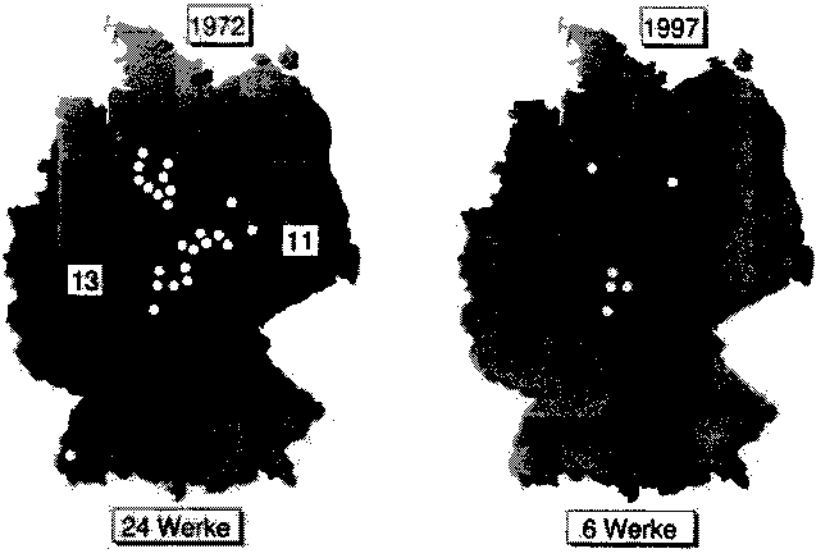
Abbildung 10: Weltkapazität und Nachfrage (Mio t K_2O) [25]



dukte wie Magnesiumsalze und 5% Sonstiges. Der Umsatz im Inland beträgt 31%, in Europa 44% und in Übersee 25% [26]. Zu Natriumchlorid ist zu sagen, dass wesentliche Produzenten außerhalb der Kali-Gruppe bei Solvay mit dem Pipeline-Verbund und dem größten Werk in Borth bei Wesel mit einer Kapazität von ~4 Mio t Salz und Sole bei Wacker in Stetten u. a. liegen, bei einer Gesamtproduktion in Deutschland von ~8 Mio t/Jahr. Das neue Siedesalzwerk in Bernburg (Kapzität 250 000 t/Jahr) brachte eine weitere Anpassung an die variierenden Markverhältnisse und trug maßgeblich zur 14%igen Steigerung des NaCl-Absatzes bei der Kali und Salz AG bei.

Auf eine Technologie sei noch aufmerksam gemacht. Mitte der 70er Jahre begann in der DDR die Entwicklung der Carnallitit-Solung, die 1981 umgesetzt wurde und der sich 1988 die Verarbeitungsanlage anschloß. Das Verfahren läuft in Bleicherode bei der „deusa" stabil und der Betrieb kann heute über 200 000 t Fertigprodukte produzieren. Bedauerlicherweise war der Presse Anfang des Jahres 2001 zu entnehmen, dass der Betrieb nunmehr Insolvenzantrag stellen mußte.

Abbildung 11: Kaliwerke in Deutschland 1972 und 1997



3. Ein Wirtschaftszweig im Spiegel der wissenschaftlich-technischen Entwicklung

Die vergangenen 150 Jahre waren und sind durch epochale Fortschritte der Natur- und Technikwissenschaften gekennzeichnet, die sich in vielfältiger Weise und Verflechtung in der Kaliindustrie wiederfinden, sei es in der geologischen Erkundung und im Beherrschen des Gebirges, im Bergbau einschließlich der Aufbereitung oder in der Chemie und Technologie anorganischer Salze. Maschinenbau und Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik trugen und tragen mit neuen Prinzipien und Methoden zur Entwicklung des Industriezweiges bei, wobei die Spezifika der Salzgewinnung und -verarbeitung die generellen Entwicklungen nicht selten iniziierten bzw. befruchteten.

3.1 Wenige Aussagen zur Untertagetechnik

Um Mineralsalze einer nutzbaren Verwertung und Anwendung zuzuführen, sind sie zunächst vom Gebirge zu trennen und in eine förderfähige Form zu überführen (Gewinnung). Abbau-, Strecken- und Schachtförderung schließen sich an. Zu den speziellen Gegebenheiten des Kalibergbaues gehören [27]

- die besonderen geologischen Verhältnisse der Salzlagerstätten,
- die durch die Wasserlöslichkeit der Salze gegebenen Wassergefahren,
- die durch das Vorkommen von brennbaren Gasen und Kohlendioxid bestehenden Gasgefahren,
- die durch die elastoplastischen Eigenschaften der Salze bedingten Gebirgsdruckerscheinungen,
- die mit zunehmender Teufe verhältnismäßig stark ansteigenden Gebirgstemperaturen.

In Deutschland wurden 239 Kalischächte niedergebracht, außerdem wurden 41 Schächte vor Erreichen der Endteufe aufgegeben. Als Teufmethoden registrieren wir den Senkschacht, das Zementierverfahren, das Abbohren nach KIND-CHAUDRON und das Gefrierverfahren nach POETSCH. Die ersten Kalischächte waren traditionsgemäß in Holz ausgebaut, später folgten Mauerung, englische und deutsche Tübbings und Stahlbeton (Zielitz). Der Abbau des Salzes vollzog sich in Kammern durch Sprengarbeit, wobei Pfeiler bis zu einer Breite von 10–15 m (Werra) stehenblieben. Weitere Entwicklungen führten zu Großkammer- und Schwebenstrossenbau sowie in flachen Strecken zum „room-pilar"-Verfahren. Einige markante Daten mögen die technische Entwicklung im Bergbau skizzieren (Tabelle 12).

Bestimmen bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts im wesentlichen deutsche Verfahren, Apparate und Anlagen das Geschehen im Kalibergbau, so wandelte sich diese Situation gravierend in den folgenden Jahrzehnten, besonders nach dem 2. Weltkrieg. In den USA ersetzten Sprenglochbohrwagen, Schrämmaschinen, bewegliche Lademaschinen und Pendelwagen die Schrapper und Gurtbandförderer [29]. Es erfolgte eine Umstellung von Langpfeilern auf quadratische Pfeiler bei versatzlosem Abbau, womit die Beweglichkeit der fahrbaren Maschinen wesentlich erhöht wurde. Der Einsatz von Teilschnittmaschinen (Raupenfahrzeuge mit elektrisch angetriebenen schwenkbaren Schneidauslegern) bewährte sich für die chloridischen Salze. Im Hart-

salz reduzierten sich jedoch die Leistungen. Einen starken Eingang der amerikanischen Technik finden wir im hessischen Kalibergbau, der ähnliche Lagerverhältnisse wie in New-Mexiko aufweist – flachwellig, geringe Mächtigkeit, standhaftes Gebirge. Zechsteinsalze lassen sich nur unter höherem Energieeinsatz schneiden. Mitte der 60er bis 70er Jahre erfolgte die Einführung der LHD-Technik (Load, Haul and Dump) zunächst mit Diesel- dann mit Elektroantrieb. Vollautomatische Bandanlagen von 50 km Länge gehörten zur Normalität. Ähnliche Entwicklungen kennzeichneten zu dieser Zeit die technischen Fortschritte in der UdSSR. Der deutsche Anteil ist bei der Bohrtechnik am deutlichsten ausgewiesen, da die Salzhärte und damit die Sprengarbeit im hiesigen Kalibergbau die umfangreichste in der Welt ist. Heute arbeiten Bohrwagen mit elektrischem oder Diesel-Antrieb, teilautomatisiert sowie mit Fernsteuerung, mit Lafetten z. B. von 7 m Nutzlänge, Luft-, Wasser-Spülung und Bohrgeschwindigkeiten von z. B. 15m/min sowie Firstankerbohrwagen und Großlochbohrgeräte.

Tabelle 12: Ausgewählte Verfahren, Maschinen und Ausrüstungen im Kalibergbau [28]

1861	Bohren mit Meißelbohrer und Feustel, Sprengen mit Schwarzpulver, Abbauförderung mit Hand, Streckenförderung mit Pferden, Wagenförderung mit Fördergestellen und Dampffördermaschinen
1869	Handbohrmaschinen
1877	Koepe-Treibscheiben-Fördermaschine
1883	Streckenförderung mit Elektroloks
1884	Bremsbergförderung mit elektrisch angetriebenen Haspeln
1893	Säulendrehbohrmaschinen
ab 1895	Einsatz brisanter Chlorat- und Ammoniumnitrat-Sprengstoffe
1898	Erste elektrisch angetriebene Blindschacht-Fördermaschine
1912	Vollschnittgewinnungsmaschine „Eiserner Bergmann“
1915	Erste Gefäßförderanlage
ab 1917	Sprengen mit flüssigem Sauerstoff auf Kohlenstoffträgern
1920/22	Säulendrehbohrmaschine, Abbau und Streckenförderung mit Schüttelrutschen, Ketten- und Seilbahnen

1927	Abbauförderung mit Schrappern
ab 1935	Kettenschrämmaschine (USA)
1951	Sprenglochbohrwagen (USA)
1954	Vierseilförderanlage
1955	Abbauförderung mit Lademaschinen und Bunkerpendelwagen
1956	Continuous Miner (Gewinnungsmaschine USA)
1957	Großlochbohrwagen (BR Deutschland)
ab 1962	Unpatronierter Sprengstoff (ANC)
ab 1964	Abbauförderung mit Lademaschinen, Kipplastern und Ladetransportmaschinen
ab 1965	Starke Entwicklung von Teil-, Vollschnittgewinnungsmaschinen und Walzenschrämmladern (USA, UdSSR, BRD, DDR)
ab 1970	Achtseilförderanlagen (BRD, DDR)
ab 1980	Zunehmender Einsatz von Prozeßrechnern und Mikroprozessoren, Automatisierung von Gewinnungs- und Förderaggregaten

All diese Maßnahmen führten zur Vervielfachung der Grubenleistungen bezogen auf den Mann und damit zu einer starken Reduzierung der Belegschaften.

Auf die komplexe und komplizierte Wasser- und Gasproblematik mit ihren katastrophalen Auswirkungen kann hier nur noch einmal verwiesen werden, beeinflußte diese naturgemäß das Geschehen unter Tage und damit auch Technologie und Technik entscheidend.

Die Löslichkeiten der Mineralsalze in Wasser drängen die Frage einer solenden Gewinnung auf – vor über 2000 Jahren in China und heute in erheblichem Umfang bei der NaCl-Gewinnung genutzt. Erste Anlagen wurden nach 1960 im Kalibergbau Kanadas in Betrieb genommen, da sich hier die Lagerstätten in Teufen von 900 bis 2000 m erstrecken und unter den gegebenen Bedingungen (Sylvinit, mächtige und gleichmäßig ausgebildete Lagerstätten) die Solung dem konventionellen Bergbau überlegen zeigt.

In der DDR wurde das Verfahren für die Solung des wesentlich komplizierter zusammengesetzten Carnallitit entwickelt und als großtechnische Versuchsanlage bei Bleicherode betrieben (siehe 2.6).

Wie schon dargelegt, nutzen Länder mit entsprechendem Klima die Gesetzmäßigkeiten der solaren Eindunstung des Meerwassers oder natürlicher Salzsolen zur Gewinnung von Natriumchlorid und Kalisalzen. Eine schematische Darstellung dieser Methode zeigt Abbildung 12.

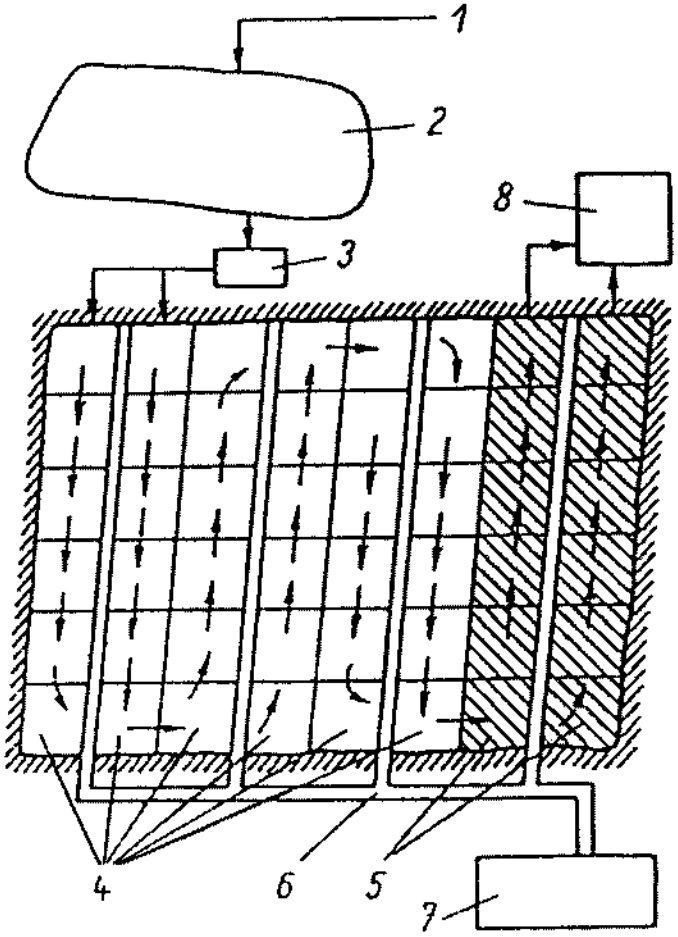
3.2 Zur Verarbeitung der Kalirohsalze

Die komplexe Aufarbeitung von Kalirohsalzen führt entsprechend der folgenden Übersicht zu Kaliumchlorid, Kieserit, Brom und Magnesiumchlorid-Lösung. Das breite Anwendungsspektrum dieser Primärprodukte verdeutlicht die wirtschaftliche Stellung der Kalisalzlagerstätten.
Die klassischen chemischen Verfahren zur Gewinnung der Wertstoffe sind durch Löse- und Kristallisationsprozesse – basierend auf den thermodynamischen und kinetischen Kenntnissen des quinären bzw. hexären Systems der ozeanischen Salze und ihrer niedrigeren Systeme sowie der Phasenübergänge fest-flüssig und flüssig-fest bestimmt [30]. Die folgende Abbildung 14 zeigt als Beispiel das Verarbeitungsschema für die Sylvinitverarbeitung.

Die Carnallititverarbeitung erfordert den Einbau der heißen oder kalten Zersetzung des inkongruent löslichen Doppelsalzes, wie auch die Hartsalzverarbeitung charakteristische Besonderheiten bedingt. Blieb das Grundprinzip des Löseprozesses bis heute erhalten, veränderten sich Apparate und Anlagen entscheidend. Schneckenlöser ersetzten die traditionellen, meist zylindrischen Lösekessel, Klärapparate (Dorr) und Vakuumtrommelzellenfilter lösten die Klärkästen ab und mehrstufige Vakuumkristallisationsanlagen verdrängten die großflächigen Kristallisierräume mit ihren zahlreichen Kästen unterschiedlicher Größe. Den „THELENschen" Trockenapparat (Hohlpfannen aus Gußeisen auf Mauersteinpfeilern) wird man heute vergebens suchen. Konvektionstrockner wie Trommel-, Wirbelschicht- und Fließbetttrockner bestimmen das Bild der Trockenstationen, denen sich Granulationseinrichtungen anschließen können.

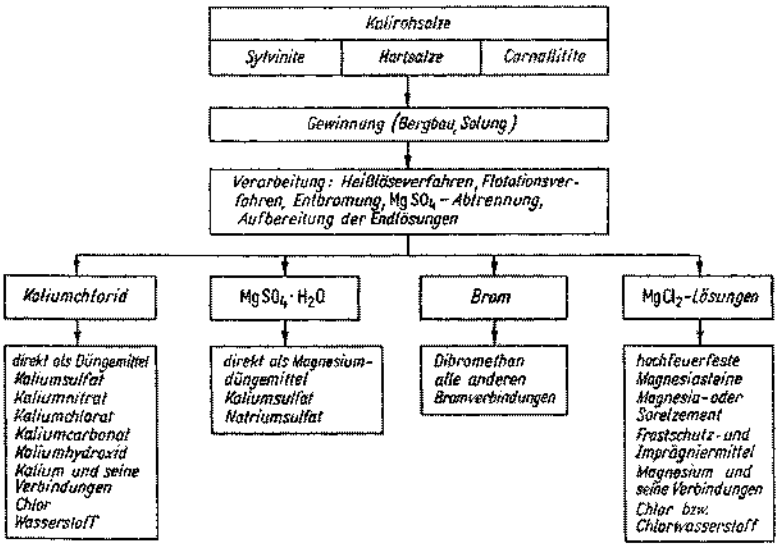
Bestimmten bis zum 2. Weltkrieg die „deutschen" Löseverfahren die Rohsalzverarbeitung, gewann ab den 50er Jahren die Salzflotation entscheidenden Boden. Mit ihr werden heute mehr als 2/3 der Weltproduktion an Kalisalzen hergestellt. Die Flotation leichtlöslicher Salze ist erst seit 70 Jahren bekannt. 1935 wurden die ersten Patente in den USA auf der Basis der Ar-

Abbildung 12: Schema zur Gewinnung von Mineralsalzen aus Meerwasser bzw. natürlichen Salzsolen durch solare Eindunstung [30]



1 Sole- bzw. Meerwasserzufluß
2 Vorkonzentrationsteich
3 Pumpstation
4 Ernteteiche für NaCl
5 Ernteteiche für Kalisalze
6 Erntestraßen
7 Verarbeitungsanlage
8 Lösungsspeicher

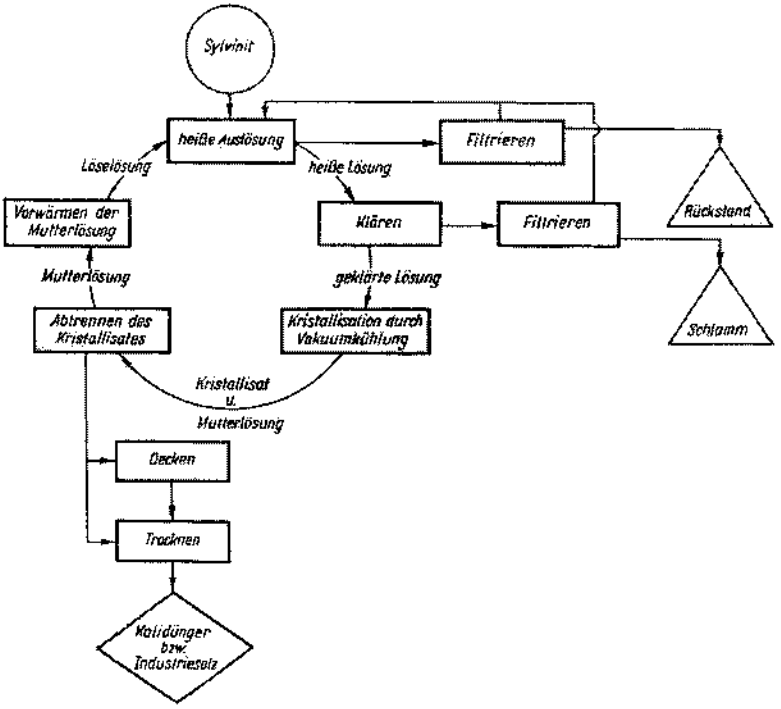
Abbildung 13: Produkte der Kalirohsalzverarbeitung und Folgeprodukte



beiten im Kalirevier Carlsbad erteilt. 1940 nahm die IMC eine Flotationsfabrik in diesem Revier in Betrieb, weitere folgten 1952 an verschiedenen Plätzen in den USA. In der Folgezeit (1953 BRD, 1961 DDR) zieht diese Technologie auch in Europas Kaliindustrie ein. In den Kalikombinaten der UdSSR erfolgt die Aufarbeitung zum größten Teil in mehrstufigen, im Land entwickelten Flotationsanlagen und Technologien. In Kanada wird ausschließlich – neben der solenden Gewinnung – die Sylvinitflotation angewendet. Die Kaliindustrien weiterer Länder wie Frankreich und Spanien schlossen sich dieser Entwicklung an. Die Grobkornflotation (Korngröße >2 mm) sowie spezielle Anwendungen wie die Rückstandsflotation erweiterten den Einsatz dieser Technologie und erhöhten Größe und Durchsatz der Flotationszellen. Die folgende Abbildung 15 zeigt das Prinzip der Rohsalzflotation.

Jüngstes Glied in der Kette der Aufarbeitungsverfahren ist die elektrostatische Aufbereitung von Kalirohsalzen (ESTA), die auf der gegenseitigen berührungselektrischen Aufladung der Salzkomponenten und ihrer Trennung in Band- oder Röhrenfreifallscheidern beruht. Nach dem Bekanntwerden der

Abbildung 14: Verarbeitungsschema zur lösetechnischen Sylvinitaufarbeitung



1951 erteilten IMCC (International Minerals and Chemical Corporation)-Patente – das amerikanische Verfahren war übrigens nur kurz in Betrieb – begann 1953 die Entwicklung in der Forschung der Kali und Salz AG und führte 1973 zu einer ersten Produktionsanlage zur Erzeugung von Kieserit im Werk Neuhof-Ellers mit einem Durchsatz von 100 t/h. Ab 1976 erfolgte der Aufbau weiterer Anlagen im Werk Wintershall, nachdem mit dem Einsatz von Fließbettaufwärmern für die elektrostatische Aufladung und dem Röhrenfreifallscheider als Trenngerät ein entscheidender Fortschritt gelang. Zwischen den beiden Rohrreihen des Freifallscheiders liegt eine Spannung von 120 kV an, die Stromstärke ist mit ~2 mA sehr gering, die Leistung eines Gerätes beträgt z. B. 30 t/mh. Die folgende Abbildung 16 zeigt das Schema der ESTA-Anlage des Wintershallers Werkes.

Abbildung 15: Prinzip der Rohsalzflotation

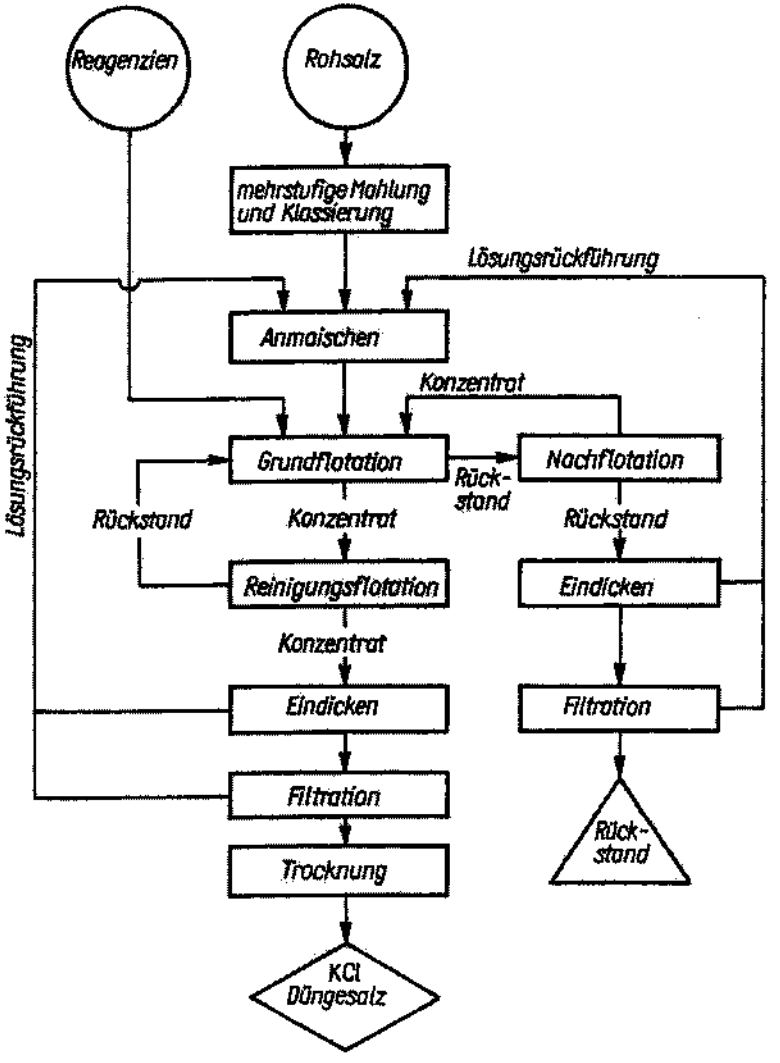
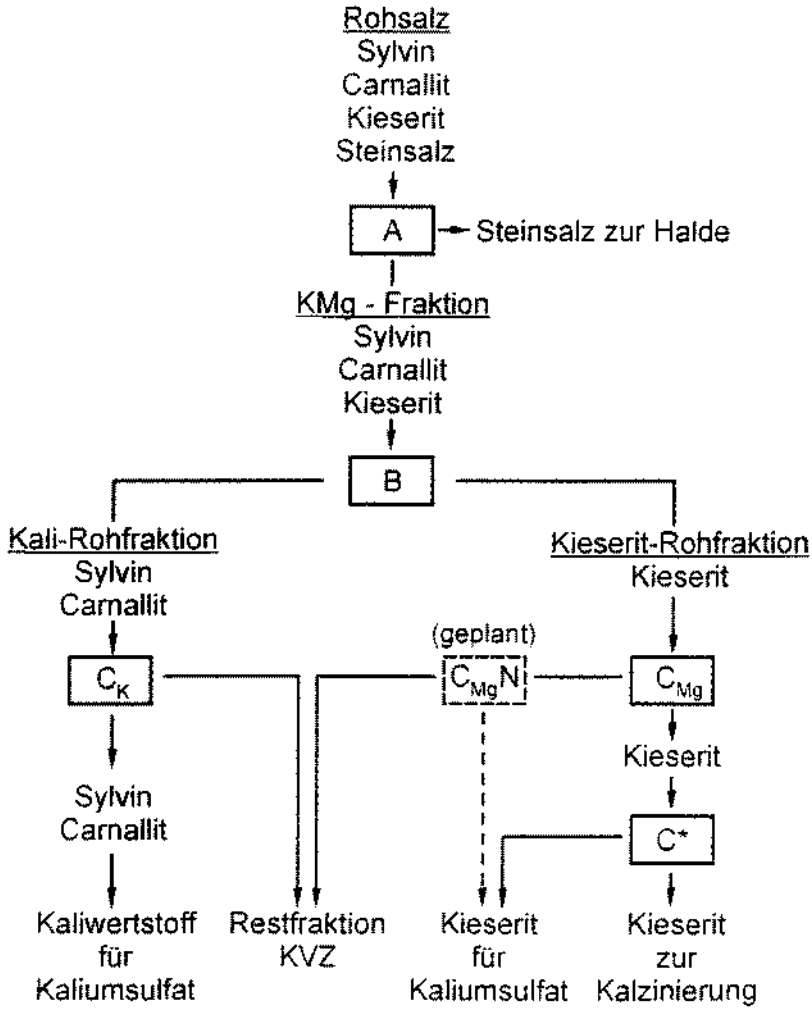


Abbildung 16: Verfahrensschema der ESTA-Anlage Werk Wintershall [31]



Die Verknüpfung aller drei Verarbeitungsverfahren in einem Fabrikbetrieb zeigt Abbildung 17.

Auf die Entwicklung zur Herstellung der gesamten Produktpalette aus Kalirohsalzen sei hier verzichtet.

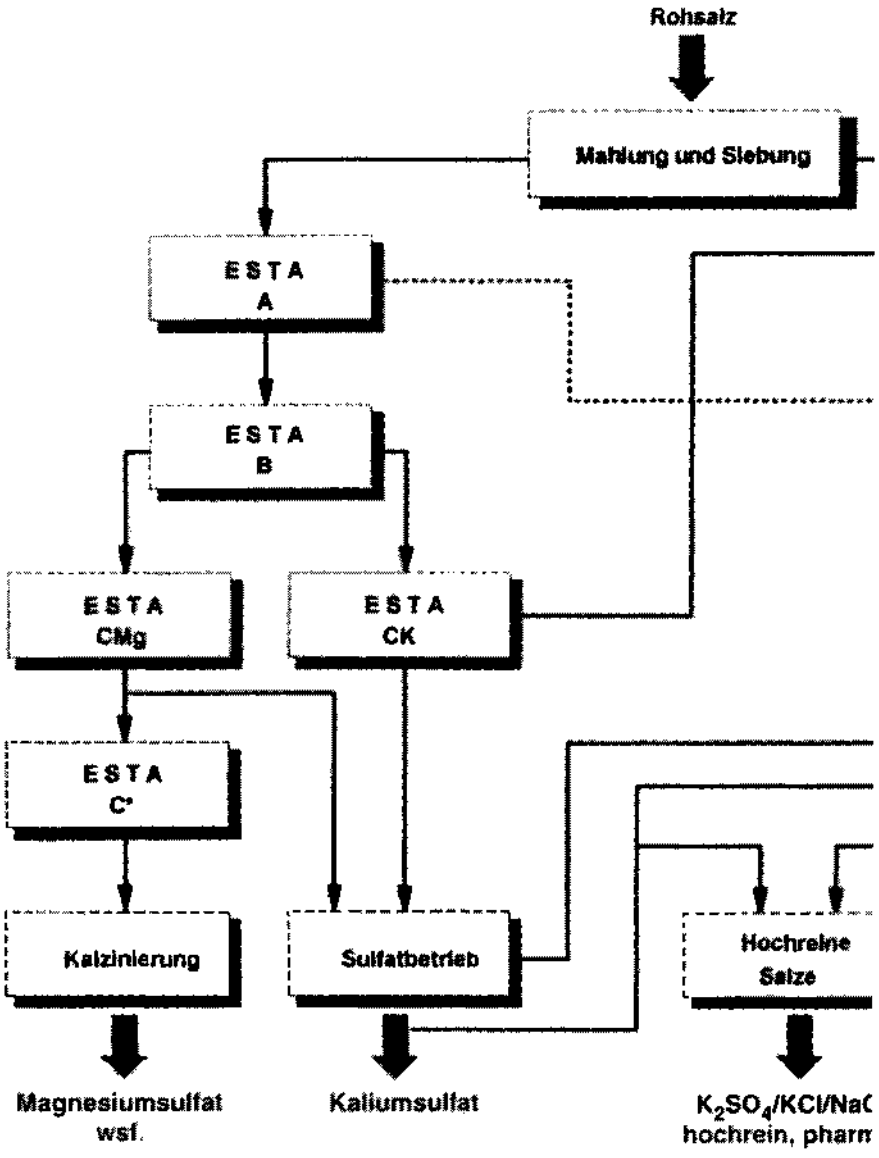
3.3 Chemie – Kaliindustrie

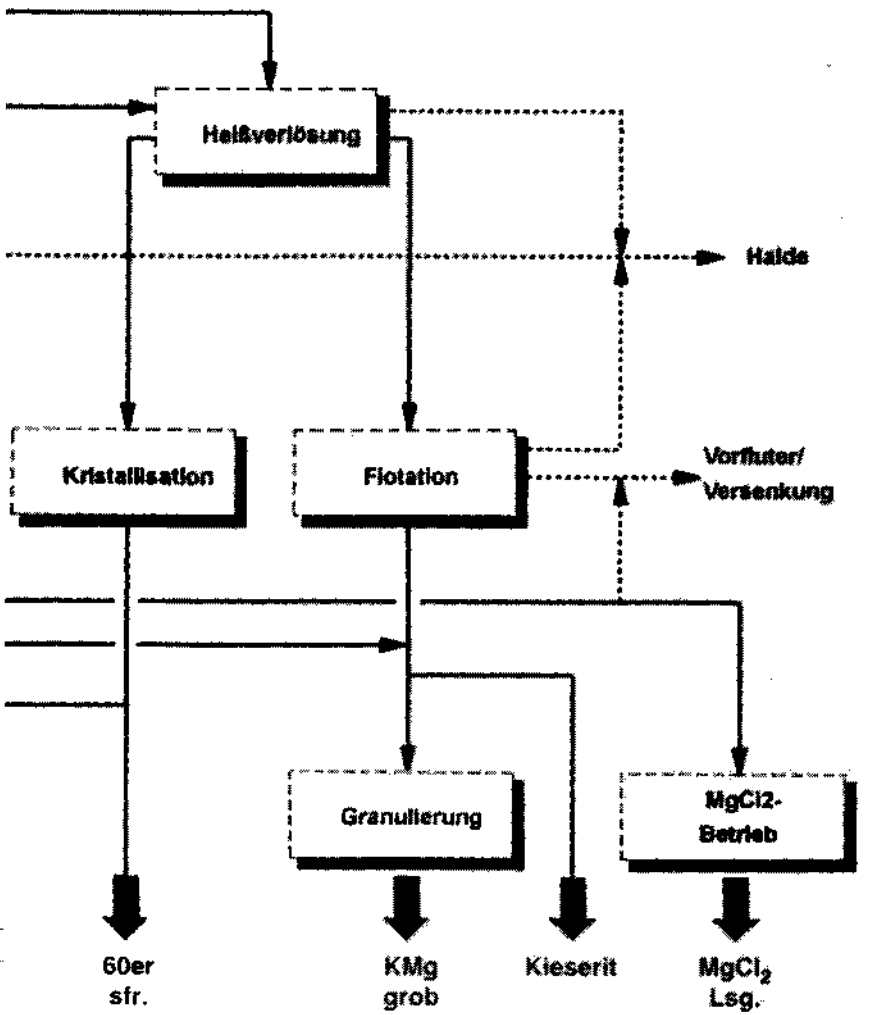
3.3.1 Verdiente Kalichemiker (1860–1918)

Unabhängig von ihrer Entdeckung bzw. Identifizierung waren chemische Verbindungen der Elemente des hexären Systems ozeanischer Salze seit dem Altertum bekannt. Dazu gehörten auch die Kaliumsalze wie Kaliumnitrat, Kaliumcarbonat (Pottasche) und Kalilauge mit ihren vielfältigen Einsatzgebieten.

Die Voraussetzungen für die Gründung der Kaliindustrie basierten maßgeblich auf der bekannten Arbeit JUSTUS VON LIEBIGS „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie" aus dem Jahr 1840, gewissermaßen der Geburtsurkunde der Agrochemie. Im Zusammenhang mit den Staßfurter Bohrungen beeinflußten Untersuchungen und Gutachten des damaligen Verantwortlichen für alle Hütten und Salinen des Preußischen Staates K. J. B. KARSTEN, Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften von 1822 bis 1853 – von ihm stammen 21 Abhandlungen und auch das bekannte „Lehrbuch der Salinenkunde" – direkt und indirekt den Ausbau des Steinsalzlagers. Dem Weitblick und der Risikobereitschaft des Oberberghauptmanns KRUG VON NIDDA war es letztendlich zu verdanken, dass der weitere Aufschluß der Staßfurter Lagerstätte gegen alle Einwände weitergeführt wurde und Kalirohsalze – wenn auch im bescheidenen Maße – sowohl für Düngeversuche als auch für Versuche zur Abtrennung des störenden Magnesiumchlorids zur Verfügung standen. Nachdem die Bedeutung der „Abraumsalze" für die Landwirtschaft absehbar war und chemische und mineralogische Analysen – wie u. a. die Aufklärung des Carnallits durch HEINRICH ROSE (Mitglied der Berliner Akademie von 1832 bis 1864) im Jahr 1856 – Auskunft über die Inhaltsstoffe gaben, begannen Chemiker mit meist empirischen Methoden, mit Improvisation und Intuition die ersten Verfahren zur Kalirohsalzaufarbeitung zu entwickeln. Das Ziel, schnell zu gewinnbringenden Düngemitteln und Chemieprodukten zu gelangen, bestimmte die Herangehens-

Abbildung 17: Fließbild des Fabrikbetriebes Standort Wintershall [31].




Heißverlösung
Halde
Kristallisation
Flotation
Vorfluter/
Versenkung
Granulierung
MgCl2-
Betrieb
60er
sfr.
KMg
grob
Kieserit
MgCl2
Lsg.

weise, förderte Abschottung und Geheimniskrämerei und führte mehr oder weniger zu „Einzelkämpfern", wie STAHL [32] es nannte.

Zu den Kalichemikern der ersten 20 Jahre gehörten neben den schon genannten DR. A. FRANK und DR. H. GRÜNEBERG Industriezweigsmitarbeiter wie G. BORSCHE, E. PFEIFFER, A. LANGBEIN, E. SCHMIDT, F. MICHELS, A. WÜNSCHE – nicht vergessen sei die Glasgower Firma LEISER & TOWNSEND – aber auch „Außenseiter" wie der Apotheker LÖFASS und der Baumeister FÖLSCHE, ohne hier näher auf ihr verdienstvolles Wirken in den 33 Sonder- und werkseigenen Kalifabriken einzugehen [33].

Ab 1880 beobachten wir in Verbindung mit der in den Vordergrund tretenden zweiten Generation von Chemikern eine spürbare Hinwendung zu einer systematischen Forschung sowohl in Staßfurt als auch in den neuen Kalirevieren. Diese Fachleute waren während ihrer universitären Ausbildung mit solchen sich stürmisch entwickelnden Gebieten der Chemie und – ab VAN'T HOFF und OSTWALD – Physikalischen Chemie wie

- der chemischen Gleichgewichts- und Phasenlehre (LE CHATELIER, GIBBS, VAN'T HOFF, ROOZEBOOM);
- der Chemie der Elektrolyte (FARADAY, ARRHENIUS, VAN'T HOFF, WILHELM OSTWALD, NERNST);
- der Analytischen Chemie (BERGMANN, BERZELIUS – PFAFF, BUNSEN – KIRCHHOFF, FRESENIUS)

und den Struktur-Eigenschaftsbeziehungen basierend auf der Entwicklung der Atomtheorie, der Molekülhypothese und des Bindungsverhaltens in Berührung gekommen, was ihre Denk- und Arbeitsweisen mehr oder weniger stark beeinflußte.

Geprägt wurde diese Zeit durch drei Persönlichkeiten, die mit ihren Mitarbeitern sowie weiteren Fachleuten, mit denen sie verbunden waren, Kaligeschichte geschrieben haben:

PROF. DR. DR. ING. h.c. HEINRICH PRECHT –
ENGEL (Frankreich), WITTJEN, HEPKE, RATHKE, PFEIFFER, SCHMIDT;

PROF. DR. DR. h.c. JACOBUS HENRICUS VAN'T HOFF –
zahlreiche Mitarbeiter aus aller Welt an der Berliner Akademie u. a. MEYERHOFFER, ARMSTRONG, SMITH, SACHS, WILSON, BLASDALE, D'ANS;

DR. DR. ING. h.c. WILHELM FEIT –
KUBIERSCHKY, BOCKEMÜLLER, PRZIBYLLA, MICHELS, KOELICHEN, BOCK, BARTLINGCK, SUNDMACHER, WITTE, HÜTTNER.

Unabhängig von diesen Kreisen seien noch die folgenden Wissenschaftler genannt, die durch grundlegende Forschungsergebnisse hervorgetreten sind: LÖWENHERZ, BOEKE, JAENECKE, LE BLANC, LUNGE, MOLDENHAUER, TAMMANN, SCHREINEMAKERS.

Zu PRECHTS herausragenden Arbeiten gehören

- die Gewinnung von Langbeinit durch Zersetzung von Kainitit unter Dampfdruck;
- die Herstellung von Borsäure aus Boracit;
- die Errichtung einer Kaliumcarbonatfabrik nach dem ENGEL-PRECHT-Verfahren;
- die Elektrolyse von Kalium- bzw. Natriumchlorid nach dem Aussiger-Glockenverfahren;
- die Darstellung von Magnesia durch Kalkfällung aus der entsulfatisierten Mutterlauge der Carnallititverarbeitung [32].

In VAN'T HOFFS Berliner Zeit an der Preußischen Akademie der Wissenschaften fallen die klassischen „Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der Mineralsalze ozeanischen Ursprungs" (1896–1905), dargelegt in 55 Abhandlungen, die auch in einer von PRECHT und COHEN zusammengestellten Fassung erschienen sind. VAN'T HOFF hatte sich schon ~1887 mit der Kristallisation der Salze aus dem Meerwasser beschäftigt und kam durch sein Interesse für Umwandlungserscheinungen von Elementen und Salzen in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Zeit zur Salzchemie.

Galt sein Interesse in erster Linie auch nicht der Verarbeitung der Kalisalze sondern der Salzlagerstättenforschung, so erkannten PRECHT und weitere führende Kalichemiker die Notwendigkeit der Weiterführung dieser Arbeiten. Bei PRECHT lesen wir: „VAN'T HOFFS in Deutschland ausgeführte Arbeiten haben vorzugsweise der Kaliindustrie Nutzen gebracht. Mancher mag sie als theoretische Studien betrachten, wer sie aber eingehend kennengelernt hat, wird auch den Vorteil für die Industrie daraus entnehmen können. Durch die mannigfaltigen Vorträge, die VAN'T HOFF in vielen Kulturländern gehalten hat, ist das Interesse für die Kaliindustrie derart geweckt worden, dass es unmöglich ist, nur annähernd den materiellen Wert zu schätzen" [34].

Auf dem ersten Deutschen Kalitag (1905 in Hannover), der – wie schon erwähnt – zur gemeinsamen Behandlung wissenschaftlicher und praktisch-

technisch-technologischer Probleme abgehalten wurde, kam es zum Vorschlag von VAN'T HOFF, PRECHT und dem Leipziger Mineralogen RINNE, einen „Verband zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Kalilagerstätten" zu bilden, der von 1906–1919 bestand.

Von FEITS Arbeiten seien neben grundlegenden Löslichkeitsuntersuchungen hier genannt

- die Entdeckung der borhaltigen Minerale Ascharit und Kaliborit;
- der Bau der Kaliumchlorid-Fabrik in Vienenburg und die Einführung der Handelsmarke „Chlorkalium 90–95%";
- das nach ihm benannte Decklöseverfahren;
- die Veröffentlichung über „Die Darstellung des Chlorkaliums aus Hartsalz".

Auf der Tagung des „Vereins der Deutschen Kaliinteressenten" am 21.06.1918 im Hotel „Der Achtermann" in Goslar stellte FEIT unter dem Eindruck der unmittelbaren Kriegssituation seine elf Forderungen für die Errichtung einer chemischen Versuchsanstalt für die Kaliindustrie auf, die z. T. bis heute ihre Aktualität nicht eingebüßt haben.

Tabelle 13: Forderungen für die Errichtung der chemischen Versuchsanstalt für die Kaliindustrie nach W. FEIT und W. HÜTTNER [32]

1. Aufgabe der Geheimniskrämerei der Kalichemiker untereinander, die sich mit einer chinesischen Mauer umgeben, über die kein Kollege blicken soll – bereits 1919 kreisen die Patentschriften immer um gute Bekannte aus alter Zeit –
2. Vorherrschen der Empirie bei der Aufbereitung der Kalisalze
3. Umsetzung der klassischen Arbeiten VAN'T HOFFS in der Fabrikpraxis, besonders beim Auftreten von Sulfaten
4. Angliederung der Versuchsanstalt an eine bestehende Kalifabrik, aber als selbständige Anlage
5. Anschaffung der modernsten Apparate zur Verbesserung und Überprüfung der Fabrikationsmethoden, Kostenersparnis für die Fabriken, die unnötige Apparate nicht zu kaufen brauchen
6. Aufbau eines wissenschaftlichen Laboratoriums zur Untersuchung der Lösungsgleichgewichte, am besten in Berlin in Anbindung an eine Hochschule

7. Forschung nach Ideen, um die lästigen Abfallprodukte der Kaliindustrie in wertvolle Stoffe umzuwandeln
8. Entwicklung von schnellen und genauen Analysenmethoden
   Erstellung von für die Industrie wichtigem Handwerkszeug: Tabellen für Löslichkeiten, Dichten, spezifischen Wärmen
   Ausarbeitung von Gutachten und Betriebskontrollen
9. Ausbildung von Laboratoriumspersonal
   „Ganz besonders unzufrieden ist man mit dem weiblichen Hilfspersonal, das in sog. Chemieschulen nur mit den allernotwendigsten Kenntnissen ausgerüstet wird"
10. Angliederung einer Abteilung für Maschinenbau und Elektrotechnik zur Kontrolle der Energiewirtschaft
11. Angesichts der geschätzten Kosten von mehreren hunderttausend Mark für Gehälter, Betriebsmaterialien, Miete, Abschreibungen usw. sollte das Institut einen Teil der Kosten selbst aufbringen, z. B. durch Gutachten, Endlaugenkonzessionen, Entwurf von Fabrikneubauten, Ausführung von Analysen und Materialprüfungen.

3.3.2 Die Kaliforschungsanstalt GmbH

Am 28.10.1919 wurde die Kaliforschungsanstalt GmbH. mit Sitz in Leopoldshall gegründet. Gesellschafter waren das Deutsche Kalisyndikat und der Verein der Deutschen Kaliinteressenten. Vier wissenschaftliche Mitarbeiter, ein Laborant und fünf weitere Beschäftigte nahmen unter der Leitung von Direktor DR. KOELICHEN die Arbeit auf, wobei die Mitarbeiterzahl in den Folgejahren auf etwa 30, davon bis 15 wissenschaftliche Kräfte, anstieg. Da über die Geschichte der Kaliforschungsanstalt und der ihr folgenden Einrichtungen mehrfach aus kompetentem Mund bei verschiedenen Anlässen berichtet wurde, sei hier nur auf einige Aspekte hingewiesen [32], [33], [35], [36]. Zu den Hauptaufgaben der KAFA gehörte seit Beginn die Entwicklung wissenschaftlich begründeter Produktionsmethoden durch die Anwendung der Lösungsgleichgewichte. Der konzentrierte Kalimagnesiaprozeß sowie die Qualifizierung der Carnallititverarbeitung bestätigen die Richtigkeit dieses Weges. Von besonderer Bedeutung war die Sammlung und Auswertung der verstreuten wissenschaftlichen Berichte, der Literatur und der Daten in Verbindung mit dem Aufbau der Patentabteilung und der Bibliothek.

Tabelle 14: Die Hauptarbeitsgebiete der Kaliforschungsanstalt 1919–1945 [35]

1. Lösungsgleichgewichte und ihre Anwendung
   Konzentriertes Kalimagnesiaverfahren (KOEHLICHEN und PRZIBYLLA)
   Carnallitverarbeitungsmethoden
   Entwicklung und Anwendung neuer graphischer Darstellungsmethoden (D'ANS, ALTHAMMER, AHRENS)
   Erste Untersuchungen von metastabilen Lösungsgleichgewichten (D'ANS)
2. Kinetik
   Löse- und Verdrängungsgeschwindigkeiten von KCl und NaCl (KEITEL)
   Lösegeschwindigkeiten von Kieserit (UEBLER)
3. Wärme- und kühltechnische Untersuchungen
   Wärmetechnische Betriebsuntersuchungen (HAEHNEL, RITTER)
   Bestimmung der spezifischen Wärme von Salzen und Lösungen (D'ANS, TOLLERT)
   Dampfdruckbestimmungen von Salzlösungen (POHLE)
4. Nebenprodukte
   Reduktion von Magnesiumsulfat
   Zersetzung von $MgCl_2 \cdot 6H_2O$
   Herstellung von Brom und Bromsalzen
   Hydrolyse von $MgCl_2$-Lösungen
5. Analytik
6. Patent- und Literatursachbearbeitung
7. Mischdünger
8. Lagerstättenkunde und Petrographie
9. Qualitätsverbesserung und Kontrolle, Aufbereitung
   Kompaktierung, Granulierung, Staubentwicklung, Entmischung
   Selektive Mahlung
   Ansätze zur flotativen Aufbereitung
10. Korrosion

Nach den für die Anstalt kritischen 20er Jahren – die Übernahme der Leitung durch O. KASELITZ (Ende 1925) sicherte das Fortbestehen – wurde das wissenschaftliche Profil maßgeblich durch J. D'ANS und seine Arbeiten geprägt.

D'ANS war seit 1931 als Berater der KAFA tätig und übernahm 1937 die Leitung der Einrichtung. Ihm zur Seite stand ab 1938 F. SEROWY, unter dessen Ägide ein Großversuchsstand in Teutschenthal eingerichtet wurde. Neben zahlreichen Untersuchungen von Lösungsgleichgewichten und den verbesserten Methoden ihrer graphischen Darstellung, die unter Wichtung der bisherigen Erkenntnisse in der 1933 erschienenen „Standard"-Monographie über die „Lösungsgleichgewichte der Systeme der Salze ozeanischer Salzablagerungen" von D'ANS publiziert wurden, ist es das bleibende Verdienst von D'ANS und seinen Mitarbeitern, die Untersuchungen auf die metastabilen Bereiche ausgedehnt zu haben. KARSTEN hat u. a. diese Ergebnisse als erster für eine quantitative Behandlung der Hartsalzaufarbeitung genutzt [37]. Die Beschäftigung mit geochemischen, mineralogischen und petrographischen Problemen führte 1944 zur Entdeckung von Syngenit im Zechsteinsalz und zum Einsatz von Spurenelementen bei der Erforschung der Salze und Salzlagerstätten. Erst seine mit HÖFER (1934) entwickelte Brombestimmungsmethode ermöglichte den umfangreichen Einsatz des Broms als geochemisches Leitelement. Diese Untersuchungen führten 1947 zu einem umfassenden Konzept zur Genese der deutschen Zechsteinsalze [36].

Im Werk Krügershall/Teutschenthal wurden unter Leitung von F. SEROWY halbtechnische Versuche u. a. zum mehrstufigen Lösen in Schnell-Lösern, zur kontinuierlichen Trocknung in Trockentrommeln sowie zur Granulation durchgeführt und in zahlreichen Patenten niedergelegt.

Nach Ende des 2. Weltkriegs nahm die Kaliforschungsanstalt ihre Arbeit zwar wieder auf, doch schnell trennten sich die Wege in Ost und West. D'ANS wurde 1945 zum Professor für Anorganische Chemie an die Technische Universität Berlin berufen und blieb dem späteren Kaliforschungsinstitut e.V. eng verbunden. Prof. Dr. SEROWY leitete bis 1959 die Arbeitsstelle für Mineralsalzforschung an der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin und anschließend bis 1963 das einzige universitäre Institut für Chemie und Technologie der Mineralsalze an der Technischen Hochschule in Merseburg.

Das Wirken der Angehörigen der Kaliforschungsanstalt dokumentiert sich neben den vielfältigen praktischen Anwendungen in zahlreichen Publikationen, Patenten und 178 KAFA-Mitteilungen.

3.3.3 Kaliforschung in der Bundesrepublik Deutschland

1948 wurde die Arbeit der Kaliforschungsanstalt, Zweigstelle West, wieder in bescheidenem Rahmen aufgenommen und am 01.01.1949 die Kaliforschungsstelle – ab 1957 Kaliforschungsinstitut e.V. (KAFI) – gegründet, die ab 1952 in Hannover ihre Heimstatt fand. Leiter der Einrichtungen wurde Dr. HANS AUTENRIETH auf Vorschlag von J. D'ANS. Beginnend mit 10 Mitarbeitern waren in den 60er Jahren etwa 25–30 Personen, davon 1/3 mit akademischer Ausbildung, am Institut tätig, dessen Arbeitsgebiete sich u. a. aus der folgenden Tabelle ergeben.

Tabelle 15: Hauptarbeitsgebiete des Kaliforschungsinstituts e.V. ab 1949 [35]

1. Lösungsgleichgewichte und ihre Anwendung
   Detaillierte Aufnahme von Lösungsgleichgewichten für die Verarbeitungstechnik
   Aufnahme der metastabilen Gleichgewichte, vor allem von sulfatischen Salzen
   Aufnahme der Gleichgewichte der Ca-sulfatischen Bodenkörper
   Aufnahme des NaCl- bzw. KCl-ungesättigten Bereiches
   Ableitungen insbesondere für die Hartsalzverarbeitung, Kalimagnesia- und Sulfatherstellung sowie für die Natriumsulfaterzeugung
2. Kristallisationskinetik
   Aufnahme von Induktionszeit-Kurven, von Kristallisationszeit-Kurven und von Isochronenscharen
   Lösegeschwindigkeiten von Kieserit
3. Mechanische Aufbereitung
   insbesondere Flotation und elektrostatische Aufbereitung
4. Mineralogie, Petrographie und Geologie
   Verwachsungstechnische Untersuchungen
   Schlammbildner und ihre Aktivierbarkeit in Fabrikationslaugen
   Monographie: Die Mikroskopie der Kalisalze
5. Literatur- und Patentbearbeitung
6. Angewandte Mathematik
   Behandlung von verfahrenstechnischen, apparativen und verarbeitungstechnischen Problemen, z. B. Wärmetechnik der Vakuumkristallisation, der Trockentechnik und Filtrationstechnik

7. Analytik, Betriebskontrolle
8. Granulation und Qualitätsverbesserung

Hervorgehoben seien die umfangreichen Untersuchungen zu den mechanischen Aufbereitungsverfahren. BACHMANN erarbeitete die entscheidenden Grundlagen für die wesentlich anspruchsvollere Flotation der deutschen Rohsalze, für Sylvinit und Hartsalz sowie für sulfatische Salze, so dass 1953 die erste Anlage auf dem Werk Friedrichshall/Sehnde in Betrieb gehen konnte.

Maßgeblich geprägt wurde das Institut bis 1971 durch H. AUTENRIETH. Seine Untersuchungen über praxisrelevante Lösungsgleichgewichte u. a. mit BRAUNE im stabilen und metastabilen Bereich in breiten Konzentrations- und Temperaturintervallen, insbesondere im Bereich der sulfatischen Doppelsalze, fanden neben ihrer grundlegenden Bedeutung ihren Niederschlag in der Hartsalzverarbeitung und der Kaliumsulfatproduktion. Dabei fand die Kristallisationskinetik einen gebührenden Platz. Unbedingt genannt sei auch die 1958 gemeinsam mit BRAUNE publizierte Entdeckung des D'Ansit $MgSO_4 \cdot 9Na_2SO_4 \cdot 3NaCl$. Besondere Bedeutung besitzen seine Beiträge zur elektrostatischen Aufbereitung von Rohsalzen, die nach Bekanntwerden der amerikanischen Patente aufgenommen wurden. 1956 gelang AUTENRIETH und seinen Mitarbeitern mit dem Auffinden geeigneter Konditionierungsmittel für eine selektive Aufladung der Rohsalzkomponenten, der Konstruktion des Freifallscheiders und durch Ermittlung der günstigsten klimatischen Bedingungen der entscheidende Durchbruch. Der langwierige Weg vom Labor bis zur ersten großtechnischen Anlage 1974 und damit zur Einführung der ESTA-Technologie ist untrennbar mit den Namen SINGEWALD und FRICKE verbunden.

Die Neuorganisationen der bundesdeutschen Kaliindustrie Anfang der 70er Jahre führte am 01.01.1972 zur Übernahme des KAFI als Hauptlabor der Kali und Salz AG. In dieser Funktion erhielt das Institut u. a. als neue Aufgabe die Ausbildung der jungen Ingenieure und Chemiker für ihren Einsatz in der Kaliindustrie. Das HV-Labor der Salzdetfurth AG wurde nach Hannover verlegt, das HV-Technikum der Wintershall AG in Heringen angegliedert. 1989 fand der Umzug des Kaliforschungsinstituts nach Heringen statt. Die Aufgabenstellungen resultierten jetzt weitgehend aus dem Gebiet der Zweckforschung, das Institut wurde zum „Service-Zentrum" [32]. Etwa 400 Versuchsberichte erfassen die Ergebnisse dieser Arbeit bis 1990.

3.3.4 Kaliforschung in der DDR

3.3.4.1 Das Kaliforschungsinstitut Sondershausen (KFI)

Am 01.01.1955 wurde die Zentrale Forschungsstelle für die Kaliindustrie der DDR – ab 1965 Kaliforschungsinstitut (KFI) – unter Leitung von Dr. F. BUSCH in Sondershausen gegründet, nachdem kurz nach Kriegsende zwei kleinere Forschungsgruppen in den Kaliwerken Unterbreizbach und Teutschenthal erste wissenschaftliche Arbeiten aufgenommen hatten. In den vier wissenschaftlichen Abteilungen Bergbau, Chemie, Landwirtschaft und bis 1957 Nichterzbergbau waren 40–50 Mitarbeiter – ab 1958 unter Leitung von Dr. H. HOPPE – beschäftigt. Die Einrichtung unterstand unmittelbar dem Generaldirektor und wuchs in den Folgejahren unter Ausbau der Disziplinen auf über 400 Beschäftigte an, davon etwa 25% wissenschaftliche Mitarbeiter. Die Aufgabenstellung für die industrielle Forschungseinrichtung – damit in erster Linie auf eine Zweckforschung ausgerichtet – läßt sich wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 16: Die Aufgabenstellung für das Kaliforschungsinstitut Sondershausen [38]

1. Durchführung von Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Kali- und Steinsalzbergbaues, der Technologie, der Salzverarbeitung sowie der Anwendung von Kalium- und Magnesiumdünger in der Land- und Forstwirtschaft mit dem Ziel, die Produktivität zu erhöhen, die Selbstkosten zu senken und die Qualität zu verbessern.
2. Koordinierung aller Forschungs- und Entwicklungsaufgaben innerhalb der Kaliindustrie, mit den Hochschulen oder anderen Instituten.
3. Unterstützung der Kaliwerke bei auftretenden außergewöhnlichen Schwierigkeiten im Produktionsprozeß.
4. Sammlung und Auswertung der gesamten in- und ausländischen Kali- und verwandten Literatur.

Schwerpunkte der Forschungstätigkeit sind:

Arbeiten für einen sich ständig erhöhenden Gesundheits- und Arbeitsschutz und für eine größere technische Sicherheit, insbesondere der Grubensicherheit;

gezielte Grundlagenforschung;
Mitarbeit bei der Erschließung neuer Lagerstätten;
Entwicklung neuer Verfahren und ihre Einführung in die Praxis;
Erprobung in- und ausländischer Geräte und Maschinen für den Unter- und Übertagebetrieb;
Konstruktion von Bergbaumaschinen;
Erprobung neuer Düngemittel in der Land- und Forstwirtschaft.

Die Realisierung eines solchen Programms war nur durch die enge Kooperation mit den entsprechenden Mitarbeitern auf den Werken gegeben. Eine vielfältige Vertragsforschung mit Hochschul- und Akademieeinrichtungen, besonders der Bergakademie Freiberg, der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg, der Technischen Universität Dresden und der Ingenieurhochschule Köthen, sowie internationalen Institutionen wie dem Institut für Halurgie in Leningrad und der Technischen Universität Gliwice sicherten eine beachtenswerte Grundlagenforschung im Interesse des Industriezweiges. Hierzu wird später noch Näheres darzulegen sein.

Mit der Kombinatsbildung wurde das Institut dem Direktionsbereich Forschung unter Leitung von Prof. Dr. G. DUCHROW zugeordnet. Für die chemische Grundlagenforschung wie für die chemisch-technologisch orientierten Arbeitsgruppen hatte Dr. C. DÄHNE die Verantwortung. H. HOPPE folgte einem Ruf an die Technische Hochschule Leuna-Merseburg. Der Forschungsinhalt des Instituts wurde zu etwa 50% von bergbaubestimmten Themen eingenommen. Zu den chemisch orientierten Forschungen gehörten u. a. die in Tabelle 17 aufgeführten Projekte.

Zwei große Forschungskomplexe seien besonders hervorgehoben, ohne auf Details einzugehen, an denen praktisch alle Disziplinen beteiligt waren. So war das KFI Gesamtverfahrensträger für die Planung des neuen Kaliwerkes Zielitz. In den 70er und 80er Jahren war es das Solprojekt „Carnallitit". Eine ausführliche Würdigung über das Wirken des KFI erfolgte durch H. SCHERZBERG auf dem 1. Kalihistorischen Symposium 1999 in Sondershausen [39]. Gleiches gilt für das vorzugsweise für die Projektierung verantwortliche Kali-Ingenieur-Büro in Erfurt durch H. BARTL [40].

Tabelle 17: Forschungs- und Entwicklungsaufgaben (Übertage) des Kaliforschungsinstituts Sondershausen

1. Erarbeitung neuer und verbesserter Lösetechnologien – Umsetzung u. a. im neuen Lösehaus Merkers, Rekonstruktion Bischofferode
2. Klärung der Ursachen für die Schlammeinbrüche speziell im Werk Bischofferode
3. Erarbeitung eines Flotationsverfahrens für kompliziert zusammengesetzte Hartsalze in Fortführung der BACHMANNschen Arbeiten von vor 1945, realisiert in Roßleben und Zielitz
4. Entwicklungen zur Preßgranulation, realisiert in Unterbreizbach und Zielitz
5. Endlaugenverwertung u. a. thermische Spaltung von $MgCl_2$ zu Magnesiumoxid (Teutschenthal) sowie die Bromgewinnung unter Einbau von Glas- und Titankolonnen (Bleicherode, Sondershausen und Merkers)
6. Erarbeitung des SOMET-Verfahrens – Anwendung gemischter Lösungsmittel – nicht nur für den eigenen Industriezwei (Premnitz, Wolfen)
7. Umgestaltung und Rationalisierung der Kaliumsulfatfabrik in Dorndorf

3.3.4.2 Zur Mineralsalzforschung an Akademie und Hochschule

Die Zusammenarbeit der Bergakademie Freiberg mit der Kaliindustrie der DDR war über Jahre geprägt durch Hochschullehrer wie die Professoren SPACKELER, GIMM, JENDERSIE, ARNOLD, SCHUBERT und damit durch die traditionellen Bereiche der Geowissenschaften, des Bergbaus und der Aufbereitung.

Die Chemie und Technologie der Mineralsalze fand zunächst ihren Platz an der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin mit der Bildung des Arbeitsbereiches für Mineralsalzforschung am 01.10.1950 unter Leitung von F. SEROWY. Mit im Durchschnitt 10 wissenschaftlichen Kräften und weiteren Angestellten wurden Grundlagenforschungsthemen sowie Vertragsaufgaben der Kaliindustrie unter dem Aspekt der Auswertung ozeanischer Salzminerale bearbeitet. Die Themenkreise waren

- Lösungs- und Umsetzungsgleichgewichte, hier seien besonders die Arbeiten über die Salz-HCl-Wasser-Systeme genannt;
- Kaliablaugenaufbereitung und $MgCl_2$-Verwertung, Herstellung von Edellauge, Mg-chloriden, -hydroxiden, -oxiden und HCl;

- Kristallisation und Kristallstruktur, u. a. Keimbildung und Kristallwachstum von Kaliumsulfat;
- Bestimmung physikalischer Größen wie Dichten, Viskositäten, Enthalpien von $MgCl_2$-Lösungen und -Schmelzen;
- geochemische Untersuchungen.

Forschungsberichte, Dissertationen und besonders das 1958 veranstaltete Internationale Symposium „Mineralogie, Chemie und Technologie der Mineralsalze ozeanischen Ursprungs" mit erstmals repräsentativer Beteiligung aus der UdSSR belegen die wissenschaftlichen Aktivitäten für einen relativ kurzen Zeitraum. Mit der Versetzung von F. SEROWY in den Ruhestand wurde die Arbeitsgruppe zum 31.12.1959 aufgelöst. Einige Themen konnten noch kurzzeitig an anderen chemischen Instituten der Akademie abgeschlossen werden.

Der Grundstein für die Zusammenarbeit universitärer Bereiche mit der Kaliindustrie in der DDR auf chemisch-technologischem Gebiet wurde mit der Gründung des Instituts für Chemie und Technologie der Mineralsalze an der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg 1958 unter Leitung von F. SEROWY gelegt, der hier mit jungen Diplomanden und Doktoranden , die später an verantwortlichen Stellen in der Kaliindustrie wirkten (DÄHNE, DÖRING, HOßFELD, HEß), Themen der Berliner Zeit bis 1963 erfolgreich fortführte.

Von diesem Zeitpunkt an vom Autor in Merseburg vertreten, wurde das Gebiet „Chemie und Technologie anorganischer Salze" 1975 zur Komplettierung des Gesamtensembles in Lehre und Forschung an das nunmehr von ihm geleitete Institut für Anorganische und Anorganisch-technische Chemie der Bergakademie Freiberg übernommen. Damit war die Basis für eine interdisziplinäre Kooperation und Zusammenarbeit von den Geowissenschaften über den Bergbau, die Verfahrens- und Aufbereitungstechnik und die Chemie bis zur Betriebswirtschaft an der BAF als wichtigem Partner des VEB Kombinat Kali geschaffen, die sich u. a. in einem Vertragsforschungsumfang von über 2 Mio M (1985) ausdrückte.

Die Arbeit an beiden Institutionen wurde bis 1990 stets unter dem Aspekt der Grundlagenforschung mit dem Blick zur Anwendung durch folgende Forschungsgebiete geprägt:

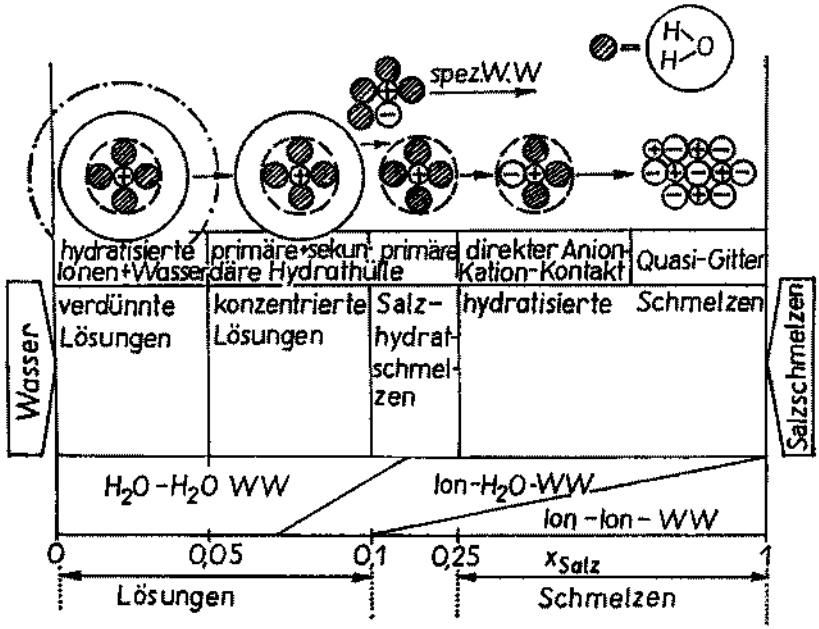
- Chemie der geschmolzenen Salze, Salzhydratschmelzen und konzentrierten Elektrolyte,

- Chemie und Technologie anorganischer Salze,
- Systeme aus Salzen und gemischten Lösungsmitteln,
- Hochtemperaturreaktionen,
- Geschichte der Chemie und chemischen Technologie.

Dieses Spektrum wird u. a. charakterisiert durch die Konzentrationsskala von Elektrolytlösungen.

Unsere Forschungen konzentrierten sich auf die Untersuchung von Strukturproblemen der Lösungen wie Solvatation, Hydratation, Komplexbildung, von thermodynamischen und Transporteigenschaften – besonders der Phasenübergänge fest-flüssig (Auflösung, Zersetzung) und flüssig-fest (Kristallisation) – im Temperaturbereich von -20°C bis 2400°C mit physikalisch-chemischen, elektrochemischen, spektroskopischen und mikroskopischen Metho-

Abbildung 18: Änderung der Konzentrations- und Wechselwirkungstypen in Abhängigkeit vom Salzgehalt



den. Sie beinhalten die Bestimmung von Lösungs- und Phasengleichgewichten, die Ermittlung unterschiedlicher Enthalpien, die Untersuchung von Kristallisationsphänomenen besonders der OSTWALD-Reifung und der Agglomeration auch unter dem Einfluß oberflächenaktiver Stoffe (Flotation, ESTA) und Fremdelektrolyten unter dem Aspekt „Kristallisation-Formgebung" sowie der Selbstdiffusion mit radioaktiven Tracern, die Messung von elektrischen Leitfähigkeiten und EMK, die Bestimmung von Schallgeschwindigkeiten, Korrelations- und Relaxationszeiten sowie die spektroskopische (IR, NMR, Massenspektroskopie) und phasenmikroskopische Charakterisierung von Schmelzen, Lösungen und Gasphasen. Dazu gehören natürlich die chemische und thermische Analyse.

Die umfangreichen Untersuchungen über Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Metall-Salz- und Salz-Salz-Systemen und ihren Anwendungen bei der Schmelzflußelektrolyse, der Metall- und Legierungsabscheidung oder beim Carbidprozeß wie auch von Salzhydratschmelzen bei der Energiespeicherung wären anderen Themen zuzuordnen (siehe u. a. [41]–[45]).

Die chemisch-technologische Grundlagenforschung haben wir als eine angewandte Physikalische Chemie mit der Orientierung auf konkrete Problemstellungen verstanden. Einen Überblick geben die Tabellen 18 bis 20.

Tabelle 18: Forschungsarbeiten auf chemisch-technologischem Gebiet für die Kaliindustrie

- Grundlagenuntersuchungen zur Verarbeitung carnallititischer Kalirohsalze
- Verarbeitung kompliziert zusammengesetzter Hartsalze
- Tiefkühlung von Betriebs- und Abstoßlösungen
- Bearbeitung der Schlammproblematik bei der Natriumsulfatherstellung
- Entwicklung eines modernen Verfahrens für die Bromgewinnung
- Beiträge zum Qualitätssicherungsprogramm des VEB Kombinat Kali (Kristallisations- und Agglomerationsprozesse, Deckprozesse mit KCl-gesättigten Lösungen)
- Einbeziehung von Lösungsmittelgemischen des Typs Wasser-organisches Lösungsmittel in die Prozesse der Kalirohsalzverarbeitung
- Gewinnung von Stoffdaten zur Bilanzierung und technologischen Auslegung der Mineralsalzverarbeitungsprozesse

Tabelle 19: Untersuchung heterogener Lösungsgleichgewichte im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Kaliindustrie

- Untersuchung von Systemen des Typs $NaCl$-KCl-$MgCl_2$-H_2O-HCl und ihrer Randsysteme (endlösungsfreie Carnallititverarbeitung)
- Untersuchung von Systemen des Typs Na^+, K^+, Mg^{2+}/Cl^-, $SO_4^{2-}//H_2O$-organisches Lösungsmittel (SOMET-Verfahren)
- Untersuchung des quinären Systems der ozeanischen Salze im Bereich der $NaCl$-KCl-$MgCl_2 \cdot 6H_2O$-Sättigung und im Temperaturbereich von –5°C bis +110°C (Carnallititverarbeitung)
- Untersuchung des quinären Systems der ozeanischen Salze im Bereich der $NaCl(NaCl \cdot 2H_2O)$-KCl-Sättigung und im Temperaturbereich von der Eisbildung bis 25°C (Tiefkühlung von Betriebs- und Abstoßlösungen)
- Untersuchung des Systems KCl-$MgCl_2$-H_2O im Bereich der Hydratschmelzen (Hydratschmelzverfahren zur Carnallititverarbeitung)

Tabelle 20: Ausgewählte kinetisch bedingte Problemstellungen

- Grundlagen der Bildung, Auflösung und Zersetzung inkongruent löslicher Doppelsalze (Carnallititverarbeitung, K_2SO_4-Herstellung)
- Grundlagen der Kristallisation von KCl aus wäßrigen Lösungen unter Einbeziehung der Teilschritte Wachstum, OSTWALD-Reifung, Agglomeration (Qualitätssicherungsprogramm)
- Auflösung von NaCl in KCl-gesättigten Lösungen (Deckprozeß-Qualitätssicherungsprogramm)
- Stabilität ausgewählter Phasen im Existenzgebiet anderer stabiler Bodenkörper (Verarbeitung kompliziert zusammengesetzter Kalirohsalze, Na_2SO_4-Herstellung)

Bezüglich der letzten Tabelle scheinen die Untersuchungen zu den Mikroprozessen bei der OSTWALD-Reifung und der Agglomeration besonders wertvoll. So konnte u. a. der experimentelle Nachweis erbracht werden, dass die Agglomeration der bestimmende Teilschritt bei der Erzeugung grobkörniger Kristallisate darstellt [46].

Die 80er Jahre wurden im wesentlichen durch Arbeiten zur Lösungskinetik des Carnallits bei Solungsprozessen, zum thermischen Verhalten von Carnallit und Bischofit, zur Kristallisationskinetik leicht löslicher Salze (siehe u. a. [47], [48]) bzw. zur Sauerstoff-Isotopenverteilung bei Eindunstungs- und Kristallisationsprozessen – gemeinsam mit dem Bereich Geochemie – sowie durch umweltrelevante Themen wie „Chemische Aspekte bei der Abdichtung von Salzlösungszuflüssen im Kalibergbau durch gezielte Mineralsynthese" [49] und „Chemische Aspekte bei der bergschadenkundlichen Beurteilung stillgelegter Kali- und Steinsalzbergwerke" [50] – gemeinsam mit den Bereichen Geotechnik und Bergbau – geprägt.

Betont seien die Beiträge zu einer geschlossenen thermodynamischen Beschreibung von Salz-Wasser-Systemen in dem weiten Bereich zwischen der Anwendung der erweiterten DEBYE-HÜCKEL-Theorie (verdünnte Lösungen) und den Quasigitter-Modellen (Salzschmelzen), wobei wir uns besonders den konzentrierten Lösungen und Salzhydratschmelzen zugewandt haben. Auf der Basis experimenteller Dampfdruck- und Löslichkeitsbestimmungen bis 250°C, der Messung von Mischungsenthalpien und der Ableitung weiterer thermodynamischer Größen gelang es, den Ligandenaustausch in der Koordinationssphäre der Kationen zu interpretieren und auf dieser Grundlage nach einer Einschätzung des Gültigkeitsbereiches von Modellgleichungen für konzentrierte Elektrolytlösungen z. B. vom Typ der PITZER-Gleichung und entsprechenden Modifizierungen praxisrelevante thermodynamische Größen über eine gezielte Modellbildung zugängig zu machen.

Nicht unerwähnt bleiben sollen die wissenschafts- und technikhistorischen Arbeiten – mit H.-H. WALTER – zur Geschichte des Salzes [51], [52], die heute u. a. zur Thematik „Mineralsalze im Nordharz" ihre Fortsetzung finden.

Der unmittelbaren Zusammenarbeit mit der Kaliindustrie in den Jahren 1963–1990 sind etwa 150 nationale und internationale Publikationen und Patente aus dem chemisch-technologischen Bereich – oft gemeinsam, auch mit ausländischen Partnern – zuzuordnen. Besonders nachhaltig wirkte sich die Ausbildung von Nachwuchskräften aus, resultierten doch etwa 90 Diplomarbeiten, 30 Dissertationen und 8 Habilitationen aus den dargelegten Forschungskomplexen. Im Industriezweig bekannte Namen wie R. FÖRTSCH, H. HOFFMANN, H. KLOTH, CHR. und J. KÜRSCHNER, G. LIEBMANN, J. NÄTHER, R. PAHLITSCH, H. RÖSER, H. VOIGT und F. WINKLER stehen ebenso für dieses

gemeinsame Anliegen wie die Namen von heutigen akademischen Lehrern wie der Professoren H. HOLLDORF und W. VOIGT in Freiberg, A. KÖNIG in Erlangen und TH. FANGHÄNEL in Dresden. Alle Genannten erwarben ihre akademischen Würden auf den dargelegten Arbeitsgebieten.

Eine enge jahrzehntelange Ausbildungs- und Forschungszusammenarbeit mit der Universität Oslo (GRJOTHEIM), der NTNU Trondheim (FØRLAND), dem KURNAKOV-Institut Moskau (LEPESCHKOV, VALYASHKO), der Chemisch-technologischen Hochschule Leningrad (POSIN), dem Institut für Halurgie Leningrad, dem Rensselaer Polytechnic Institute Troy, USA (JANZ) und der Forschungsgruppe „Anorganische Salze" an der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften in Sofia (BALAREW), um nur die wichtigsten zu nennen, beeinflußte und förderte maßgebend unsere Tätigkeit im Rahmen von Gastprofessuren, von langfristigen Arbeitsaufenthalten, besonders auch junger Mitarbeiter, von internationalen Forschungsprojekten ebenso wie die gemeinsame wissenschaftliche Publikations- und Vortragstätigkeit.

Diese über Jahrzehnte gewachsene Forschungslandschaft in der DDR wurde 1990 praktisch in kürzester Zeit liquidiert. Die weitgehend erhaltenen über 4000 Forschungsberichte, die zahlreichen nationalen und internationalen Patente, Publikationen und akademischen Qualifizierungsarbeiten legen auch heute Zeugnis ab über die Kreativität der Kaliforschung, was zunehmend nicht nur zur Kenntnis genommen, sondern auch akzeptiert wird. Ein Trend, der ja generell zur Leistungsfähigkeit der DDR-Forschung zu registrieren ist, wenn man ernstzunehmende Reden und Publikationen verfolgt.

Eine Gruppe ehemaliger KFI-Mitarbeiter schloß sich in der Kaliumwelttechnik GmbH. (K-UTEC Sondershausen) zusammen. Sie setzt seit diesem Zeitpunkt außerhalb der Kali und Salz AG in möglichem Umfang mit einem modernisierten Profil die Tradition des Kaliforschungsinstituts fort.

3.3 Zur Kaliforschung – heute

Heute bestehen die Aufgaben in Forschung und Entwicklung im wesentlichen in der Entwicklung neuer Produkte und der Anpassung der Produktqualitäten an den sich wandelnden Markt sowie in Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei den Abbau-, Aufbereitungs- und Konfektionierungsverfahren. Aus dem Übertagebereich seien folgende ausgewählte Arbeiten genannt:

- Untersuchungen zu einem Aufbereitungsverfahren für bisher nicht abgebautes Rohsalz des Werkes Sigmundshall,
- Verfahren zur Abtrennung von Begleitmineralien aus Kieserit,
- erfolgreiche Testung eines Lamellenklärers in der K_2SO_4-Produktion,
- Versuche zu alternativen Flotationshilfsmitteln,
- Verbesserung der Reinheit von NaCl-Produkten,
- Untersuchungen an Kristalloberflächen zur Optimierung der Aufbereitungsverfahren,
- Möglichkeiten zur Gewinnung von Wertstoffen, die nur in geringen Mengen in den Rohsalzen vorhanden sind [53].

Die beiden letztgenannten Themen wurden in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern an Hochschulen bzw. Fachinstituten durchgeführt. Institutionalisierte Einrichtungen der Lehre und Forschung unter dem Aspekt der Chemie und Technologie Anorganischer Salze gibt es nicht mehr. An den Instituten für Anorganische Chemie und Technische Chemie der Bergakademie Freiberg hat die Mineralsalzforschung bei W. VOIGT und H. HOLLDORF und Mitarbeitern auch weiterhin einen Platz. So wurde im Zusammenhang mit Forschungen und Entwicklungen zur Endlagerung von radioaktiven und toxischen Abfällen in Salzstöcken eine mehrbändige Datenbasis in Form eines Standard-Daten Files (bfs) zur geochemischen Modellierung der Reaktion salinarer Lösungen mit dem Gebirge von W. und H. VOIGT publiziert, die den Nutzer in die Lage versetzt, Daten zu Lösungsgleichgewichten einschließlich des hexären Systems abzufragen, auf Zuverlässigkeit zu überprüfen, neue Daten einzuordnen und Fehlstellen zu analysieren [54]. Arbeiten über Lösungsprozesse im carnallitischen Salzgebirge einschließlich ihrer Modellierung und zur Phasenbildung und -stabilität in sulfatischen, calciumhaltigen Systemen erweitern das Spektrum der Grundlagenuntersuchungen [55]. Auf geochemische Probleme, wie sie z. B. im GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Braunschweig (H.-J. HERBERT) bearbeitet werden, sei hier nur hingewiesen. H. HOLLDORF und G. ZIEGENBALG setzen die Untersuchungen zur provozierten Mineralsynthese u. a. mit der kanadischen Kaliindustrie erfolgreich fort und konnten das Prinzip auf Probleme der ehemaligen Wismut AG. im Elbsandsteingebirge im Zusammenhang mit der Fixierung von Schwermetallen ausdehnen [56], [57].

4. Schlußbemerkung

Die zukünftige Entwicklung der Mineralsalzindustrie in Deutschland dürfte bestimmt sein durch Stabilität im Stand der Technik und Technologie, Flexibilität in der Produktpalette mit besonderem Akzent auf nichtchloridischen Mehrkomponentendüngern und durch eine weitere Konzentration auf den europäischen Markt. Daraus ergibt sich, dass sich grundsätzlich neue Gewinnungs- und Verarbeitungsmethoden einschließlich anorganischer Synthesen nicht abzeichnen, was natürlich die Forschung und damit die Salzchemie maßgeblich beeinflußt.

Mit Sicherheit werden wir 2011 den 150. Jahrestag des Beginns der Kaliindustrie mit einem allseits beachteten deutschen Anteil – wenn auch, wie schon länger ohne Monopol- oder Vormachtstellung – feiern können. Ob es zum 200. Jahrestag noch eine deutsche Kaliindustrie geben wird, ist schwieriger zu beantworten. Andere Länder werden sich verstärkt zu Wort melden. Meine Tätigkeit der letzten Jahre in China, das wie andere Länder außerhalb Europas hochinteressante Vorkommen an Salzen besitzt, fördert diese Meinung.

Literatur

[1] Festschrift zum X. Allgemeinen Deutschen Bergmannstag zu Eisenach 1907, Berlin 1907, S. 3

[2] Hauske, K.-H.; Fulda, D. u. a.: Kali – das bunte, bittere Salz, Leipzig 1990; S. 30, 43

[3] Hoffmann, D.: Elf Jahrzehnte deutscher Kalisalzbergbau, Essen 1972, S. 15

[4] Krische, P.: Das Kali 1. Teil, Stuttgart 1923, S. 178ff.

[5] siehe [2], S. 80

[6] Emons, H.-H.; Duchrow, G.: Der Anschnitt 52 (2000), H. 2–3, S. 54–63

[7] Storm, E.: Kali, verwandte Salze und Erdöl XXIV (1935), H. 12, S. 126–129

[8] Siehe [3], S. 47

[9] Siehe [4], S. 227

[10] Siehe [4], S. 165

[11] Siehe [2], S. 93
[12] Siehe [2], S. 102
[13] Ohlendorf, K.: Abriß zur Geschichte der Kaliindustrie in Deutschland, S. 43, Erfurt 1961
[14] Rosterg, H.: Der deutsch-französische Kalivertrag, Dr. jur.-Dissertation Universität Leipzig 1928, S. 74–75
[15] Ohlendorf, K.: Die Unterstützung reaktionärer Kräfte und der NSDAP und ihrer Organisationen durch die monopolistischen Vereinigungen in der deutschen Kali-Industrie vor und nach der Machtergreifung und die Folgen für europäische Völker und das deutsche Volk, unveröffentlichtes Manuskript, Wolmirstedt 1986, 208 S.
[16] Personenkartei des Vereinigten Betriebsarchivs der Kaliindustrie des VEB Kombinat Kali; Universitätsarchiv Rostock über die Zuerkennung des Dr. h.c. 1931; Zentrales Staatsarchiv Potsdam, 80Kal, Kalisyndikat Nr. 10
[17] Zumpe, L.: Wirtschaft und Staat in Deutschland, Band 3, (1933–45), Berlin 1980, S. 37, 38, 405; Personenkartei des VBAK
[18] Siehe [17], S. 240, 248, 403, 408; siehe [15], S. 181–182
[19] Nach Statistiken der Kaliprüfstelle von K. Ohlendorf berechnet
[20] K+S AG-Kommunikation (Hrsg.): Ein Jahrhundert Kalibergbau an Werra und Ulster, S. 9
[21] Siehe [2], S. 113, 148
[22] Siehe [3], S. 84
[23] Kali und Salz GmbH, Kassel (Hrsg.): 100 Jahre Sigmundshall 1898–1998,Kassel 1998, S. 17
[24] Emons, H.-H.: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät Bd. 26 (1998), H. 7, S. 35–62
[25] Eisenbach, U.; Paulinyi, A. (Hrsg.): Die Kaliindustrie an Werra und Fulda, S. 225, 230, Hessisches Wirtschaftsarchiv, Darmstadt 1998
[26] Kali und Salz AG, Kassel: Geschäftsberichte 1997–1999
[27] Hoffmann, D.: Elf Jahrzehnte deutscher Kalisalzbergbau, Essen 1972, S. 88
[28] Hauske, K.-H., Fulda, D. u. a.: Kali – das bunte, bittere Salz, Leipzig 1990, S. 203–219

[29] Eisenach, U., Paulinyi, A. (Hrsg.): Die Kaliindustrie an Werra und Fulda, S. 106–116; Hessisches Wirtschaftsarchiv Darmstadt 1998
[30] Emons, H.-H. (Federführung) und weitere Autoren: Technische-Anorganische Chemie 4. Auflage, Leipzig 1990, S. 176–194
[31] Siehe [29], S. 138, 154, 157
[32] Stahl, I.: Kali und Steinsalz 12 (1996), H. 1, S. 4–17
[33] Serowy, F.: Freiberger Forschungshefte A 267 (1963), S. 25–37
[34] Cohen, E.: in Das Buch der großen Chemiker (Hrsg. G. Bugge), S. 405–406
[35] Autenrieth, H.: Kali und Steinsalz 5 (1970), H. 9, S. 289–306
[36] Kühn, R.: Heidelberger Geowiss. Abh: 6 (1986), S. 265–284
[37] Karsten: Z. anorg. allg. Chem. 263 (1950), S. 292–304
[38] Rödiger, K.: in III. Internationales Kali-Symposium 1965, Teil I, Leipzig 1967, S. 11–23
[39] Kahle, K., Scherzberg, H.: Vortrag auf dem 1. Sondershäuser kalibergbauhistorischen Symposium 1999
[40] Bartl, H.: Vortrag auf dem 1. Sondershäuser kalibergbauhistorischen Symposium 1999
[41] Emons, H.-H., Voigt, W.: Sitzungsberichte der AdW der DDR, Akademie-Verlag Berlin 15 N (1981), S. 4–39
[42] Emons, H.-H.: Sitzungsberichte der AdW der DDR, Akademie-Verlag Berlin, 19 N (1981), S. 55–75
[43] Emons, H.-H., Fanghänel, Th., Voigt, W.: Sitzungsberichte der AdW der DDR, Akademie-Verlag Berlin, 3 N (1986), S. 5–30
[44] Emons, H.-H., Naumann, R., Schulz, P., Eildermann, Ch., Füllgraff, P., Günther, A.: Z. Chem. 29 (1989) 10, S. 353–368
[45] Emons, H.-H., Chrenkova, M., Danek, V.: Sitzungsberichte der SAW zu Leipzig, Kl. Math. Nat., Bd. 124, H. 3, Berlin 1994, S. 1–32
[46] Emons, H.-H., Winzer, A. u. a.: Freiberger Forschungshefte A 600 (1979), S. 7–148
[47] König, Ax., König, An., Emons, H.-H.: Freiberger Forschungshefte A 776 (1988), S. 113–124
[48] Emons, H.-H., Voigt, H.: Kali und Steinsalz 12 (1995), S. 404–432
[49] Emons, H.-H., Ziegenbalg, G., Gaitzsch, H.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 135 (1990), 8, S. 256–261

[50] Pinske, G., Emons, H.-H., Voigt, H.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 140 (1995), S. 109–114

[51] Emons, H.-H., Walter, H.-H.: Mit dem Salz durch die Jahrtausende, Leipzig 1986

[52] Emons, H.-H., Walter, H.-H.: Alte Salinen in Mitteleuropa, Leipzig 1990

[53] Kali und Salz AG Kassel: Geschäftsberichte 1997–1999

[54] Voigt, H., Voigt, W.: Abschlußbericht TU Bergakademie Freiberg 1998

[55] Voigt, W., Voigt, H., Jockel, A.: Vortrag auf der Tagung „Aspekte der Langzeitsicherheit bei der Nutzung und Stillegung von Kali- und Steinsalzbergwerken", Sondershausen 2001

[56] Ziegenbalg, G., Holldorf, H.: Beitrag auf dem „Fall 1995 Meeting" San Antionio, Texas USA, Solution Mining Research Institute, 1745 Chris Court Deerfield, Illinois

[57] Ziegenbalg, G.: Mine, Water & Environment, 1999, IMWA Congress, Sevilla, Spain, S. 667–672

Hartmut Baumbach

Die Qualität von technischen, technologischen und Dienstleistungsprozessen*

1. Der Begriff: Entwicklung und Definition
2. Der Zweck: die Prüfung
3. Das Management: die Modellierung und die prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung

1. Der Begriff: Entwicklung und Definition

Historisch gesehen stammt der Begriff *Qualität* im europäischen Sprachraum von Plato (Theaetetus 182a). Sein dafür benutztes Wort *poiotes* wurde von keinem geringeren als Cicero selbst ins Lateinische übersetzt mit *qualitas, -atis*[1]. Aristoteles verwendet den Begriff Qualität als philosophische Kategorie (Kategorien, oberste Begriffe, 57) und versteht darunter verkürzt gesagt die Beschaffenheit, und ist somit verschieden vom allgemeinsprachlichen Verständnis im Sinne von Vortrefflichkeit, Exzellenz oder Anspruchsklasse.

Inzwischen haben sich der Begriffsumfang und der Kontext, in denen der Begriff verwendet wird, reichlich entwickelt. So schreibt Kurt Wais über die Grundlagen und Qualität von Balzacs Vater Goriot[2], veröffentlicht die Bundesministerin für Justiz die Satzung für Qualitätskontrolle der Wirtschaftsprüferordnung[3], publizieren die Herren Röbbecke und Simon, dass es „weder klar (ist), was unter >Qualität der Forschung< zu verstehen ist, noch ob und in welcher Form Evaluationen ein geeignetes Instrument zur >Qualitätssicherung< sein können."[4]

Qualität wird mittels Qualitätsmanagement gemacht. Das Qualitätsmanagement ist eine junge Wissenschaft, die sich etwa seit den 40er Jahren des

* Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 21. Juni 2001

20. Jahrhunderts etabliert hat. Pioniere auf diesem Gebiet waren in der neuen Welt die *American Society for Quality Control ASQC*[5], in Europa die Nieder*ländische Dutch Foundation of Quality KDI* und die *Deutsche Gesellschaft für Qualität DGQ*[6]. 1956 wurde die *European Organization for Quality EOQ*[7] gegründet. Sie widmete sich mit dem „glossary of terms" von Anfang an der Klarstellung von Begriffen.

Die Qualität eines Produktes, einer Dienstleistung oder eines Prozesses wird durch eine Evaluation, eine Prüfung oder ein Audit ermittelt.

„Gérard Toulouse, Physiker und Kognitionswissenschaftler an der Pariser Ecole Normale Supérieure erklärte das 21. Jahrhundert kurzerhand zum Jahrhundert der Evaluation".[8] Bis 1970 war der Begriff *Evaluation* in keinem der größeren deutschsprachigen Lexika zu finden, wohl aber in der Encyclopædia Universalis France.

Der Begriff *Evaluation* kommt von *valere, valeo, valui*, d.h. im engeren Sinne *stark werden, an Kraft zunehmen* und im übertragenen Sinne *dem Werte nach*. Es wird im Perfekt benutzt im Sinne von *vermögen* und *im Stande sein*[9]. In neuerer Zeit wird *evaluieren* vom französischen *evaluer = abschätzen* abgeleitet und hat im Bildungsbereich den Sinn von sach- und fachgerechter Bewertung.[10]

Diese war, was die Evaluierung der Bildungs- und Forschungslandschaft Anfang der 90er Jahre in den neuen Bundesländern betrifft, hinsichtlich der Auditoren meist von Sorgfalt und ernstem Bemühen getragen. Hinsichtlich der Bewertung durch den Wissenschaftsrat war dies eher der Ausnahmefall und politisch vorgeprägt. Diese Evaluierung war insofern methodisch einfach, als als Selektionskriterium die vermeintliche oder tatsächliche sogenannte Staatsnähe diente. Die Konsequenz war die Abwicklung. Der Begriff ist definiert bei H. Göring, „Ausführungsbestimmungen über Arisierung der jüdischen Wirtschaft".

Ab Mitte der 90er Jahre wurde sie in den alten Bundesländern einerseits zur Systemevaluierung der Max-Planck- und Fraunhofer-Modelle, und andererseits zur Evaluierung der Institute der Blauen Liste (Leibniz-Gemeinschaft). Hier ging es um die Evaluierung von Forschungseinrichtungen und nicht um die von Forschungsprogrammen oder Förderkriterien. Die Qualitätsmerkmale von Forschungsinstituten sind relativ einfach, klar, durchsichtig und akzeptabel zu formulieren.

Die Evaluierung der Universitäten und Hochschulen ist IM WESENTLICHEN steckengeblieben. Das liegt ursächlich in der Problematik der Definition der wesentlichen Qualitätsmerkmale, denn: „Qualität ist nicht nur, die Sachen richtig zu machen, sondern auch die richtigen Sachen zu machen."[11], d.h.: wer definiert die Qualitätsmerkmale? (s. auch Abb. 2). Qualität ist eine Produkt- oder Dienstleistungseigenschaft, die dessen/deren Gebrauchtauglichkeit charakterisiert, und keine Aussage über die Forderungen oder Erfordernisse, welche die Gebrauchstauglichkeit bestimmen. Wer ist Kunde und wie kommt der Kunde oder Auftraggeber zu seinen Anforderungen? Im Januar 2001 hat die EU in ihrer Ausschreibung zum IHP-Programm „Gemeinsamer Bestand an Indikatoren für Wissenschaft, Technologie und Innovation" einen Aufruf zur Einreichung von Vorschlägen dieser Art gestartet[12], d.h. die Dinge sind noch im Fluss.

Die Fragen der Ethik und der Verantwortung der in der Wissenschaft Beschäftigten werden seit Hiroshima, Nagasaki und den Anwendungen der Genforschung intensiv diskutiert. In der EU gibt es eine Ethikkommission[13]. Damit in Zusammenhang stehen die Bemühungen der EK, die Wissenschaft wieder in den Mittelpunkt der Gesellschaftlichen Diskussion zu stellen.

Der Begriff *Evaluation* kommt somit in eine Reihe zwischen *Audit*[14], *Prüfung (s. unten)* und *Inquisition* zu stehen. Er hat in jüngster Zeit eine ähnliche Modifikation erfahren wie der Begriff *Inquisition* in den zurückliegenden 2000 Jahren. Dieser leitet sich ab von *inquisitio, inquisitionis* = 1. *Suchen, Auffinden, Zusammensuchen*, 2. *Untersuchung, Erforschen*, und zwar im philosophischen und im rechtlichen Sinn. Die Inquisition hatte im Römischen Reich vor Kaiser Konstantin dem Großen im schwersten Fall geistliche Bußmittel zur Folge, mit anderen Worten: nur wer an die Sache glaubte, sollte zum Festmahl erscheinen. Erst als das Christentum im Römischen Reich zur Staatsreligion wurde, sind Zwangsmaßnahmen gegen Häretiker eingesetzt worden. Erst im frühen Mittelalter wurden kirchliche Vergehen mit weltlichen Strafen belegt. Mit dem zunehmenden Einfluss der Albigenser, Waldenser, Bogumilen und anderen wurde die Inquisition zur Institution. Diese Verschärfungen wurden unter dem so geachteten Kaiser Friedrich dem I. Barbarossa eingeführt. Mit dem Konzil von Toulouse 1229 wurde durch den Übergang von der bischöflichen zur päpstlichen Inquisition, also der Zentralisierung und Institutionalisierung, die Wirksamkeit der Inquisition erhöht. Als Inquisito-

ren wurden nun Dominikaner und später auch Franziskaner tätig. Kaiser Friedrich II. führte in diesem Zusammenhang in seinen Krönungsgesetzen die Todesstrafe durch Verbrennen ein. Er führte folgende Prozedur ein: erstens: Selbstanzeige, zweitens: Denunziation, drittens: Vorladung, Vorführung, Verhaftung, viertens: Untersuchung mit dem Ziel des Schuldbekenntnisses, fünftens: Geheimhalten der Denunzianten und Zeugen und sechstens: keine Zulassung von Verteidigern. Schließlich genehmigte Papst Innozenz IV. im Jahre 1382 die Folter. Der Strafenkatalog enthielt: 1. Einfache kirchliche Strafen, 2. Konfiszieren der Güter, 3. Überantwortung an die weltlichen Instanzen zur Vollstreckung des Todesurteils durch Verbrennen. In Deutschland war diese Periode der Inquisition im Vergleich zu anderen europäischen Ländern relativ kurz, weil der Großinquisitor Konrad von Marburg nach zweijähriger Tätigkeit 1233 erschlagen wurde. Mit dem zweiten Vatikanischen Konzil 1965 verzichtete der Heilige Stuhl auf weltliche Zwangsmaßnahmen infolge religiöser Verfehlungen.[15]

Gegenwärtig wird der Begriff *Qualität* in wenigstens 10 verschiedenen Kontexten definiert[16], wovon hier die wesentlichen sind

- Philosophie
- Linguistik, Musik und Phonetik (Klangfarbe)
- Leben allgemein (Vortrefflichkeit)
- Wissenschaft, Lehre und Forschung
- Produkte und Dienstleistungen der Wirtschaft (Gebrauchstauglichkeit)

Ein historisches Dokument zur Qualität von Produkten der Wirtschaft ist der Erlass des russischen Zaren Peters des I. über die Qualität vom 11. Januar 1723. Darin ist drastisch formuliert, wie das Qualitätsmanagement zu arbeiten hat und wie die entsprechende Motivation in einem ausgewogenen Verhältnis von Tadel und Lob geweckt wird. Im Originaltext liest sich das auszugsweise und in deutscher Übersetzung wie folgt:

„... Die Inspektoren und ihre Gehilfen haben zu prüfen, wie die Aufseher die Gütestempel erteilen. Im Zweifelsfalle haben sie selbst nach eigener Sicht- und Schussprüfung zu urteilen. ... Falls im Heer bei Schlachten Verluste wegen unzureichender Aufsicht durch die Inspektoren und Gehilfen auftreten, so sind diese durch Schläge auf den entblößten Körper erbarmungslos auszupeitschen und wie folgt zu bestrafen. ... befehle ich, den Inspektoren und

ihren Gehilfen Häuser nicht schlechter als das Herrenhaus zu bauen. Falls sie schlechter sind, so soll Demidov [der mit dem Ukas neu berufene Direktor der Tulaer Waffenfabrik] nicht beleidigt sein, wenn ich befehle, ihn vom Leben zum Tode zu befördern." (Abb. 1)

Abbildung 1: Ukas Peters des I. über die Qualität

ПЕТР I
О КАЧЕСТВЕ
УКАЗ

Peter I. Über die Qualität / UKAS vom 11. Januar 1723
Übersetzung: K.-P. Steiger

Ich befehle:

den Herren der Tulaer Fabrik , Kornil Beloglasov, weil er ein Schurke ist, der es wagte, an die Truppen des Staates unbrauchbare Kanonen und Gewehre zu verkaufen, auszupeitschen und zur Arbeit in die Klöster zu verbannen.

den Oberaufseher, Frol Fuchs, auszupeitschen und nach Asow zu verbannen; er sollte keine Gütestempel in schlechte Waffen schlagen.

Der Verwaltung für Bewaffnung wurde befohlen, ihren Sitz von Petersburg nach Tula zu verlegen und Tag und Nacht die Funktionsfähigkeit der Waffen zu überwachen.

Die Inspektoren und ihre Gehilfen haben zu prüfen, wie die Aufseher die Gütestempel erteilen. Im Zweifelsfalle haben sie selbst nach eigener Sicht- und Beschußprüfung zu urteilen. Monatlich sind zwei Waffen einer Beschußprüfung bis zum Ausfall zu unterziehen.

Falls im Heer bei Schlachten Verluste wegen unzureichender Aufsicht durch die Inspektoren und Gehilfen auftreten, so sind diese durch Schläge auf den entblößten Körper erbarmungslos auszupeitschen und wie folgt zu bestrafen:

der Besitzer mit 25 Peitschenhieben und 1 Tscharwonze pro Waffe,
der Chefinspektor ist bis zur Bewußtlosigkeit auszupeitschen,
der Oberinspektor der Verwaltung ist zum Unteroffizier zu degradieren,
der Inspektor ist zum Schreiber zu degradieren. Dem Gehilfen ist das sonntägliche Glas Wodka auf die Dauer von einem Jahr zu entziehen.

Dem neuen Herren der Waffenfabrik, Demidov, befehle ich, den Inspektoren und ihren Gehilfen Häuser, nicht schlechter als das Herrenhaus, zu bauen. Falls sie schlechter sind, so soll Demidov nicht beleidigt sein, wenn ich befehle, ihn vom Leben zum Tode zu befördern.

Heutzutage ist etwas umständlicher und weniger drastisch, national und international verbindlich definiert[17]:„Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt."

Inhärente Merkmale gehören zu Produkten, Prozessen oder Systemen, z.B. als geometrisches Merkmal wie der Durchmesser einer Schraube, als physikalisches Merkmal wie der elektrische Widerstand eines Drahtes, als technisches Merkmal wie die Festigkeit eines Betonkörpers, als versicherungsrelevantes Merkmal, wie die Versagenswahrscheinlichkeit eines Bauteils, oder auch als dienstleistungstypisches Merkmal, wie die Wartezeit bei einem Callcenter.

Ein zugeordnetes Merkmal, z.B. der Preis für eine gemietete Wohnung, ist kein inhärentes Merkmal dieser, sondern des zugehörigen Mietvertrages.

Eine *Anforderung*[18] ist entweder ein Erfordernis, das in einem Vertrag, bzw. in einem Lastenheft des Auftraggebers, welcher Art auch immer spezifiziert und verbindlich vorgeschrieben ist oder eine Erwartung, die üblicherweise vorausgesetzt werden darf. Bei einem Kleidungsstück werden Größe, Farbe, Material und Design, ggf. auch Pflege und Waschanleitung angegeben und vorgeschrieben, und dass eine Jacke zwei Ärmel hat, wird üblicherweise vorausgesetzt. Von einem Automobil werden technische Spezifikationen in einem Begleitdokument bzw. Kaufvertrag angegeben und festgeschrieben, seine Gebrauchsfähigkeit wird üblicherweise vorausgesetzt.

Die Anforderungen werden von Kunden und anderen interessierten Parteien explizit oder implizit (Erwartungen) formuliert oder vorausgesetzt.

Der *Kunde* ist die „Organisation oder Person, die ein Produkt empfängt"[19], z.B. der Verbraucher, der Klient, der Endanwender, der Einzelhändler, der Nutznießer, der Käufer.

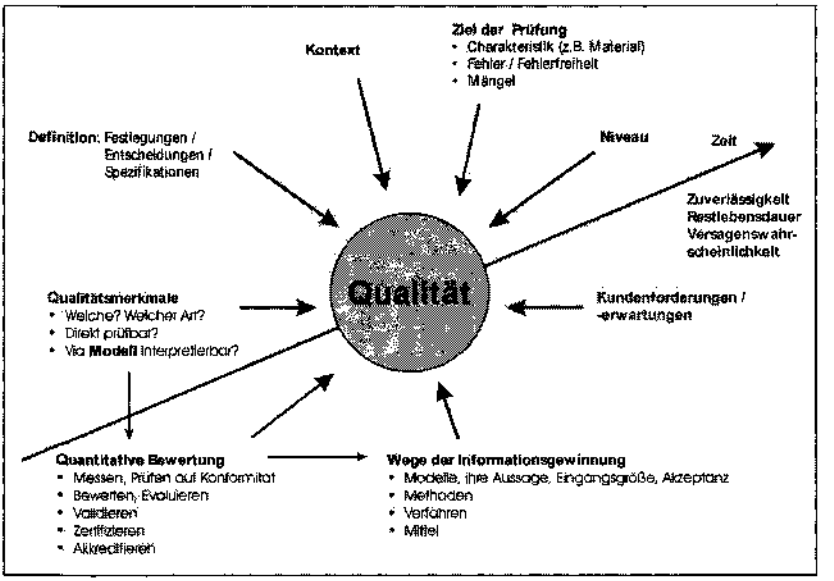
Interessierte Parteien sind „Person(en) oder Gruppe(n) mit einem Interesse an der Leistung oder dem Erfolg einer Organisation"[20], z.B. Kunden, Eigentümer, Angestellte, Lieferanten, Bankiers, Vereinigungen, Partner oder die Gesellschaft.

Dieser Begriff der Qualität in den Natur- und Technikwissenschaften und der Wirtschaft trägt *nicht* die Facette der Vortrefflichkeit, der Exzellenz, oder der Anspruchsklasse.[21]

Die in der Erläuterung des Begriffes Qualität genannten Erfordernisse werden von der Gesellschaft bzw. dem Kunden festgelegt, und zwar als Qua-

litätsmerkmale, d.h. Kenngrößen oder Kennwerte inkl. ihrer quantitativen Bewertung und der Wege zur Informationsgewinnung (Abb. 2).

Abbildung 2: Qualität



Hier liegt das erste Problem, z.B. im Hochschulbereich: Wer ist Kunde der Universität und bestimmt bzw. bezahlt damit diese Einrichtung? Der Student oder sein künftiger Arbeitgeber in der Industrie oder bei der öffentlichen Hand bzw. die Praxis, Kanzlei, Sozietät oder Firma, in der er selbständig arbeiten wird, oder auch die Gesellschaft (im föderalen Staatswesen das Land), sprich: der Steuerzahler, der die Universität budgetiert? Und wer oder was ist das Produkt der Universität? Der Absolvent oder die Lehrveranstaltung?[22,23] Und wie verträgt sich dieses mit dem Wertesystem der Gesellschaft, verankert im Grundgesetz als Freiheit der Lehre und Forschung?

Dazu die Universität der Bundeswehr München: „... die akademische Freiheit ... beinhaltet die Verpflichtung zur eigenverantwortlichen Gestaltung (des) Studiums – das heißt insbesondere *frei sein für* das Studium und nicht *frei sein vom* Studium".[24]

Der Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin, Prof. Hans Meyer, formulierte jüngst in diesem Zusammenhang: „Wenn die Universität nicht mehr als der Ort aufgefasst wird, an dem der Lehrende Leistung erbringt und der Lernende sich lediglich überlegt, ob er sie und wie er sie annimmt, dann bedeutet das Hochschulstudium eine Verpflichtung für beide Seiten."[25]

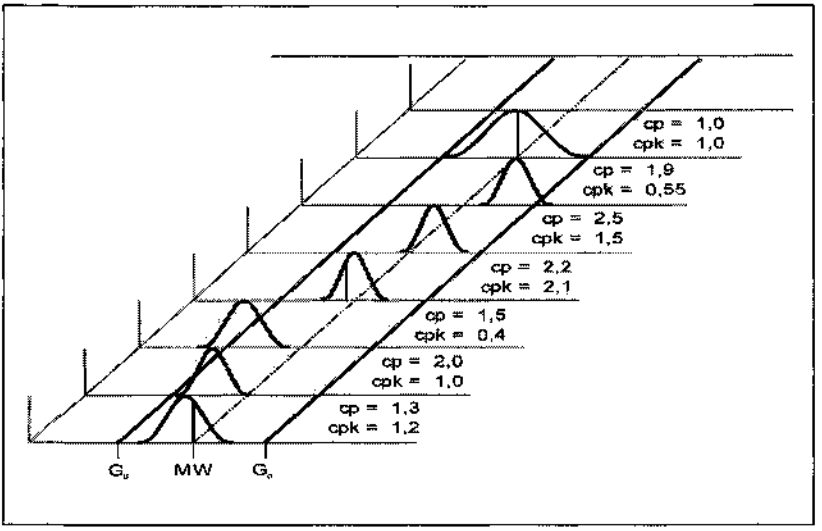
Für die Fächer, wo die zentrale Studienvermittlung wirksam wird, also der Student weder seine Fakultät, noch die Fakultäten ihre Studenten frei auswählen können, klafft der Widerspruch zwischen Macht und Entscheidung der Zentrale und Verantwortung der Fakultät für die Qualität der Ausbildung. Überall wo Macht und Verantwortung getrennt sind, wachsen Formalismus und Bürokratie. Andererseits bestehen bei Fächern ohne Zugangsbeschränkung nur geringe Möglichkeiten der Eingangsselektion, wodurch es angesichts der restriktiven finanziellen und personellen Bedingungen problematisch ist, exzellente Absolventen in großer Anzahl hervorzubringen.

Das zweite Problem liegt darin, eine möglichst hohe Produktivität bei gleichzeitiger definierter und hoher Qualität der mit dem Prozess – seien es Fertigung-, Forschungs- oder Ausbildungsprozesse – erzeugten Produkte zu erreichen. Dazu bedarf es wenigstens zweier Voraussetzungen: 1. der Prozess muss stabil sein, d.h. beherrscht werden; das ist er dann, wenn die Streuung s und die Lage des Mittelwertes MW des inhärenten Qualitätsmerkmales konstant sind; und 2. der Prozess muss (qualitäts-)fähig sein. Die Prozessfähigkeit wird mit Hilfe zweier Indices beschrieben: C_P und C_{PK}. C_P ist der Quotient von Toleranz und Prozessstreuung (hier z.B. $6 \times s$). Der Faktor vor der Streuung s wird durch die Anzahl der Ausreißer bestimmt, die man im Los zulassen will bzw. mit einer Versicherungsprämie abgedeckt hat. Die Toleranz ist die Differenz von oberem Grenzwert G_O und unterem Grenzwert G_U, d.h. $C_P = G_O - G_U / 6 \times s$. Die Grenzwerte G_O und G_U eines Endproduktes werden vom externen Kunden auf dem Markt bestimmt. In einer Fertigungskette hängen die akzeptablen Toleranzen von den Kosten, mit denen man sie erreicht, und von den Folgekosten ab, die sie in der Weiterverarbeitung verursachen.

$C_{PK} = C_P(1\text{-}K)$. K kennzeichnet die Zentrierung des Prozesses ($K = 0$ entspricht einem zentrierten Prozess) und berücksichtigt die Abweichung des Mittelwertes (Lage des Prozessniveaus) μ zur Mitte des Toleranzbereiches. Der Prozess heißt fähig, wenn $C_P > 1$ ist. C_{PK} ist stets $\leq C_P$ (Abb. 3). Ist $C_P < 1$,

führt der Prozess zu fehlerhaften Produkten. Ist C_p=1 bei optimaler Zentrierung (K=0), so bedeutet 6 × s, dass 0,3% der Teile fehlerhaft sein können und schon geringe Abweichungen von der optimalen Einstellung K=0 zu einer deutlichen Zunahme des Ausschusses führen. Kundenforderungen von C_p =1,33 ... 2 sind heute normal.

Abbildung 3: Prozessfähigkeit



Alle Verteilungen von relevanten Qualitätsparametern auf einem Mittelwert MW zu halten ist einerseits unmöglich und andererseits unwirtschaftlich. Die Stabilität des Prozesses ergibt sich nicht nur aus einem Wert, sondern aus einer Reihe von Werten, weil der Prozess nicht nur aus einem Schritt besteht. Stabilität oder Beherrschung des Prozesses bedeutet:

1. Dass die Schwankungen der Qualitätsparameter innerhalb der Grenzwerte liegen, d.h. der Mittelwert der Verteilung liegt innerhalb der Grenzwerte, und es gibt keinen Ausreißer der Verteilung außerhalb der Toleranzschranken bzw. Grenzwerte.

2. Die Ursachen der Schwankungen der Einzelwerte um den Mittelwert sind bekannt und werden beherrscht.

2. Der Zweck: die Prüfung

Ziel und Zweck der Definition von Qualitätsparametern ist die Möglichkeit und der Vorgang des Prüfens auf Konformität von inhärenten Produktmerkmalen und Kundenforderungen. Die Ermittlung der genannten Werte und Größen ist Gegenstand der Prüfung.

Der Sinn des Wortes *prüfen* bezieht sich bei Konfuzius[26] noch auf den Menschen, im Alten Testament bereits ebenso auf die Rede wie auf die Speise[27], also Materialien. Das deutsche Wort *prüfen* leitet sich aus dem Lateinischen *probare, -avi, -atum* ab und beinhaltet sowohl im eigentlichen Sinn die Prüfung auf physische Eignung und im übertragenen Sinn auf moralische Tüchtigkeit.[28] Im Mittelhochdeutschen bedeutet *prüeven*: *erwägen, erkennen, beweisen, erproben.*[29]

Ältere Lexika beziehen die Prüfung, das Examen, auf die Erforschung der Richtigkeit einer Lehre oder Aussage, des *Wertes einer Sache* oder der Tüchtigkeit eines Menschen, letztere in Zusammenhang mit Schulwesen oder Staatsdienst, und außerdem im Sinne einer kritischen Untersuchung von Geschäftsvorfällen und sonstigen Vorgängen auf ihre Ordnungs-, Gesetz- oder *Zweckmäßigkeit.*[30]

Interessanterweise sind unter *Materialprüfung* bereits im Jahre 1897[31] alle modernen Aspekte der zerstörungsfreien Prüfung (zfP) und des Qualitätsmanagements enthalten:

„Materialprüfung: die Prüfung von Materialien verschiedener Art bezweckt die Feststellung der Eigenschaften in qualitativer und quantitativer Beziehung, von welchen die Brauchbarkeit, Anwendbarkeit, Dauer, Haltbarkeit oder der Gebrauchswert in gesundheitlicher, ökonomischer und konstruktiver Hinsicht abhängt ...

Sehr häufig handelt es sich um den Nachweis von Verunreinigungen, welche der Ware von ihrer Bereitstellung her anhängen, oft aber auch um direkte Verfälschungen, die in ausgedehntem Maß betrieben werden. Gibt es doch Fabriken, welche nur geeignete Fälschungsmittel herstellen: gesiebten und

gefärbten Sand zur Verfälschung von Sämereien (Kleesaat) und wertlose Mischungen verschiedener Art zur Verfälschung von Gewürzen ...

Mit dem Ergebnis der chemischen und mikroskopischen Analyse ist aber nicht immer ein Maßstab zur Beurteilung der Ware geliefert, denn häufig kommen noch Behältnisse in Betracht, welche sich jeder Untersuchung entziehen und besser durch Auge, Zunge, Nase festgestellt werden. Und andererseits bedarf es genauer Kenntnisse der Geschäftsverhältnisse, um die Bedeutung der Untersuchungsergebnisse richtig zu beurteilen. Es ist zugegeben, dass die Unredlichkeit im geschäftlichen Verkehr eine bedenkliche Höhe erreicht hat, andererseits aber stellt auch häufig das Publikum unberechtigte Anforderungen an die Ware. Zur Größe und Sicherung des Verkehrs sind daher auch durch Gesetze, Verordnungen und Vereinbarungen in den Interessenkreisen bestimmte Normen aufgestellt worden, nach welchen die verschiedenen Waren zu beurteilen sind...; Desgleichen wurden Prüfanstalten erreichtet, in welchen von autoritativer Seite Untersuchungen bestimmter Materialien vorgenommen werden ... "

Das englische *test* bezeichnet eine kritische Untersuchung, Beobachtung oder Abschätzung. Es hat seinen Ursprung im Lateinischen. *Testum* war die allgemeine Bezeichnung für ein Tongefäß. Im Mittelalter wurde der davon abgeleitete Begriff *test* als Bezeichnung für eine spezielle Art von Gefäß verwendet, welches für die Prüfung von Edelmetallen genutzt wurde. Es handelt sich dabei um eine Kupelle (Engl. *cupel*), eine flache, wasserdurchlässige Schale. Wird unreines Gold oder Silber darin erhitzt, werden die Verunreinigungen durch die durchlässigen Stellen herausgesiebt, so dass nur der reine Gold- bzw. Silberanteil übrigbleibt. *Test* wurde im 14. Jahrhundert als alternative Bezeichnung für diesen Begriff ins Englische übernommen. Später wurde er metaphorisch verwendet. *To put something to the test* besagt, dass etwas einer Prüfung unterzogen wird, um seine Qualität bzw. „Echtheit" zu bestimmen[32].

In der DIN EN ISO 9000-2000 wird dem deutschen Begriff *Prüfung* das französische *Contrôler* im Sinne „Konformitätsbewertung durch Beobachten und Beurteilen, begleitet – soweit zutreffend – durch Messen, Testen oder Vergleichen"[33] zugeordnet, und der englische Begriff *test* im Sinne von „Ermitteln eines oder mehrerer Merkmale nach einem Verfahren"[34] definiert.

Contrôler verwendet den Präfix *con* im Sinne von *gegen*, und *rôle* im Sinne von *Liste*. Das Wort bedeutet Gegenregister, Gegenrechnung, historisch auch „Tagebuch eines Majors über Offiziere beym Regimente"[35]. *Contrôler* entspricht außer seinem verbalen Inhalt „ins Gegenregister eintragen[36]" dem ursprünglichen *to test* im Sinne von „Gold- und Silbergeschirr Stämpeln[37]" und bedeutet ferner im übertragenen Sinne *tadeln* (*contrôleur*: der *Tadler*).

Die im Deutschen geläufige Vielfalt der Begriffe für ähnliche Sachverhalte im Umfeld des Prüfens, und dies mit unterschiedlichem Überdeckungsgrad und Kontext, findet sich auch aktuell und ursprünglich in anderen lebenden Sprachen, so im Französischen etwa als

- *inspecter*: *in Augenschein nehmen, Aufsicht haben, nachsehen.*
- *examiner*: *untersuchen, genau betrachten*
- *étudier*: *sich genau mit etwas bekannt machen*
- *éplucher*: *(her)ausklauben* oder *épluchement*: *ein Werk genau untersuchen.*[38]

Der aktuelle russische Begriff *контролировать*[39], *prüfen,* leitet sich vom niederhochdeutschen *kontrollieren* (schon 1598) ab oder direkt vom französischen *contrôler* her.[40]

Zar Peter I. verwendet in seinem „Befehl über die Qualität" vom 11. Januar 1723 für *prüfen* das Wort *проверить*: *nachprüfen, revidieren.*[41]

Das präfixfreie Wort *верить* heißt *glauben*, und findet sich im Tschechischen als *věřiti* und im Polnischen als *wierzyć*.[42]
Der japanische Begriff 試験 (*siken*) für Prüfung enthält als erstes der Kanji-Zeichen jenes für *sprechen, fragen.*[43]

Sinngemäß und zusammenfassend nach DIN EN 45020: 1998, 13.1 und EN DIN 1319-1: 1995-01, 2.14 ist es vom Standpunkt des Geschäftsfelds der zerstörungsfreien Prüfung zweckmäßig, wie folgt zu definieren:
„Prüfen heißt feststellen, inwieweit die betrachtete Einheit eine oder mehrere vereinbarte oder festgelegte oder erwartete Merkmale/Größen, Werte, Parameter, Konformität erfüllt, insbesondere innerhalb vorgegebener Fehlergrenzen oder Toleranzen."

Der Begriff des Prüfens wird je nach Zweck und Kontext in geltenden Normen unterschiedlich definiert. Im Rahmen des Qualitätsmanagements hat der

Vergleich von Qualitätsmerkmalen auf Konformität mit Anforderungen Präferenz[44]. Im Rahmen der Normung dominiert im Begriff des Prüfens die Feststellung bzw. Ermittlung der Prüfgröße[45]. Für die Zwecke der Messtechnik werden beide Aspekte berücksichtigt[46].

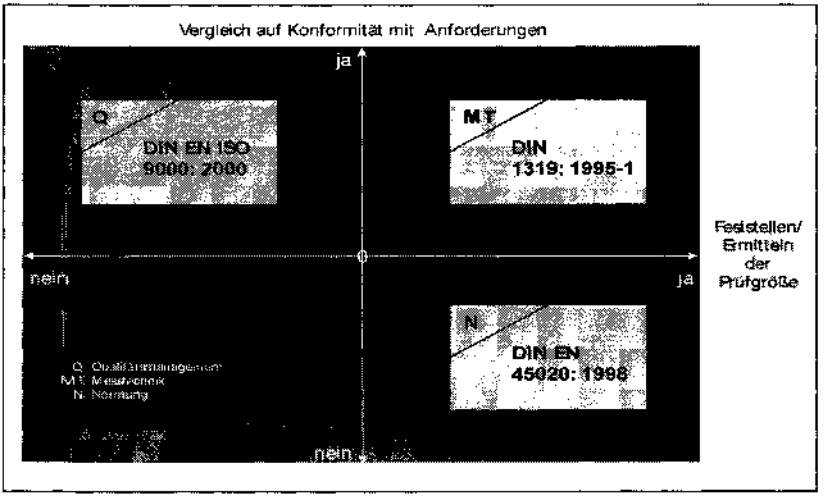
Diese Gewichtung drückt sich auch dadurch aus, dass in diesen Normen unterschiedliche Anteile des Begriffsumfangs in die Definition und die Anmerkungen aufgenommen werden.

„Wird durch eine Messung ein Messwert ermittelt, so ist dies nur dann eine Prüfung, wenn dabei auch festgestellt wird, inwieweit (oder ob) der Messwert eine Forderung erfüllt."[47] Auch der Begriff „Prüfen" und sein Bedeutungsumfang ist an die Definitionsebene gebunden und jede dieser Ebenen hat ihre Voraussetzungen, Modelle und Aussagen/ Sicherheiten (Abb. 4).

Prozesse bestehen im Minimum aus Tätigkeiten und Ergebnissen.

Die hier im Zusammenhang mit der Ermittlung von Qualitätsmerkmalen relevanten Tätigkeiten (Abb. 5) sind:

Abbildung 4: Abhängigkeit der Definition des Begriffes Prüfen vom Zweck und vom Kontext



- das Messen,
- das Prüfen, und,
- wenn für die Prüfaufgabe ein neues oder modifiziertes Prüfverfahren erforderlich ist, das Entwickeln und,
- wenn die Prüfgröße Eingangsgröße in ein Modell ist, das die Erzeugung eines kundenspezifischen Qualitätsmerkmals erst ermöglicht, das Interpretieren,
- und schließlich das Beurteilen.

Das Messen liefert Kenngrößen (inkl. Einheiten) bzw. Kennwerte (Einheit 1). Es erfolgt in der Art des maßlichen/quantitativen Messens (Ergebnis z.B. Durchmesser einer Kugel 3,00 +/- 0,01 mm) oder des nichtmaßlichen/attributiven Messens (z.B. alle Kugeln kleiner 3 mm sind auszusortieren und fallen durch ein Sieb) (vgl. Abb. 6).

Das Messen unterscheidet sich auch insofern vom Prüfen, als Messmittel geeicht werden und Prüfmittel nicht geeicht, wohl aber im Bedarfsfall kalibriert werden. Die Messung selbst wird ggf. verifiziert, die Prüfung dagegen

Abbildung 5: Begriffe

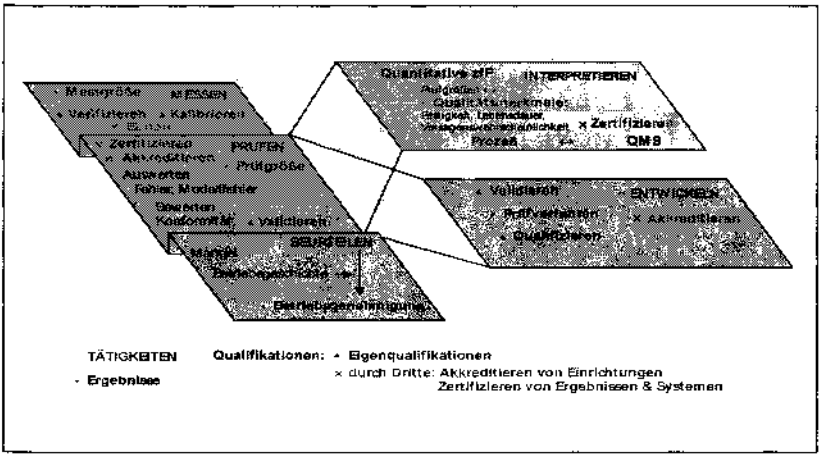
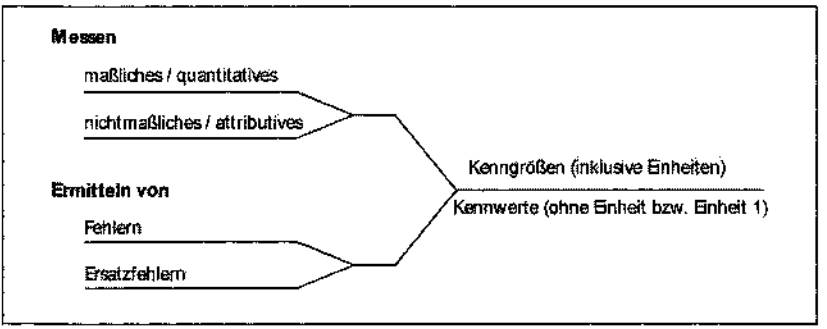


Abbildung 6: Messen



nicht, sie wird jedoch ggf. zertifiziert. Die Prüfer vermeiden den Begriff Messen gern, nicht nur wegen seines reduzierten Begriffsumfangs und eigenen Begriffskontexten, sondern inbesondere weil die mit der Normen- und Gesetzeslage verbundenen zusätzlichen Aufwendungen und Kosten gescheut werden.

Die zfP befasst sich mit der Ermittlung von Fehlern und Materialkennwerten, die physikalisch (z.B. Dielektrizitätskonstante, Leitfähigkeit etc.) oder technisch (Festigkeit, Steifigkeit usw.) definiert sind. Aussagen zu Fehlern betreffen entweder ihre Absolutgröße oder Ersatzfehler. Sie leiten sich aus Signalen her, die aus einer Messung/Prüfung stammen, die mit akzeptierten Modellen oder Vernachlässigungen hinterlegt sind. Beide, Fehlergrößen und Ersatzfehlergrößen, sind Eingangsgrößen von Ingenieurtheorien, z.B. die Bruchmechanik, die Elastizitätstheorie u.a., mit denen die Fehler interpretiert werden können, d.h. eine Fehleranzeige trägt zusammen mit Faktoren wie Materialeigenschaften, Konstruktion, Belastungen, Betriebsparametern zu einer Aussage im Sinne Lebensdauer bzw. Versagenswahrscheinlichkeit einer Komponente bei. Solche Größen bzw. Werte können einer Bewertung unterzogen werden, z.B. im Sinne einer Risikobewertung. Der Bruch eines Trägers, einer Pipeline, eines Kessels etc. in der Weite einer Wüste ist anders zu bewerten als in einem dicht bewohnten Gebiet, einem gelegentlich besetzten Stadion oder einem Krankenhaus.

Die Tätigkeiten wie Messen, Prüfen, Entwickeln, Interpretieren und Beurteilen führen zu Ergebnissen, hier: der Messgröße, der Prüfgröße, der Be-

triebsgenehmigung ggf. mit Auflagen und erforderlichenfalls dem Prüfverfahren und den Qualitätsmerkmalen. Prüfgrößen sind reale Fehler, Modellfehler oder Charakteristiken von Materialien und Bauteilen. Die Prüfergebnisse werden ausgewertet und, sofern die Toleranzen oder kundenspezifischen Forderungen vorgegeben sind, bewertet[48] und zwar hinsichtlich ihrer Konformität mit den Anforderungen.

Die genannten Tätigkeiten bedürfen der Eigenqualifikation und der Qualifikation durch Dritte. Hinsichtlich der Eigenqualifikation bedarf das Messen des Verifizierens und Kalibrierens, das Prüfen des Validierens[49], das Entwickeln des Qualifizierens[50] und Validierens. In Bezug auf die Qualifikation durch authorisierte Dritte bedarf das Messen des Eichens, das Prüfen der Zertifizierung[51] (ebenso wie das gesamte Qualitätsmanagementsystem der Zertifizierung bedarf, und das Prüflabor der Akkreditierung[52]).

Diese Vorgehensweise ist zweckmäßig, hat sich in der Praxis bewährt, ist in sich stimmig, sagen wir: konsistent, wird jedoch keineswegs allen Ortes einheitlich gehandhabt, einfach, weil in der Handhabung bestimmte Interessen zum Ausdruck kommen, und diese in einem zugehörigen Umfeld stehen. Darin liegt zusätzlich zum unterschiedlichen Begriffsumfang der Benennungen in den einzelnen Sprachen auch das Problem der Harmonisierung von Begriffen innerhalb der EU.

Für die Brauchbarkeit von Informationen, hier: von geforderten Qualitätsmerkmalen, die durch Prüfgrößen nachgewiesen werden, sind drei Kriterien wichtig:

1. die Verständlichkeit
2. die Fehlerfreiheit und
3. die Konsistenz.

Unterschiedliche Glieder der Wertschöpfungskette im Qualitätskreis vom Entwickler/Designer bis zum Vertrieb benutzen unterschiedliche Benennungen für die gleichen Begriffe, oder schlimmer, gleiche Benennungen für unterschiedliche Begriffe. Die Konsistenz der Informationen ist charakterisiert durch[53]:

1. einheitliche Terminologie und einheitliche Präsentation, wie hier beabsichtigt,
2. gleiche Form für gleiche Sachverhalte,

3. vollständige und fehlerfreie Verweissysteme,
4. absprachegemäße Präsentation der Informationen.

Beispiele aus Wissenschaft und Technik sollen die Problematik und die Relevanz der Thematik verdeutlichen.

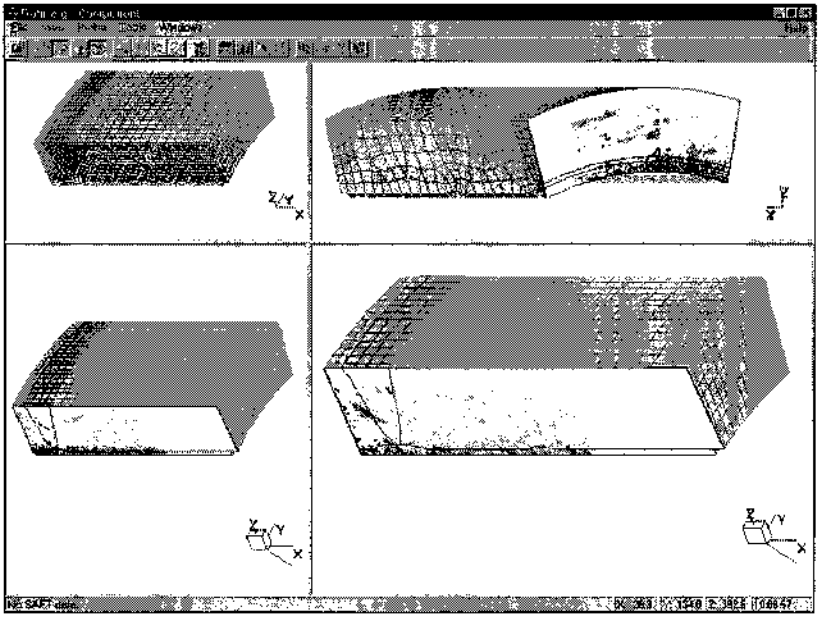
Kenngrößen lassen sich nach ihrer Komplexität klassieren[54, 55]. Beispiele sind:

1. Vorgaben wie „die Risslänge soll kleiner als ... sein",
2. Festlegungen wie „die Festigkeit muss größer sein als ..." und
3. Abschätzungen der Restlebensdauer und des Versagensrisikos von Bauteilen.

Zu 1.: Modellintegrierte zerstörungsfreie Prüfung (MINT)
Bei der Ultraschall-Handprüfung von Schweißnähten erfolgt die Fehlergrößenbestimmung z.B. der Risslänge über die AVG-Methode[56, 57] d.h. es wird ein kreisförmiger Ersatzfehler bestimmt, dessen Reflektivität vergleichbar ist mit dem des realen Fehlers. Im „Fitness-for-Purpose"-Konzept reicht diese Aussagegenauigkeit nicht aus. Das im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung zur Anwendungsreife geführte abbildende Ultraschallprüfverfahren „SAFT"[58] gestattet es, die Position und die Größenausdehnungen von Fehlern zu bestimmen (vgl. Abb. 7). Die Validierung des Verfahrens erfolgte z. B. über ein mathematisch-numerisches Modell, mit dessen Hilfe es möglich ist, auf theoretischem Wege die Signale vorherzusagen, diese als Eingangsgröße für das abbildende Verfahren SAFT zu verwenden und im Vergleich mit den experimentell erhaltenen Aussagen eine verbesserte rechnergestützte Interpretation durchzuführen (vgl. Abb. 8).

Das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP wurde als erste Einrichtung in Europa nach DIN EN 45001 akkreditiert und inzwischen nach DIN EN ISO/IEC 17025 reakkreditiert. Die Akkreditierung wurde in Form der Püfartenakkreditierung ausgesprochen und bestätigt dem IZFP die Kompetenz, Prüfverfahren wie das Ultraschallverfahren SAFT neu zu entwikkeln oder anzupassen und anzuwenden, ohne dass es einer vorherigen Zustimmung des Akkreditierers bedarf. Damit wurde die Lücke zwischen der Festschreibung von Verfahren durch die Normung und der qualitätsgesicherten Berücksichtigung des technischen Fortschritts geschlossen.

Abbildung 7: Abbildung von Schweißnahtfehlern mit dem 3D-Rekonstruktionsverfahren SAFT und Implementierung in die entsprechende 3D-CAD-Zeichnung; Rohrwandstärke 60 mm, Prüffrequenz 2 MHz



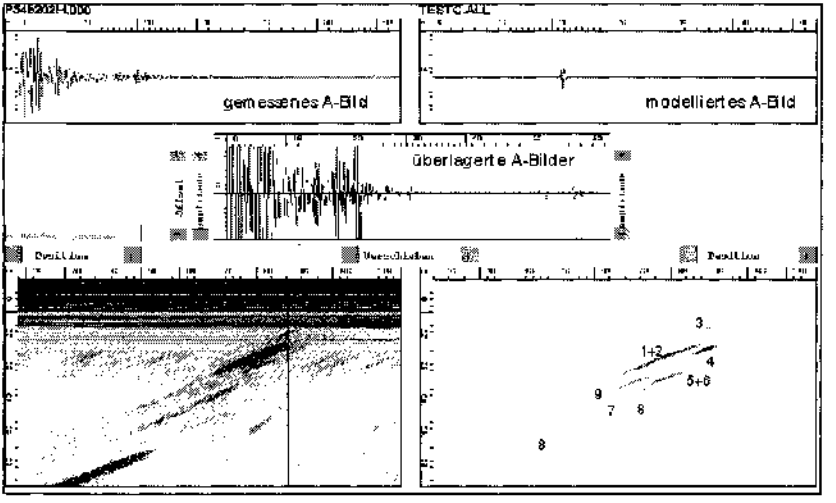
Zu 2.: Würfeldruckfestigkeit via akustische Emission

Die genormten Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit R von Betonwürfeln sind aus mehreren und bekannten Gründen unbefriedigend:

1. es steht immer die Frage nach Repräsentanz der vorliegenden Würfel für das jeweilige Bauteil, und zwar sowohl hinsichtlich der Fertigungsparameter als auch der Lagerungsbedingungen,
2. sind die genannten Verfahren zerstörend, d. h. die Menge der Probewürfel wird bei der Prüfung aufgebraucht und steht somit für weitere oder wiederholte Untersuchung nicht mehr zur Verfügung.

Ausgehend von der Modellierung der Rißausbreitung unter Last im Beton und der damit einhergehenden Freisetzung elastischer Energie W_0 erlaubt die

Abbildung 8: Vergleich gemessener und modellierter Ultraschalldaten mit Identifikation des tatsächlichen Schalllaufweges z. B. 1: als Winkelspiegel und 4: mit Modeumwandlung in eine Rayleighwelle auf der Rißfläche

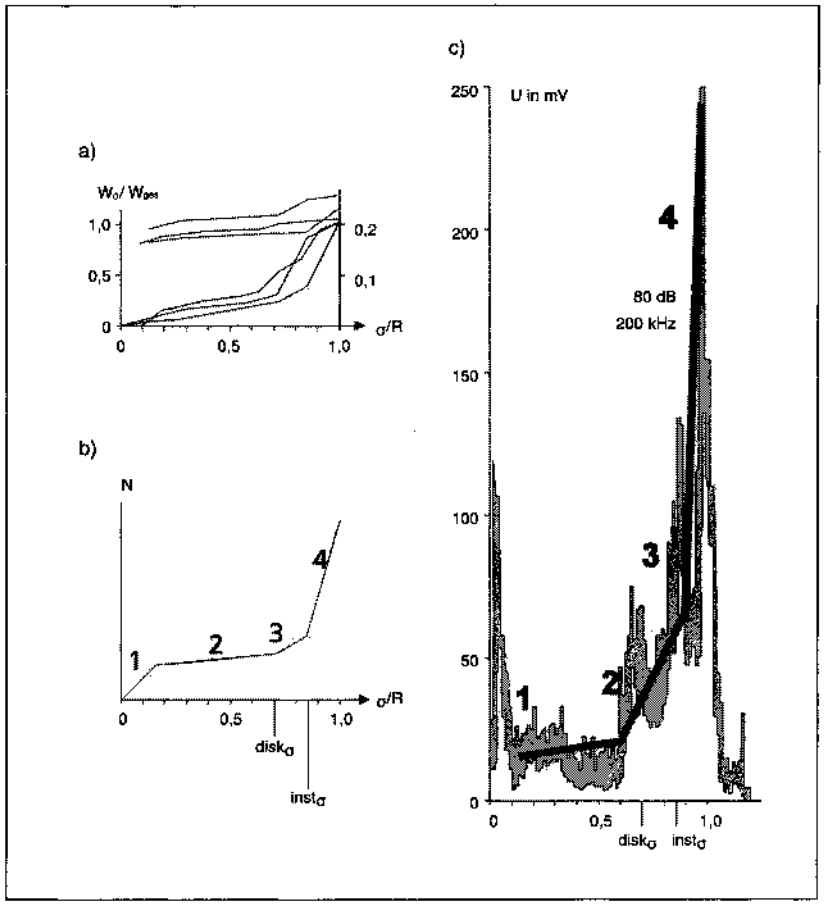


Darstellung der kumulierten akustischen Signale N in Abhängigkeit von der eingetragenen relativen Last s/R die Prognose der Bruchfestigkeit R aus dem Wert disk s (hier z. B. bei s/R = 0,7) (vgl. Abb. 9, Teilbild b).

Die Modellierung der Rißausbreitung geht von der plausiblen Vorstellung aus, daß es

1. Mikro- und Makrorisse gibt: Mikrorisse grenzen an *ein* Zuschlagstoffkorn, Makrorisse verlaufen in einem Volumen, das mindestens mehrere Zuschlagstoffkörner umfaßt,
2. eine stabile und eine instabile Rißausbreitung für beide Rißarten existiert: bei stabiler Rißausbreitung ist die freigesetzte Energie W_0 kleiner als die Oberflächenenergie W_{ob}; ein weiterer Rißfortschritt ist nur unter Steigerung der Last möglich. Bei instabiler Rißausbreitung ist die freigesetzte elastische Energie W_0 größer als die Oberflächenenergie; der Rißfortschritt endet bei Laststopp entweder durch Arretierung z. B. an einem Zuschlagstoffkorn, oder durch das Versagen des Bauteils.

Abbildung 9: Gegenüberstellung von theoretischen Werten und Größen (hier für R = 25...55 MPa) (a), Modellphasen (b) und Meßwerten (c), jeweils in Abhängigkeit von der Lastspannung s *bezogen auf die Bruchfestigkeit R. Dabei ist* W_d/W_{ges} *= relative freigesetzte elastische Energie in der jeweiligen Lastphase;* n *= Querdehnungszahl; N = Summenhäufigkeit der Signale aus der akustischen Emission; disk* s *= Diskontinuitätsgrenze; inst* s *= Instabilitätsgrenze; 1 = Startphase, 2 = stabile Ausbreitung der Mikrorisse, 3 = instabile Ausbreitung der Mikrorisse, gleichbedeutend mit stabiler Ausbreitung der Makrorisse, 4 = instabile Ausbreitung der Makrorisse; U = gemittelte Spannungsamplitude*



Die Grenze der stabilen Ausbreitung von Mikrorissen ist disk s_{stab}. Hier beginnt bei Lasterhöhung die instabile Ausbreitung der Mikrorisse, was gleichbedeutend ist mit der stabilen Ausbreitung der Makrorisse. Die Grenze der stabilen Ausbreitung der Makrorisse inst s bedeutet den Anfang der instabilen Rißausbreitung der Makrorisse, die bei Zugbelastung des Betonwürfels gleich der Bruchspannung R ist. Bei Druckspannungen bilden sich infolge durchgehender Risse im Probekörper Stäbe, die bis zum Abknicken oder Abscheren weiter Druckspannung aufnehmen können. Die Abbildung 9 gibt eine vergleichende Darstellung der relativen freigesetzten elastischen Energie W_0 / W_{ges} in Abhängigkeit von der relativen Last s/R mit dem Verlauf der Querdehnungszahl n als Funktion von s/R. Beide Verläufe sind phänomenologisch synchron. Diesem Teilbild ist zugeordnet die Darstellung der kumulierten Impulszahl N in Abhängigkeit von s/R (Teilbild a) und der Verlauf der über die Zeit gemittelten quadratischen Spannung U als Funktion von s/R (Teilbild c). Daraus ist zu entnehmen, daß aus Messungen der akustischen Emission eingedenk der beschriebenen Modellierung aus disk s weit unterhalb der Bruchlast R diese prognostiziert werden kann, ohne daß der Probewürfel zerstört wird[59,60].

Zu 3.: Abschätzung der Restlebensdauer und des Versagensrisikos von Bauteilen

Das Versagen eines Bauteiles ist ein stochastischer Prozeß, da die beteiligten Variablen Materialcharakteristik, Belastungszustände und Fehlerverteilung eine gewisse Streubreite besitzen. Zur Bewertung von belasteten Bauteilstrukturen wurden bei der Fehlerdetektion und der Fehlergrößenbestimmung sowie der computergestützten bruchmechanischen Analyse deutliche Fortschritte erzielt. Nachteilig ist hierbei jedoch, daß in der ingenieursmäßigen Anwendung eine deterministische „Ja/Nein" Aussage abgeleitet wird, ohne die real existierenden statistischen Variationen der beteiligten Parameter zu berücksichtigen.

Die Komplexität moderner Hochtechnologie und ihre Auswirkung auf die Umwelt und das soziale Umfeld verlangen ein tieferes Verständnis und eine realistische Beherrschung der Risiken im Betrieb technischer Anlagen. Dies kann durch eine Beschreibung von Fehlerwahrscheinlichkeiten erreicht werden, die entsprechend neuester Vorschriften qualifiziert werden.

Die in dem Programm PROGFAD[61] basierend auf FAD (Fracture Assessment Diagram)[62] realisierte Struktur beinhaltet ein derartiges probabilistisches Modellierungsprogramm für ein Versagen des Bauteiles auf der Grundlage bruchmechanischer Konzepte. Unter statischen Belastungen wurde als Kriterium für ein Versagen die FAD-Methode programmiert. Monte-Carlo-Simulationen können statistische Variationen in der Fehlergröße oder in der Bruchzähigkeit herbeiführen. Die in Betracht kommenden Bauteile sind Balken, Platten, Druckbehälter oder Speichertanks. Die Abbildung 10 zeigt das Eingabemenue für die Wahl der geometrischen Abmessungen eines Druckbehälters und eines angenommenen halbelliptischen axialen Fehlers in der Innenoberfläche.

Abbildung 10: Probabilistische Simulation für das Bauteilversagen eines Druckbehälters mit einem innenliegenden axialen halbzylindrischen Fehler

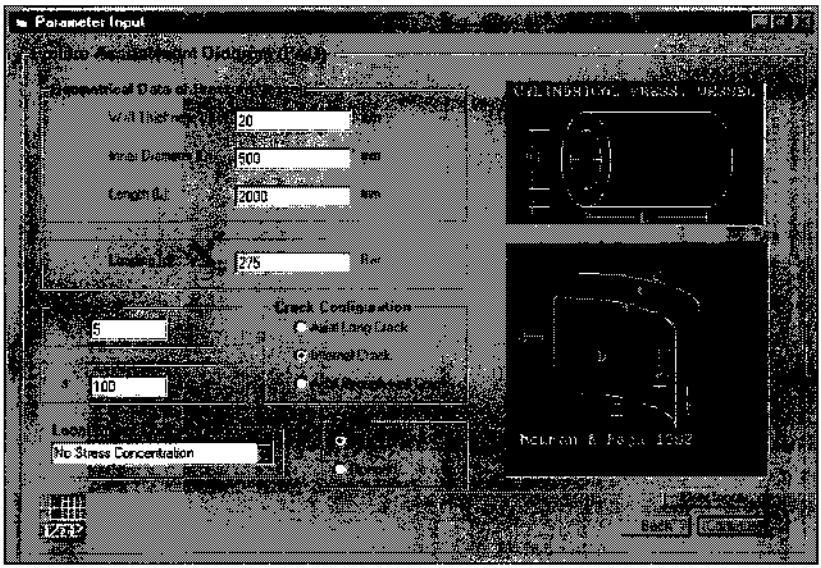
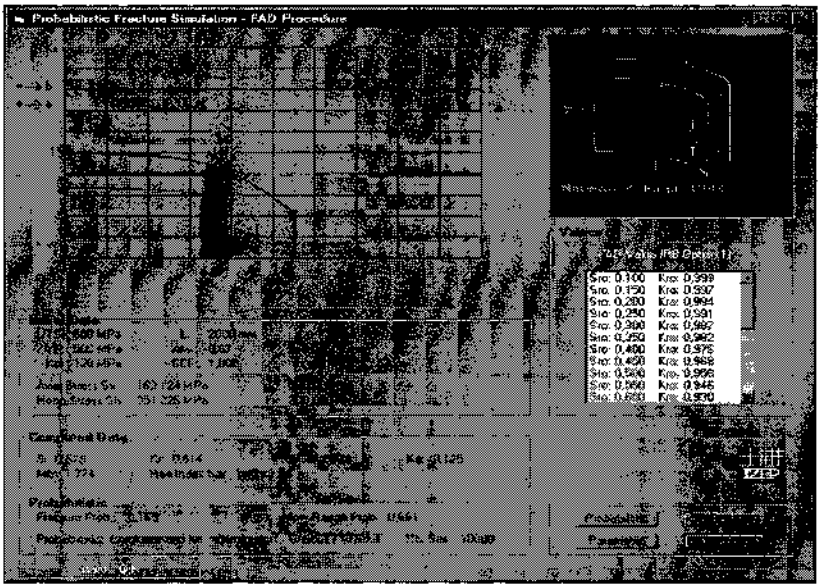


Abbildung 11 zeigt das Ergebnis einer probabilistischen Simulation, wobei sowohl die Rißgröße als auch die Bruchzähigkeit Kc entsprechend einer Drei-

Parameter-Weibull-Verteilung statistisch variiert wurden. Das Endergebnis der Simulation ist die Wahrscheinlichkeit eines Versagens des Behälters.

Abbildung 11: Eingabe geometrischer Kenngrößen in das bruchmechanische Berechnungsprogramm FAD

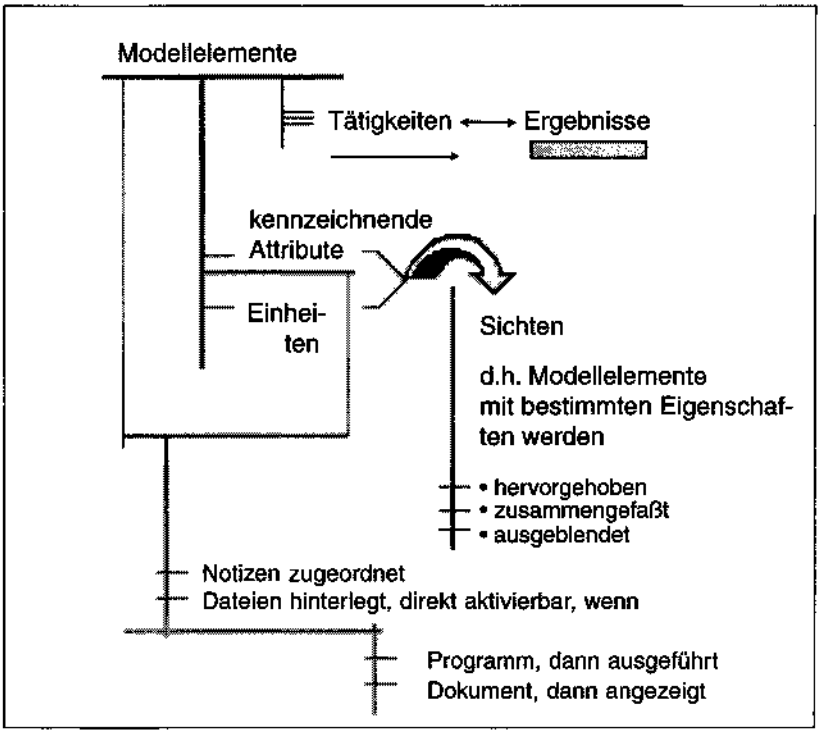


Das Konzept der probabilistischen Bruchmechanik wurde auf einen Wasserspeichertank und auf das Rohrsystem eines konventionell befeuerten Kraftwerkes erfolgreich angewandt[63]. In Verbindung mit den Werkzeugen der mathematisch-numerischen Simulation, den CAD-Techniken und der Fehleranalyse über dreidimensionale synthetische Aperturverfahren (SAFT) ergibt sich ein neues Niveau der Aussage über die Integrität eines Bauteiles.

3. Das Management: die Modellierung und die prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung

Wie macht man Qualität – wie organisiert man Qualität?
Das ist die Aufgabe des Qualitätsmanagements. Jeder werttragende Prozess, ob in Fertigung oder Dienstleistung, Forschung oder Entwicklung, wird in Projekten abgebildet, formalisiert, modelliert und nach unterschiedlichen

Abbildung 12: Schematische Darstellung der Prozessmodellierung. Die wesentliche Modellelementen (Tätigkeiten und Ergebnissen) sind durch Attribute inkl. Einheiten charakterisiert und mit Notizen, Dateien, Programmen und Dokumenten hinterlegt. Diese Methodik hat zum Ziel, zugehörige Fragen an den Prozess (seine Tätigkeiten und Ergebnisse) zu beantworten und in definierten Sichten zu präsentieren.



Aspekten ausgeführt und gesteuert: inhaltlichen, zeitlichen und betriebswirtschaftlichen.

Jeder Prozess in Unternehmen und Einrichtungen lässt sich als Folge von Ergebnissen und Tätigkeiten modellieren, die in komplizierten Fällen Informationsknoten enthalten können. Ergebnisse sind Ausgangspunkt und Ziel von Tätigkeiten. Die Modellelemente werden durch kennzeichnende Attribute und durch Einheiten spezifiziert. Diese Vorgehensweise erlaubt zugehörige Fragen zum Prozess zu stellen und Antworten in Form von Sichten zu bilden und diese hervorzuheben, zusammenzufassen oder auszublenden.

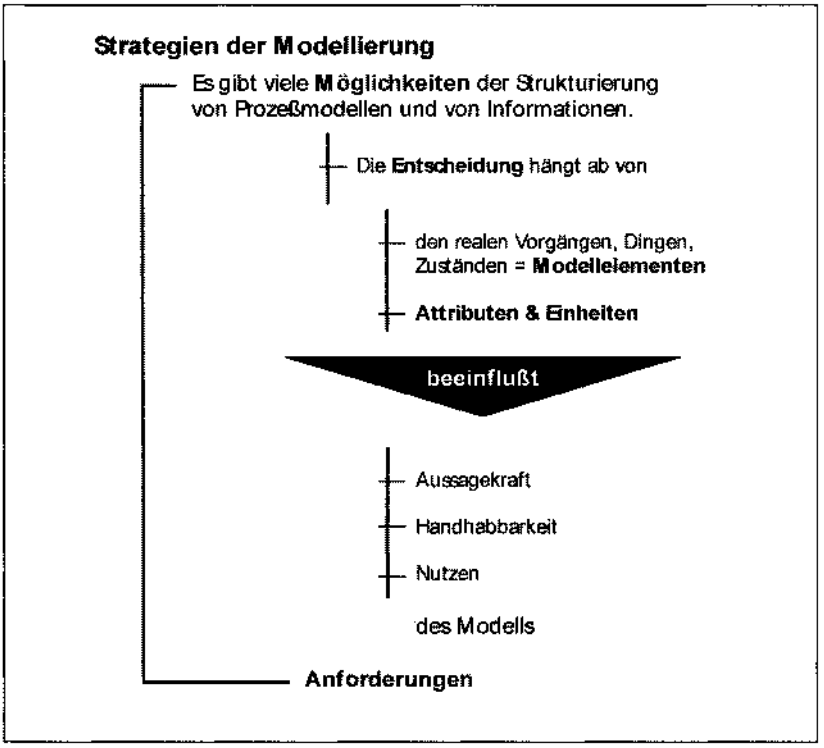
Die Prozessmodellierung dient einerseits der Analyse und Optimierung von Prozessen, d.h. dem Erkennen von Unschärfen im Prozess und ihrer Beseitigung durch Prozessdefinitionen, und andererseits als Informationssystem. Innerhalb dessen wird notiert, welche Tätigkeiten in welcher Reihenfolge und von wem ausgeführt werden und mit welchen Unterlagen und Anweisungen diese Tätigkeiten unterstützt werden (Abb. 12).

Die Strategien der Modellierung von Prozessen bedingen die Strukturierung der Modelle und Informationen sowie die Anforderungen an das Modell. Die Komponenten des Modells sind die Ergebnisse inkl. ihrer Attribute und die Tätigkeiten, die im Rahmen des Prozesses ausgeführt werden (Abb. 13).

Die Attribute bestimmen die Sichten, die auf das Modell gebildet werden können. So können beispielsweise Tätigkeiten des Managements wie Leitungsprozesse, Budgetplanung, etc. hervorgehoben werden und andere Elemente, z.B. zur Fertigung, zusammengefasst werden. Es ist sinnvoll, den Prozess- oder Modellelementen Notizen zuzuordnen oder ihnen Dateien zu hinterlegen (vgl. wiederum Abb. 12). Sichten, Notizen und Dateien können nach den inhaltlichen, zeitlichen und betriebswirtschaftlichen Aspekten ausgeführt und gesteuert werden.

Inhaltliche Aspekte ergeben sich aus der Umsetzung der *Strategieplanung* des Unternehmens zur zielgerichteten Erfüllung der Kundenwünsche und werden formal gesteuert durch das *Verhältnis von inhaltlicher Projektbearbeitung und Inanspruchnahme der Ressourcen.* Sie enthalten die Dominanten des Qualitätsmanagements, die im QM-Handbuch beschrieben sind. Diese sind fokussiert auf die Zertifizierung und die Akkreditierung und erhalten ihre perspektivische Sicht durch Einbeziehung der Geschäftsfeld- und Kompetenzentwicklung.

Abbildung 13: Strategien der Modellierung



Zeitliche Aspekte widmen sich dem konsekutiven Projektablauf, der Planung der erforderlichen Ressourcen und ihrer Inanspruchnahme.

Betriebswirtschaftliche Aspekte widerspiegeln sich in der Harmonisierung von Einnahmen und Ausgaben, Budgetwerten, Hochrechnungen, Erlös- und Liquiditätsrechnungen u.a.

Werkzeuge

Spezielle Programme, z.B. FACETS®, ARIS ... haben sich dabei als qualifizierte Hilfsmittel zur Handhabung des Modells bewährt. Zu den genannten Aspekten werden die notwendigen Instrumente hinterlegt:

- die Strategie mit Geschäftsfeld- und Kernkompetenz-Roadmaps,
- das inhaltliche Controlling und die Projektablaufsicherung,
- das Qualitätsmanagement inkl. prozessorientierter Hinterlegung der DIN EN ISO/IEC 17025 und der DIN EN ISO 9001 als Basis der Akkreditierung und Zertifizierung,
- das Akquisitionsverfolgungssystem,
- die Ressourcenplanung in den Projekten, und
- die betriebswirtschaftlichen Aspekte in Kosten und Erlösen.

Kurz gesagt: es ist das Ziel des Unternehmens, aus seinem *Wissen* mit seinem *Können Nutzen* für seine Kunden zu *machen* (Abb. 14).

Abbildung 14: Wissen und Können zum Nutzen des Kunden

U/nternehmen				Kunden
Wissen	+	*Können*	<-------->	*Nutzen*
• Akquisitionen am Markt		• strategisches Management: Reduktion der Komplexität		• Erfüllung von Anforderungen
• Kenntnis der Kundenanforderung		• operatives Management: Transfer von Wissen u. Nutzen		• Imagegewinn
• Verfügbare Technologie		• Herstellen: qualitätsgesichertes Produkt		• Service: weltweit 24 h online via Satellit
• Kreativität im Unternehmen		• Leisten: qualitätsgesicherte Dienstleistungen		

Das *Wissen* besteht aus den Akquisitionen am Markt, den Kundenanforderungen, den verfügbaren Technologien und der Kreativität im Unternehmen. Das *Können* liegt

- im Management. Dieses enthält zwei Komponenten:
  - das strategische Management: die Fähigkeit, die Komplexität von Systemen und Anforderungen auf eine handhabbare Größe zu reduzieren und
  - das operative Management: Transfer von Wissen in Nutzen
- in qualitätsgesicherten Produkten und Dienstleistungen.

Der *Nutzen* beim Kunden besteht aus der sachlichen Erfüllung seiner Anforderungen, im Imagegewinn und im Service.

Das *Machen* heißt Produkte herstellen und Dienste leisten mit Merkmalen, die die Qualitätsforderungen erfüllen, und zwar in zweckmäßigem Design und mit einer tragenden Botschaft.

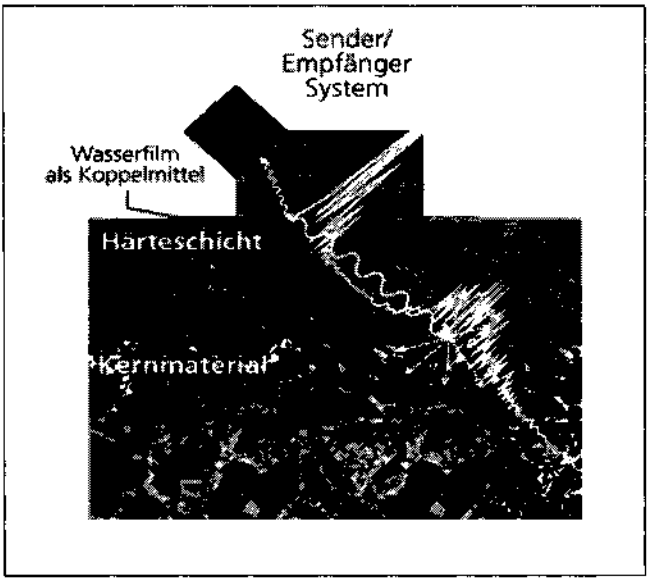
Prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung (PINT)
Beispiel für die Kombination von unternehmerischem Wissen und Können zur Erfüllung von Kundenanforderungen ist die Prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung (PINT), und zwar

- offline zur Analyse des Fertigungsprozesses mit dem Ziele seiner Optimierung bzw. der Materialcharakterisierung unter Gebrauchsbedingungen und
- online zur Steuerung des Prozesses zwecks Sicherung der geforderten Qualitätsparameter.

Als Beispiel für erstere Aufgabe sei der Einsatz der Radiotracer-Methode zur Bestimmung von Verweilzeiten z.B. der Komponenten Sand, Zement und Kalk in einer Drei-Kammer-Kugelmühle bei der Blähbetonherstellung genannt. Aus den Verweilzeitkurven werden Rückschlüsse auf den Mahlprozeß, und zwar des Mahlgutes und der Mahlkörper, sowie auf den Mischprozeß der Komponenten in Abhängigkeit von der Fahrweise der Kugelmühle gezogen. Darauf aufbauend kann einerseits die Mahlgeschwindigkeit für vorgegebene Qualitätsparameter in Abhängigkeit vom Elektroenergieverbrauch der Anlage optimiert werden, andererseits können dem Hersteller von Kugelmühlen für den Revisionsprozeß oder auch die Weiterentwicklung Hinweise zur konstruktiven Veränderung z.B. der Auslegung der Trennwände zwischen den drei Kammern gegeben werden. Analoge Untersuchungen wurden von uns im laufenden Betrieb an Großanlagen wie Drehrohröfen der Zementindustrie, Tierkörperverwertungsanlagen u. a. m. erfolgreich durchgeführt. Die gleiche Vorgehensweise hat sich bewährt für die Charakterisierung von Thermodiffusionsanlagen, Implantationsanlagen und anderen Anlagen, in denen der Materialtransport der wesentliche Vorgang ist, so in der Halbleiterfertigung und bei der Oberflächenbehandlung von Metallen, Ceramen und Kunststoffen.

Die Diffusion von Feuchte und Salzionen durch zementgebundene Betonbauteile, die Fragen des Abriebs, z.B. an Textilien, von Reibung, Schmierung und Verschleiß an gleitenden und rollenden Komponenten waren Gegenstand

Abbildung 15: Messprinzip der Randhärten-Tiefenmessung (Rht)



von Untersuchungen zur Materialcharakterisierung unter Gebrauchsbedingungen.

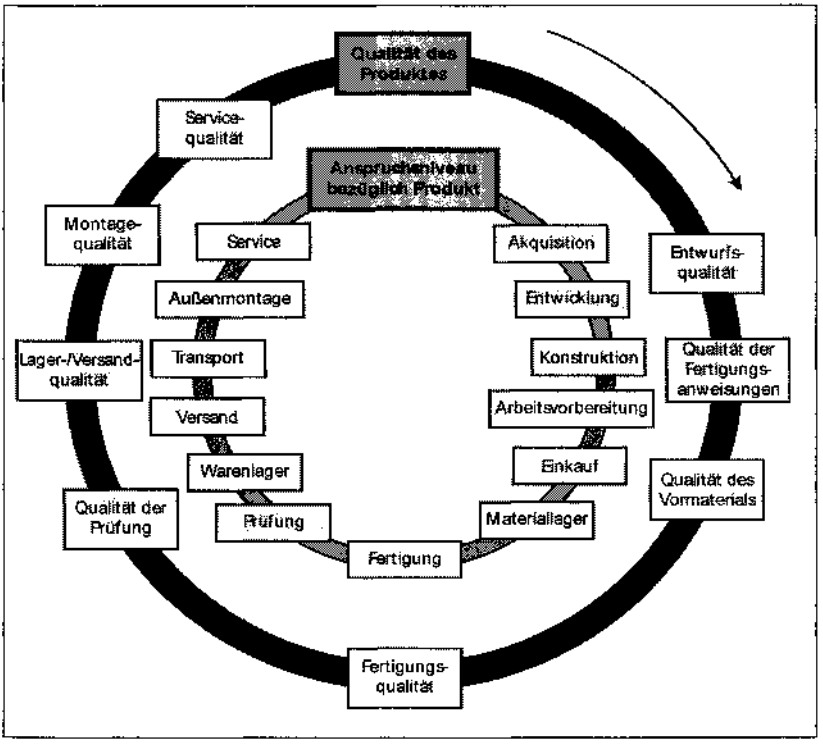
Laserstrahlhärten von Oberflächen ist eine der modernen Technologien in der metallverarbeitenden Industrie. Einer der wesentlichen, die Qualität des Prozesses charakterisierenden Parameter ist die Tiefe der Härtung der Randschicht.

Das Prinzip des Gerätes zur Randhärten-Tiefenmessung (Rht-Gerät) ist der Abbildung 15 zu entnehmen.

Zerstörungsfreie Prüfungen können im Qualitätskreis (Abb. 16)[64] in den Phasen *Entwicklung* (z.B. bei der Materialcharakterisierung), *Konstruktion* (s. Abschnitte *MINT* und *Würfeldruckfestigkeit*), *Fertigung* (im Rahmen von PINT) und *Service* (z. B. Abschnitt *Restlebensdauer*) eingesetzt werden (Abb. 17).

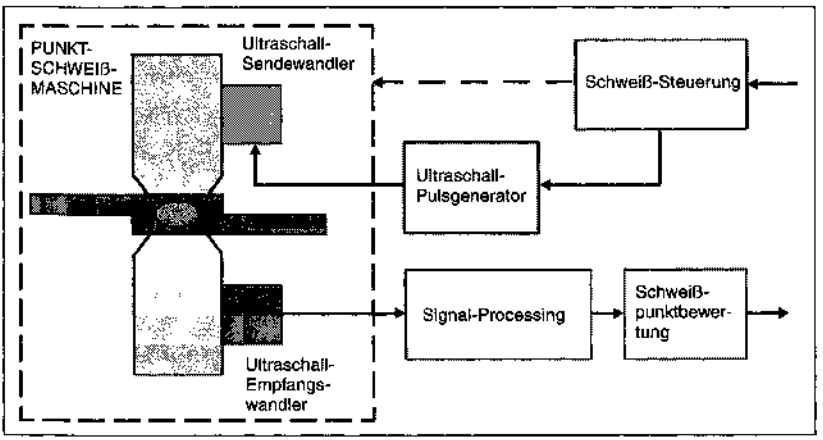
Je früher die zerstörungsfreie Prüfung im Prozess integriert ist, umso höher ist ihr Nutzeffekt. Als Beispiel für die Online-Version der Prozessintegrier-

Abbildung 16: Qualitätskreis



ten zerstörungsfreien Prüfung (PINT) sei ultraschallgesteuerte Qualitätssicherung beim Punktschweißen genannt. Die Vielzahl der Punktschweißungen, z. B. im Automobilbau setzt sich zusammen aus solchen, die für die Funktion notwendig sind, und jenen, die aus Sicherheitsgründen hinzugefügt werden. Eine Qualitätsprüfung konnte bisher nur im Nachhinein, exemplarisch und zerstörend erfolgen. Kennt man die Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißgutes in Abhängigkeit von der Temperatur, und installiert man geeignete Ultraschallgeber und -empfänger zweckmäßig an den Halterungen der Schweißelektroden, so kann über die Messung der Ultraschalldurchlässigkeit der Elektrodenstrom unmittelbar und während des Schweißvorganges so ge-

Abbildung 17: Blockdiagramm zur Ultraschallbestimmung der Temperaturabhängigkeit des Schweißprozesses



regelt werden, daß ausschließlich solche Punktschweißungen zustande kommen, die die vorgegebenen Qualitätsparameter garantieren[65,66,67].
Im vorliegenden Beitrag sollte exemplarisch gezeigt werden, wie komplexe Kenngrößen im Qualitätsmanagement grundsätzlich gewonnen werden können, wie dies insbesondere zerstörungsfrei erfolgen kann und wo diese Informationen im Prozess zweckmäßig gewonnen werden sollten.

Zusammenfassung

Qualität wird im Kontext von technischen, technologischen und Dienstleistungsprozessen betrachtet, nicht im Sinne der Qualität des Lebens und der Ethik, oder im Sinne einer Skalierung wie Vortrefflichkeit. Aus der Entwicklung des Begriffes werden die Konformitätsprüfung und die Ermittlung von Qualitätsparametern akzentuiert. Qualitätsmerkmale gilt es zu prüfen. Nach obiger Methodik: Entwicklung des Begriffes und Diskussion der aktuellen Definitionen im technischen Kontext werden Beispiel gegeben und der Prozess des Prüfens in Relation zu seinen Nachbarn Messen, Bewerten und Interpretieren gesetzt. Das Ergebnis dieser Tätigkeit sind Kenngrößen/Kennwerte. Sie können unterschiedlichen Komplexitätsgrad haben. Als Beispiele werden die

Risslänge, die Festigkeit, die Restlebensdauer und das Versagensrisiko betrachtet. Die Tätigkeiten, die zu diesen Kenngrößen/Kennwerten führen, sind zu qualifizieren: durch Eigenqualifikation oder durch Fremdqualifikation im Sinne von Zertifizieren und Akkreditieren. Darauf aufbauend liegt der Zweck der Definition der Qualität von technischen, technologischen und Dienstleistungsprozessen und den Möglichkeiten ihrer Prüfung letztlich darin, die Qualität zu organisieren, sie herzustellen. Dazu sind die Prozesse zu modellieren und zu beherrschen. Beide Schritte sind im Text illustriert.

Anmerkungen

1 Encyclopedia Britannica, 1973.
2 Honoré de Balzac, Le père Goriot, Reutlingen: Continental-Verlag 1948, mit einer Studie von Kurt Wais: Grundlagen und Qualität von Balzacs Vater Goriot.
3 Bundesanzeiger Nr. 30 vom 13. Februar 2001, S. 2181.
4 Röbbecke und Simon, Zwischen Reputation und Markt, zitiert in: Gegenworte. Zeitschrift für den Disput über Wissen, Heft 5, Frühling 2000, S. 9.
5 ANSI/ASQC A3-1978 (American National Standard): Quality Systems Terminology. American Society for Quality Control. Approved January 18, 1978.
6 Deutsche Gesellschaft für Qualität (DGQ): DGQ-Band 11-04: Begriffe zum Qualitätsmanagement, 6. Auflage. DGQ, Frankfurt/M. 1995.
7 European Organization for Quality (EOQ): Glossary of Terms, Used in the Management of Quality. 6. Auflage, EOQ, Bern 1989.
8 Gegenworte. Zeitschrift für den Disput über Wissen, Heft 5, Frühling 2000, S. 2.
9 Ausführliches Lateinisch-Deutsches Wörterbuch, hrsg. Von H. Georges, Zweiter Band I–Z, Hannover und Leipzig 1918.
10 Brockhaus Enzyklopädie, sechster Band DUD-EV, Leipzig-Mannheim [20]1996.
11 W. Masing, „Qualitätssicherung durch Werkstoffprüfung – ein Überblick", in: 4. Kolloquium Qualitätssicherung durch Werkstoffprüfung der DGZfP, Zwickau, 7.–8.11.1995, Berlin: Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP), 1995 (DGZfP-Berichtsbände, 49).
12 Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften C13/8 vom 16.01.2001.
13 CORDIS-Focus vom 06.11.2000, S. 5 oder http://www.cordis.lu.news.
14 DIN EN ISO 9000, 3.9.1: „Audit = systematischer, unabhängiger und dokumentierter Prozess zur Erlangung von Auditnachweisen und zu deren objektiver Auswertung, um zu ermitteln, inwieweit Auditkriterien erfüllt sind." Sinngemäß: interne Audits, auch Erstparteienaudits genannt, werden von oder im Namen der Organisation für interne Zwecke durchgeführt. Externe Audits sind entweder Zweitparteienaudits, und werden von Parteien, die ein Interesse an der Organisation haben, durchgeführt, oder Drittparteienaudits. Diese werden von externen, unabhängigen Organisationen durchgeführt und bieten die Zertifizierung oder Registrierung der Konformität mit Anforderungen, wie z.B. denen der ISO 9001 und ISO 14001.

15 Meyers Enzyklopädisches Lexikon in 25 Bänden, 1973, zum Begriff „Inquisition".
16 Grand Encyclopédique Larousse, tome 8, 1984, S. 8633.
17 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.1.1.
18 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.1.2
19 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.3.5.
20 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.3.7.
21 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.1.3.
22 Hochschulrektorenkonferenz (HRK), Erfahrungsberichte zum Qualitätsmanagement im Hochschulbereich. Beiträge zur Hochschulpolitik 4/2000 und Leitbild der Hochschule – Qualität der Lehre. Beiträge zur Hochschulpolitik 2/2000.
23 Wissenschaftsmanagement. Zeitschrift für Innovation, Jahrgang 6, Heft 3, Mai/Juni 2000.
24 Universität der Bundeswehr München, Beschreibung des Fachbereichs Elektrotechnik, Stand 06.Oktober 1999, S. 1.
25 Hochschulrektorenkonferenz (HRK), Leitbild der Hochschule – Qualität der Lehre. Beiträge zur Hochschulpolitik 2/2000, S. 13.
26 Konfuzius, Goldene Sätze der Weltgeschichte, CD World Wide Words, Ed. Hans Böck, 1998/99.
27 AT, Buch Hiob 34,3, CD World Wide Words, Ed. Hans Böck, 1998/99.
28 Lateinisch-Deutsches Schulwörterbuch, Dr. K.E. Georges, Hahn'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig 1887.
29 Brockhaus. Enzyklopädie in 24 Bänden, Leipzig-Mannheim o.J.
30 Meyers Großes Konversationslexikon, Bibliograph. Institut Leipzig/Wien ^{6}1908, Band 16
31 Meyers Konversationslexikon, Bibliograph. Institut Leipzig/Wien 51897, Band 14.
32 nach: Webster´s New Encyclopedic Dictionary, Black Dog & Leventhal Publishers, New York, 1995.
33 DIN EN ISO 9000:2000, 3.8.2.
34 DIN EN ISO 9000:2000, 3.8.3.
35 M.A. Thibaut, Nouveau Dictionaire de Poche Francais-Allemand et Allemand-Francais, Leipzig: Melzer, 7. Auflage 1838, 129.
36 Ebd.
37 Ebd.
38 Ebd.
39 GOST ISO/MEK 9000:2000, 3.8.2; Anleitung ISO/MEK 2 auch unter http://SCC.tpu.ru.
40 Max Vasmer, Russisches Etymologisches Wörterbuch, 1. Band: A–K, Heidelberg 1953
41 O.N. Nikonowa, Russisch-Deutsches Wörterbuch, Verlag „Sowjetische Enzyklopädie", Moskau 1973.
42 Max Vasmer, Russisches Etymologisches Wörterbuch, 1. Band: A-K, Heidelberg 1953
43 Großes Japanisch-Russisches Wörterbuch, Verlag „Sowjetische Enzyklopädie", Moskau 1970.
44 DIN EN ISO 9000: 2000.
45 DIN 45020: 1998.
46 DIN 1319-1: 1995-01
47 DIN 1319-1: 1995-01, 2.14, Anm.
48 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.8.7.

49 Validierung: „Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind." (DIN EN ISO 9000: 2000, 3.8.5).

50 Qualifizierungsprozess: „Prozess zur Darlegung der Fähigkeit, festgelegte Anforderungen zu erfüllen." (DIN EN ISO 9000: 2000, 3.8.6).

51 „Verfahren, nach dem eine dritte Seite schriftlich bestätigt, dass ein Produkt, ein Prozess oder eine Dienstleistung mit festgelegten Anforderungen konform ist." (DIN EN 45020: 1998, 15.1.2) .

52 „Verfahren, nach dem eine autorisierte Stelle die formelle Anerkennung erteilt, dass eine Stelle oder Person kompetent ist, bestimmte Aufgaben auszuführen." (DIN EN 45020, 12.11).

53 Dagmar Boedicke, Handbuch-Knigge: Software-Handbücher schreiben und beurteilen. Mannheim/Wien/Zürich 1990, S. 115

54 H. Baumbach et alt.: *Zerstörungsfreie Prüfung und Qualitätsmanagement*, in: Internationale Konferenz Schweißtechnik, Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Bruchmechanik und Qualitätsmanagement, Schriftenreihe der TU Wien 1997, 787–795

55 Diess.: *Non-destructive Testing and Quality Management*, in: Technology. Law and Insurance, 1998, 3, 191–195

56 J. Krautkrämer, H. Krautkrämer: *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*. Berlin u.a.: Springer [5]1986.

57 V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt: *Ultraschallprüfung. Grundlagen und industrielle Anwendungen*. Berlin u.a.: Springer 1997

58 V. Schmitz, M. Kröning, K. J. Langenberg: „Quantitative NDT by 3D Image Reconstruction". *Acoustical Imaging* Vol 22 (1996), 735–744

59 G. Kapphahn, V. Slowik, H. Baumbach: „Zur Anwendung der Schallemissionsanalyse bei experimentellen Untersuchungen an Beton- und Stahlbetonprobekörpern". *betontechnik* (1989) 1 (Februar), 17–20.

60 V. F. Gordeev, Yu. P. Malyshkov, V. L. Chakhlov, H. Baumbach, G. Kapphahn, V. Slowik, W. Birkholz: „Electromagnetic Emission Checking of the Strength of Concrete". *Russian Journal of Nondestructive Testing (Defektoskopiya)*, Vol 28, 7 (Juli 1992), 425–429 (russ.), Vol 28, 3 (1993), 76–80 (engl.)

61 D. Cioclov, V. Schmitz, M. Kröning: „Probabilistic Assessment in Load-bearing Components". DGZfP-Jahrestagung 1997 – ZfP als Dienstleistung in einer veränderten Industriestruktur, Dresden, 05.–07.05.1997.

62 R. P. Harrison, K. Loosemore, I. Milne: „Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects". *CEGB Report* R/H/R6, Central Electricity Generating Board, U.K., 1976

63 H. Wiedemann, D. Cioclov, Untersuchungsberichte des TÜV-Saar, 1996–97.

64 S. auch W. Masing, Einführung in die Qualitätslehre, DGQ-Schrift 11–19, Berlin 71989, 26 und W. Masing, Qualität und Qualitätsmanagement, in: M. Kröning (Hsg.), Handbuch der Zerstörungsfreien Prüfverfahren, Bd. 1, Kap. 1.3.2, München (i.pr.).

Siegfried Nowak

Umweltrechtliche Bestimmungen und moderne Technologien einer integrierten Abfallwirtschaft*

Die Abfallwirtschaft ist heute ein bedeutender Wirtschaftszweig in jeder Industriegesellschaft, der durch moderne Technologien, vielfältige Gesetze, Verordnungen und Regelungen sowie ökologische und ökonomische Gesetze geprägt ist.

Die Vielfalt verfahrenstechnischer Lösungen der Abfallbehandlung sowie die selbst für einen Fachmann schwer überschaubaren bundeseinheitlichen wie landesrechtlichen Regelungen für die Abfallwirtschaft erlauben mir hier nur die Darlegung einiger wesentlicher Verwertungs- und Entsorgungstechnologien und der diesen zugrunde liegenden Gesetze, Grenzwerte und ökologische Erfordernisse.

Grundlage und Zielstellung einer modernen Abfallwirtschaft ist die Erarbeitung von Abfallwirtschaftskonzepten und Abfallbilanzen für Städte, Gemeinden, Regionen oder betriebliche Einrichtungen, die die abfallwirtschaftlichen Grundsätze und Zielrichtungen für die Vermeidung, Verwertung und die Beseitigung von Siedlungs- und Industrieabfällen sowie Sonderabfällen enthalten.

Die Abfallbilanz stellt Art, Menge und Verbleib aller überwachungsbedürftigen Abfälle für das vergangene Jahr dar. Diese ist jeweils bis zum 1.April des vergangenen Jahres zu erstellen.

Das **Abfallwirtschaftskonzept** enthält die Prognose des betrieblichen Abfallgeschehens für die nächsten 5 Jahre mit Vermeidungs-, Verwertungs- und Beseitigungsmaßnahmen für die entstehenden Abfälle.

Was sind Abfälle?

Abfälle im Sinne des Gesetzes sind bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Schutzes der Umwelt geboten ist.

---

* Vortrag im Plenum der Leibniz-Sozietät am 18. Januar 2001

Die Erstellung von Abfallwirtschaftskonzepten und Abfallbilanzen, insbesondere aber für Sonderabfälle, sind ganz wesentliche Instrumente, die Handlungsanleitungen zur Vermeidung, Verminderung, Verwertung und zur Entsorgung der kommunalen bzw. industriellen Abfälle enthalten und die zu Kostenentlastungen in der Kommune und im Betrieb führen sollen.

Es geht grundsätzlich nicht nur um eine umweltgerechte Entsorgung/Beseitigung der Abfälle, sondern um das Vermeiden von Abfällen, um die Entwicklung abfallfreier Technologien und damit um eine effektive Ausnutzung der eingesetzten Rohstoffe. Für den Chemiker wie den Verfahrenstechniker heißt das, die Selektivität bestehender und neu zu entwickelnder Verfahren weiter zu erhöhen und den Anfall von Neben- und Abprodukten, aber insbesondere von Schadstoffen zu verringern.

Die Forderungen und Zielstellungen an moderne Verfahren heißen daher integrierter Umweltschutz. Damit ist gemeint, dass in den Innovationsprozess der Verfahrensentwicklung Umweltschutzmaßnahmen von Beginn an zu integrieren sind. Verfahren mit integriertem Umweltschutz sind für die chemische Industrie nicht neu und sollen bei möglichst geringem Rohstoff- und Energieeinsatz möglichst wenig Abfall zur Folge haben, um einen fühlbaren Beitrag zur Umweltentlastung zu leisten.

Wie neueste Untersuchungen in der Chemie Ingenieur Technik zeigen, entstehen der chemischen Industrie durch mangelnde Berücksichtigung ökologischer Aspekte bei der Planung von Anlagen bis zu 15% der Gesamtkosten. Das entspricht volkswirtschaftlichen Kosten in Höhe von 100–300 Mrd. DM. Demgegenüber wird mit Kosteneinsparungen von etwa 40 Mrd. DM gerechnet, wenn von einem integrierten Umweltschutz ausgegangen wird. Ungeachtet dessen betrachten viele Einrichtungen und Betriebe einen weiterführenden Umweltschutz ausschließlich als Kostenfaktor, weil Überlegungen des integrierten Umweltschutzes nicht von vornherein in die Entwicklung einbezogen wurden und die Mehrzahl der Umweltschutzaktivitäten vor allem am Ende des Produktionsprozesses stattfinden, wie z.B. Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft, des Wassers oder des Bodens. Für diese als additiven Umweltschutz oder „end of pipe" bezeichneten Maßnahmen, wurden z.B. in der chemischen Industrie im Jahre 1995 etwa 6,1 Mrd. DM ausgegeben.

Die Entwicklung neuer, leistungsfähiger Verfahren mit integriertem Umweltschutz muss daher dem folgenden Primat folgen:

- der Senkung des Rohstoff- und Energieeinsatzes (das gilt vor allem im Hinblick auf die knapper werdenden natürlichen Rohstoffe,
- der Vermeidung und Verminderung von Abfällen und Schadstoffen,
- der Verwertung von Abfällen im Sinne einer produktionsintegrierten Kreislaufführung.

Die Integration ökologischer Aspekte in die Produktions- und Verfahrensentwicklung ist daher eine Grundforderung für wirtschaftliches und umweltgerechtes Handeln, wobei sich ökonomische und ökologische Faktoren nicht zwangsläufig diametral gegenüberstehen müssen.

Die Forderung nach ökologischer Verträglichkeit und ökonomischer Rentabilität von Produkten und Verfahren ist daher eine Herausforderung an die Wissenschaft und Technik für die Entwicklung von schadstoffarmen und energiesparenden Verfahren und Produkten. Im Bereich der chemischen Industrie bieten sich hier vor allem biotechnologische Verfahren an, beide Zielstellungen zu vereinen. Insbesondere gilt das für die Herstellung von kleintonnagigen Produkten oder von Produkten, die über einen vielstufigen Prozess hergestellt werden müssen.

Die Erarbeitung von sogenannten Ökobilanzen für die Herstellung von Produkten und Erzeugnissen sowie Umweltverträglichkeitsprüfungen gehören daher heute für viele Betriebe und gewerbliche Einrichtungen zum festen Bestandteil unternehmerischer Tätigkeit und sind Voraussetzung für möglichst abfallfreie und schadstoffarme Technologien.

Für die Abfallwirtschaft gilt:

- *Abfallvermeidung ist wichtiger als Abfallminderung,*
- *Abfallminderung ist wichtiger als Abfallverwertung und*
- *Abfallverwertung geht vor Abfallentsorgung.*

Geringere Abfallmengen sparen knappen, nur begrenzt verfügbaren Deponieraum und Energie für Produktion, Transport und Aufbereitung der Abfälle. Aber auch aus Gründen des Umwelt- und Landschaftsschutzes sowie zur langfristigen Rohstoffersparnis und Schonung von anderen Ressourcen müssen Menge und Schadstoffgehalt der Abfälle abnehmen. Es gilt der Grundsatz, dass die Produktion der Güter, ihre Verteilung, ihr Gebrauch und ihre Entsorgung einen Wirtschaftskreislauf bilden sollen.

Es besteht die vorrangige Grundpflicht der Abfallerzeuger und Abfallbesitzer zur Verwertung der Abfälle, was ein wesentlicher Bestandteil des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist.

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz enthält Grundsätze und Regelungen für den Erzeuger wie den Besitzer von Abfällen wie z.B.

- die vorrangige Pflicht zur Verwertung der Abfälle,
- die Gleichstellung zwischen stofflicher und energetischer Verwertung, wobei die energetische Verwertung nur dann gerechtfertigt ist, wenn der Heizwert mindestens 1100 kJ/kg und der Feuerungswirkungsgrad mindestens 75% beträgt,
- die Pflicht zur Erstellung von Abfallbilanzen und Abfallwirtschaftskonzepten.

Darüber hinaus beinhaltet und formuliert das Kreislaufwirtschaftskonzept auch die Produktverantwortung wie z.B.

- die Forderung nach mehrfacher Verwendbarkeit und technischer Langlebigkeit der Produkte,
- die Rücknahme nach Gebrauch wie die nachfolgende schadlose Verwertung bzw. Beseitigung.

Gefordert wird auch der vorrangige Einsatz von verwertbaren Abfällen oder sekundären Rohstoffen für die Herstellung von Produkten und Erzeugnissen sowie die Kennzeichnung der Erzeugnisse wie z.B. Plasteteile nach Art und Menge.

Ein ganz wesentlicher Bestandteil der Kreislaufwirtschaft sind die etablierten Sammelsysteme. Um dem Verwertungsgebot des Abfallgesetzes Rechnung zu tragen, sind durch den Gesetzgeber Maßnahmen zur Kennzeichnungspflicht durch den Produzenten und die Rücknahme und Pfandpflicht durch den Produzenten bzw. den Vertrieb erlassen worden. Bekannt sind die Mehrwegsysteme für Flaschen und andere Behältnisse und die Kennzeichnungspflicht für Getränkeverpackungen als „Einweg- oder Mehrweg"-Produkte. Mit der Kennzeichnung soll erreicht werden, dass weitgehend sortenreine Abfallmengen entstehen, die getrennt gesammelt werden können und sich dann besser für die Verwertung eignen. Vielfältige Stoffgemische sind selten gut verwertbar. Die spätere Trennung vermischt gesammelter Abfälle in Papier, Glas, Holz, Schrott, Kunststoff u.a. ist sehr personalintensiv und mit hohen Kosten verbunden. Jede Vermischung von Abfall ist daher zu vermeiden. Insbeson-

dere gilt das für Abfälle mit einem besonderen Schadstoffgehalt (Sonderabfälle), die von dem übrigen Abfallaufkommen möglichst ferngehalten werden sollen und für deren Handhabung und Entsorgung besondere Verordnungen und Gesetze gelten. Der Forderung der TA Siedlungsabfall, Abfälle möglichst zu vermeiden bzw. stoffwirtschaftlich oder energetisch zu nutzen, müssen auch die etablierten Systeme für die Sammlung, den Transport, der Behandlung wie der Deponierung der Abfälle entsprechen und angepasst werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine stoffliche oder energetische Verwertung der Abfälle ist daher die getrennte Sammlung, d.h. dass möglichst viele Abfallfraktionen in einer verwertbaren Form bereitgestellt werden, sodass nachfolgende aufwendige und kostenintensive Trennungen entfallen. Jede Vermischung erschwert und verteuert die Entsorgung.

Um die bis heute noch dominierende Trennung per Hand durch moderne, automatisch arbeitende Trennverfahren abzulösen, wurden große Anstrengungen unternommen, die aber bisher wenig erfolgreich verliefen.

Eine perspektivreiche Neuentwicklung für eine voll automatisch arbeitende Sortier- und Aufbereitungsanlage für Leichtverpackungen wurde auf der Expo in Hannover vorgestellt. Entsprechend einer vorliegenden Information in der Chemie Ingenieur Technik vom Dezember 2000 soll es sich hierbei um die wahrscheinlich erste vollautomatisch arbeitende Sortieranlage in der Welt handeln, die im Vergleich mit den bisher angewandten Methoden zu erheblichen Kosteneinsparungen führen soll.

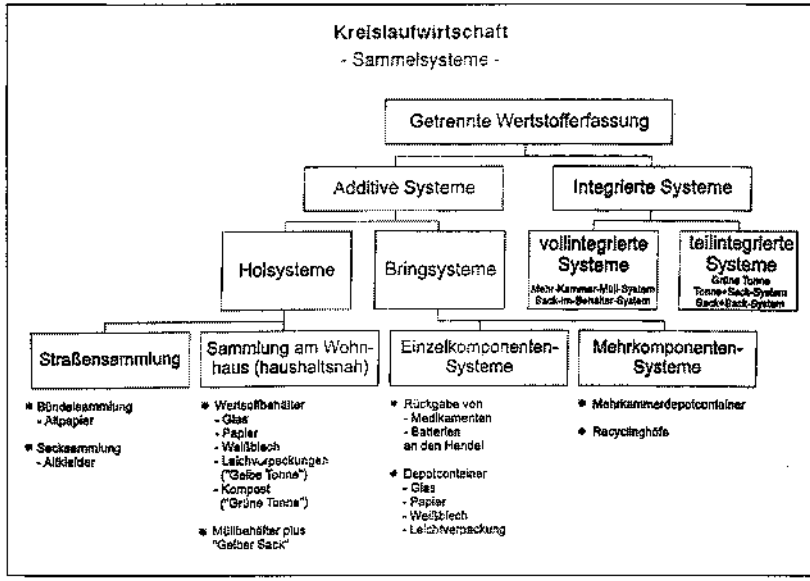
Das sogenannte SORTEC-Verfahren besteht aus drei Verfahrensschritten wie

- der trockenmechanischen Vorsortierung,
- einer nassmechanischen Aufbereitung und
- der sogenannten Kunststoffveredelung.

Durch die Kombination dieser Verfahrensschritte wird aus unterschiedlichem Verpackungsmaterial weitgehend sortenreines Polyethylen, Polystyrol und eine Polyolefinfraktion gewonnen, sodass diese werkstofflich oder rohstofflich genutzt werden können.

Die Verwertung der Abfälle wird in hohem Maße von den etablierten **Sammelsystemen** beeinflusst, welche Systeme einer getrennten Sammlung bzw. Wertstofferfassung existieren, zeigt die Abbildung 1.

Abbildung 1



Besondere Bedeutung besitzen die sogenannten haushaltnahen Holsysteme mit einer weitgehenden getrennten Sammlung des Haushaltmülls, wie auch die von der Hausmüllabfuhr unabhängigen Containersysteme für die verschiedensten Abfallstoffe.

Interessante Zahlen über das gegenwärtige und künftige Abfallgeschehen im Land Brandenburg enthält der neue Abfallwirtschaftsplan. Dem Abfallwirtschaftsplan Brandenburgs zufolge soll sich die zu beseitigende Menge der Siedlungsabfälle von 1,9 Mio t im Jahre 1999 auf 1,33 Mio t im Jahre 2010 reduzieren. Bedeutsam ist, dass die zu deponierende Menge von 1,2 Mio t im Jahre 1999 auf 0,5–0,8 Mio t im Jahre 2010 sinken soll.

Die wesentlichsten Maßnahmen im neuen Abfallwirtschaftskonzept Brandenburgs sind

- Ressourcenschonung durch Abfallvermeidung und Schadstoffreduzierung,
- Reduzierung der zu beseitigenden Abfallmengen bis zum Jahre 2010 auf 60% im Vergleich zu 1999 durch zunehmende Kreislaufführung und hochwertige Verwertungsmöglichkeiten,

- Reduzierung der zur Deponierung verbleibenden Abfälle um etwa 50%.

Durch abfallbewusstes Verhalten der Bürger und des Gewerbes und die zunehmende Getrennthaltung von Abfällen, sind die zu deponierenden Abfälle stark zurück gegangen. Wurden noch 1995 2,5 Mio t Siedlungsabfall deponiert, waren es 1999 nur noch 1,2 Mio t. Der Hausmüll ist von 303 kg pro Einwohner im Jahre 1990 auf 167 kg im Jahre 1999 gesunken. Im selben Zeitraum stieg die Menge der in den Haushalten getrennt erfassten Wertstoffe von 113 kg je Einwohner auf 192 kg pro Jahr.

Mit der zunehmenden Getrennthaltung von Abfällen und den daraus resultierenden Verwertungspotenzialen stieg auch die Zahl der Recyclinganlagen stark an. So gibt es heute in Brandenburg 500 ortsfeste Anlagen zur Abfallbehandlung und –verwertung von Siedlungsabfällen. 1993 waren es erst 43.

Darüber hinaus wurden bedeutende Fortschritte bei der Deponierung von Abfällen erreicht. 1989 wurden noch 2000 Standorte für die kommunale Abfallentsorgung genutzt, die jedoch keinerlei modernen Umweltstandards entsprachen. Viele Standorte wurden geschlossen. Heute werden noch 34 Deponien genutzt, von denen in 30 Jahren etwa 25–30 geschlossen werden sollen.

Eine Darstellung des Aufkommens an Sonderabfällen, d.h. besonders überwachungspflichtiger Abfälle und der Entsorgungssituation im Land Brandenburg liegt mir nur aus dem Jahre 1992 vor. Die Situation zeigt aber, dass aus Berlin mehr Sonderabfälle (322.000 t) entsorgt als eigene Sonderabfälle (ca. 216.000 t) erzeugt wurden. Eine Zusammenarbeit bei der Organisation und beim Aufbau einer umweltverträglichen Verwertungs- und Entsorgungsinfrastruktur ist somit dringend geboten.

Durch das abgestimmte gemeinsame Abfallwirtschaftskonzept der beiden Länder wird auch unterstrichen, das diese Region als ein Entsorgungsraum betrachtet wird und werden muß.

Recycling von Abfällen und Abprodukten

In einem relativ großen Umfang wird in der Bundesrepublik die Recyclisierung von Sekundärprodukten betrieben. Markante Beispiele sind die Wiederverwendung von Altkunststoffen, Papier, Glas, Schrott u.a. Materialien. Insbesondere die werkstoffliche Verwertung von gebrauchten Plastmaterialien

wird durch mechanische Aufbereitung zur Herstellung von Produkten und neuen Gegenständen, z.B. Gartenbänken, Zaunpfählen u.a. genutzt, für Erzeugnisse, die die geforderten Gebrauchseigenschaften vollständig erfüllen, sodass deren Herstellung aus Primärprodukten entfallen kann. Die vor Jahren, insbesondere während der Erdölkrise forcierte Entwicklung einer rohstofflichen Verwertung der Plastabfälle und Altplaste, betraf vor allem ihre Hydrierung bzw. Vergasung zu Flüssigprodukten, zu Ölen oder die Herstellung von Synthesegas für die Synthese von Methanol oder höheren Kohlenwasserstoffen nach dem Prinzip der Fischer-Tropsch-Synthese. Insbesondere hat sich die Staubdruckvergasung in der Schwarzen Pumpe in ganz hervorragender Weise für die Entsorgung von Plastabfällen sowie anderer organischer Abfallstoffe zu Synthesegas und dessen nachfolgender Umsetzung zu Methanol, einem damals wie heute interessanten Ausgangsprodukt für vielfältige Anwendungen erwiesen. Die Hochtemperaturvergasung gehört heute aus meiner Sicht zu den perspektivreichsten Verfahren der Abfallverwertung .

Nach neuesten Informationen wird sich das Rohstoffverwertungszentrum (SVZ) Schwarze Pumpe auch auf dem Markt zur Verarbeitung des in Kritik geratenen Tiermehls und von Tierfett etablieren. So soll ein erster Großauftrag für die Verarbeitung von 10.000 t Tierfett zu Methanol von der Tierkörperverwertungsanlage Genthin vorliegen. Darüber hinaus sollen die Kapazitäten für die Verarbeitung von Tierfett und Tiermehl schrittweise auf 120.000 t/Jahr ausgebaut werden.

Die **Recyclisierung** von Papier hat in Deutschland eine lange Tradition. Erwähnen möchte ich hier auch das SERO-System der DDR, das sich allerdings nicht nur auf Papier bezogen hat und das aus angeblich wirtschaftlichen Gesichtspunkten keine Fortführung erfahren hat. Ungeachtet dessen gibt es Hinweise, dass eine Wiedereinführung sinnvoll und ökonomisch sein soll, da hier die nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz angestrebte sortenreine Erfassung und die hohe Verwertungsrate der Abfälle, wichtige Bestandteile des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, am besten erfüllt sind.

Die Einsammelquote für Papier und Pappe ist im Laufe der Jahre ständig gestiegen. Heute liegt der Grad der Recyclisierung bei etwa 60%. Je höher allerdings die Erfassungsquote und die Mehrfachnutzung des Altpapiers ist, um so stärker sinkt die daraus hergestellte Papierqualität. Die mechanischen

Eigenschaften verschlechtern sich und die organischen wie anorganischen Schadstoffe reichern sich im Recyclingpapier zusätzlich stark an.

Weitere Beispiele für eine Wiederverwendung von Abprodukten ist die Wiederaufbereitung von Altöl durch Raffination, der Klärschlammeinsatz in der Landwirtschaft, die Kompostierung von organischen Abfällen sowie die Rückführung von Glas und dessen Wiederverwendung, entweder als Mehrwegflasche oder als Ausgangsprodukt für Finalerzeugnisse, sowie die vielfältigen Bemühungen zur Verwertung von Inhaltstoffen von Fernsehern, Kühlschränken und Altautos. So existieren z.B. in Brandenburg 78 Anlagen zur Verwertung von Altautos.

Ein Problem, das auch von seiner Größenordnung große Beachtung verdient, ist die Verwertung der in großen Mengen anfallenden Altreifen. Für Altreifen haben sich eine ganze Reihe von Verwertungsmöglichkeiten empfohlen (s. Abb. 2). So werden etwa 20% für die Runderneuerung eingesetzt. In die stoffliche Wiederverwertung durch thermische Behandlungsverfahren , wie z.B. die Pyrolyse, gelangen etwa 15%. 40% werden energetisch z.B. für die Herstellung von Zement genutzt, aber ein nicht unbedeutender Teil (etwa 20%) wird exportiert (s. Abb. 2).

Ungeachtet dieser Bemühungen durch Recyclisierung weniger Müll zu produzieren und das Verwertungspotential von Abfällen zu erhöhen, dominiert in unserer Gesellschaft aus angeblich wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Produktion wie des Konsums die Einwegnutzung von Produkten und Erzeugnissen. So hat sich insbesondere nach der Wende auch im Osten Deutsch-

Abbildung 2: Die Verwertung von Altreifen

Sammlung und Erfassung

Weiterverwendung
- Export
- Runderneuerung
- andere Einsatzbereiche

Stoffliche Verwertung
- Mechanische Aufbereitung
- Pyrolyse
- Hydrierung

Energetische Verwertung
- Reifenheizwerk
- Zementherstellung

lands eine Wegwerfideologie breit gemacht. Bei einer durchdachteren Gestaltung von Produkten und Erzeugnissen und einer bewussten Anwendung von ökonomischen Hebeln sollte es doch möglich sein, eine Reparatur oder den Ersatz von bestimmten Bausteinen im Vergleich zum Kauf eines kompletten Neugerätes aus Umwelt- und ökonomischen Gesichtspunkten zu favorisieren. Mehr reparieren als wegwerfen sollte und könnte mit dazu beitragen, wertvolle Rohstoffe zu sparen und die Abfallmengen stark zu verringern.
Biologisch-mechanische Verfahren, wie die Kompostierung oder die aerobe wie anaerobe Vergärungstechnologie, leisten heute einen großen Beitrag zur Entsorgung von organischen Abprodukten (Küchen- und Gartenabfälle, Abfälle aus der Landwirtschaft, dem Handel und Marktabfälle, die zur Gewinnung von hochwertigem Kompost oder auch Biogas eingesetzt werden. Für diese Anlagen gibt es strenge Richtlinien und Qualitätskriterien für die Kompostierung und die Anwendung des Kompostes als Düngemittel hinsichtlich Schwermetallgehalt und organischen Inhaltsstoffen, wie z.B. Dioxine oder PAK, sowie für das Betreiben von solchen Kompostierungsanlagen hinsichtlich Geruchsbelästigung, des Abwassers und des Transportes des Kompostes.

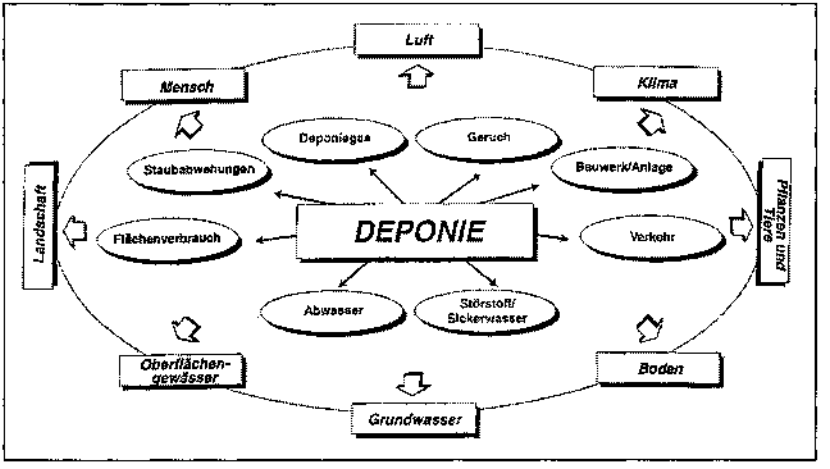
Biologische Verfahrensvarianten werden auch zum Abbau von organischen Schadstoffen in kontaminierten Böden on-site oder in situ eingesetzt. Auf die Vielfalt der Bedingungen, die technologischen Varianten wie die biologisch unterschiedliche Abbaubarkeit der verschiedenen Organika soll hier nicht eingegangen werden. Bekannt ist auch, dass der Sanierungsverlauf sehr langsam verläuft und bestimmte Kohlenwasserstoffverbindungen wie Pestizide, chlorierte Kohlenwasserstoffe, polycyclische Aromaten und Schwermetalle sich einer Entsorgung weitgehend entziehen und zu einer Belastung des Bodens und des Grundwassers führen.

Zur Deponierung von Abfällen

In den letzten 20–30 Jahren war die einfachste Art Abfälle zu entsorgen deren Deponierung. Obwohl strenge Anforderungen an die Ablagerung von Abfällen auf Deponien existieren, die in den letzten Jahren zudem erheblich verschärft und erweitert wurden, sind eine Fülle von Altlasten und Mülldeponien entstanden, ganz zu schweigen von den militärischen Altlasten und wilden Ablagerungen, die nicht nur die Umwelt stark belasten und für deren Beseitigung erhebliche finanzielle und technische Mittel aufgewendet werden müssen.

Welche Umweltauswirkungen Deponien auf die Umwelt und die Menschen haben, zeigt die Abb. 3. Um Gefährdungen der Luft, des Grundwassers, des Bodens und letztendlich des Menschen auszuschließen, werden an die Standortsuche und Sicherung der Deponien hohe Anforderungen hinsichtlich Bodenabdichtung und Abdeckung der Oberfläche gestellt. In Abhängigkeit vom zu deponierenden Abfall werden darüber hinaus die Deponien in die Klassen 1 und 2 eingestuft, für die erweiterte Bestimmungen hinsichtlich des Gehaltes an organischem Anteil gelten (s. Abb.3).

Abbildung 3: Deponierung. Umweltauswirkungen von Deponien



Ein ganz aktuelles Beispiel, welche Gefahren von einer ungesicherten Deponie ausgehen können, zeigt aus dem Berliner Raum der Wannsee-Müllberg, eine Müllhalde auf der rund 32 Mio. Kubikmeter Abfälle lagern, die hier zwischen 1954 und 1982 abgelagert wurden, die eine Höhe von 90 Meter besitzt und aus der tagtäglich 300.000 Liter giftiges Abwasser in die Erde sikkert und den Griebnitzsee wie den Wannsee mit Chloriden, Aromaten und Schwermetallen verseuchen. Der seit 1982 geschlossene Abfallberg ist nicht versiegelt, sodass heute dringend das Grundwasser behandelt werden muss, um die genannten Umweltgefährdungen auszuschließen.

An diesem Beispiel wird deutlich, dass trotz klarer Regelungen und Verantwortlichkeiten über die sachgerechte und ökologische Entsorgung von Abfällen, Entscheidungen aus finanziellen Gründen nicht oder zeitlich stark verzögert getroffen werden.

Thermische Abfallbehandlungsanlagen

Für die Entsorgung der Restabfälle kommen im wesentlichen nur zwei Wege infrage, das ist einmal die thermische Behandlung mit Verwertung der entstehenden Reaktionsprodukte oder die Ablagerung des Verbrennungsrückstandes auf einer Deponie.

Bevor ich auf einige ausgewählte thermische Abfallbehandlungsverfahren und ökologische Anforderungen an diese näher eingehe, nachstehend einige Bemerkungen zur ständig wiederkehrenden Diskussion für und wider Verbrennungsanlagen und die alternative Deponie. Die Diskussion wird in der Öffentlichkeit hoch emotional und z.T. mit wenig abfallwirtschaftlicher Sachkenntnis geführt, sodass eine Versachlichung bei breiten Bevölkerungsschichten nicht erreicht wird, weil dann eine Entscheidung für eine Verbrennungsanlage oder eine Deponie gefällt werden müsste. Aber in einem Punkt sind sich die Kritiker der Abfallwirtschaft einig: sie wollen weder eine Deponie noch eine Verbrennungsanlage, vor allem keinen Standort in ihrer Nähe für eines von beiden. Sie wollen aber andererseits selbst nicht auf die weitere Produktion von Abfällen verzichten. Es ist wie mit dem Autoverkehr, alles stöhnt und beklagt sich über die Staus und mangelnde Parkmöglichkeiten, aber fast keiner will auf das Auto verzichten.

Vor diesem Dilemma stehen heute viele Kommunen und Entsorger. Eine Grundvoraussetzung für die Akzeptanz solcher abfallwirtschaftlicher Maßnahmen in der Bevölkerung ist die ehrliche und klare Aussage über Eignung und die konkreten Auswirkungen der geplanten Entsorgungswege auf das Umfeld und die breite Einbeziehung der Bevölkerung .

Den größten Beitrag zur Entsorgung von Abfällen leisten heute thermische Verfahren. Die Errichtung und der Betrieb von Abfallentsorgungsanlagen für die Umsetzung/Behandlung der verschiedensten Abfälle stellt hohe technische und ökologische Anforderungen an diese Verfahren. Vielfältige Gesetze, Verordnungen und Standards sind einzuhalten, um die geforderte

Umweltverträglichkeit der entstehenden gasförmigen, flüssigen und oder festen Reaktionsprodukte zu garantieren. Alle Abfallentsorgungsanlagen unterliegen der Überwachung durch die zuständigen Behörden. Das betrifft die thermischen Verfahren, Deponien, die Kompostierung wie auch alle anderen Anlagen. Abfallentsorgungsanlagen dürfen nur mit abfallrechtlicher Zulassung errichtet und betrieben werden.

Thermische Anlagen werden vor allem durch die Rahmenbedingungen der TA Luft und der 17. BiMSCH und der darin festgelegten Emissions- und Grenzwerte in ihrer technologischen Gestaltung und Leistungsfähigkeit beeinflusst, die vor allem auf die Entwicklung und die Auslegung der den Verbrennungsanlagen nachgeschalteten Gasreinigungsanlagen großen Einfluss haben. Darüber hinaus sind Vorschriften für die Ablagerung von festen Verbrennungsresten und Schlacken für die Ablagerung auf Deponien zu beachten.

Die 17. Bundesimissionschutzverordnung (BImSCHV) enthält die Emissionsgrenzwerte für die verschiedensten Schadstoffe (s. Abb. 4), die von den Erbauern und Betreibern von Abfallbehandlungsverfahren eingehalten werden müssen.

Hohe Anlagensicherheit, strenge Genehmigungsverfahren und Planfeststellungsverfahren sowie Umweltverträglichkeitsprüfungen sind Grundvoraussetzungen für den Bau und den Betrieb von allen Entsorgungsanlagen. Sonderbestimmungen gelten darüber hinaus für die Entsorgung von Sonderabfällen. Welche Vielfalt an Gesetzen, Verordnungen und Standards für die Errichtung und den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen oder der Abfallstoffe zu beachten und einzuhalten sind, zeigt Abb. 5, die die wesentlichsten Grenz- und Richtwerte sowohl für die Luft, das Wasser, den Boden und weitere einzuhaltende Bestimmungen enthält.

Erwähnung verdient auch in diesem Zusammenhang die UNO-Resolution zum Verbot der Herstellung und Anwendung von schwer abbaubaren chemischen Verbindungen, die allerdings erst in 5 Jahren Gesetzeskraft erhalten soll.

Die Fülle der bundeseinheitlichen Gesetze und Verordnungen, die für verschiedene Abfallarten und Anwendungen durch landesspezifische Gesetze ergänzt und erweitert werden, lässt sich im Rahmen dieser Darlegungen nicht annähernd und übersichtlich darstellen oder gar einer ökologisch-ökonomischen Bewertung unterziehen.

Abbildung 4: Emissionsqrenzwerte der 17. BlmSchV

Schadstoffe mg/Nm³	Inhaltsstoffe in ungereinigten Rauchgasen (Bsp. Rost)	Grenzwerte lt. 17 Blm-SchV	in Zukunft erreichbar
Gesamt-Staub	6.000	10	1 –3
Schwefeloxide (SO_2)	300	50	10–30
Anorganische Chlorverb.	1.000	10	3–5
Anorganische Fluorverb.	10	1	0,1
Kohlenmonoxid (CO)		50	10–30
Gesamt-Kohlenstoff		10	gegen 0
Stickoxide (NO_2)	300	200	10–50
Schwermetalle:			
- Cadmium und seine Verbindungen		0,05	0,05
- Quecksilber und seine Verbindungen		0,05	0,05
- Übrige insgesamt		0,5	
PCDD/PCDF ng/Nm³ Toxizitäts-Äquivalent		0,1	0,1

Die Einhaltung bzw. Unterschreitung der Grenzwerte der 17. BlmSchV kann mit den vorgeschlagenen Rauchgasreinigungsanlagen garantiert werden.

Erwähnung verdient, dass zwischen 1989 und 1994 zum Imissionsschutz 14, zum Bodenschutz 6 und zum allgemeinen Umweltrecht 6 neue Gesetze verabschiedet wurden, was für den schnellen dynamischen Wandel der Abfallwirtschaft typisch ist.

Aus der Fülle der Gesetze sei hier beispielhaft auf die Verwendung von industriellen und kommunalen Klärschlammen und die dafür geltende Klärschlammverordnung erwähnt, die vor allem das Aufbringen des Klärschlammes auf landwirtschaftlich genutzte Böden regelt.

Abbildung 5: Umweltrechtliche Bestimmungen mit Wirkung auf Abfallentsorgungsanlagen

Abfallrechtliche Bestimmungen	Wasserrechtliche Bestimmungen	Immissionsrechtliche Bemungen	Bodenrechtliche Bestimstimmungen	Arbeitsrechtliche Bestimmungen	Sonstige Bestimmunmungen
Abfallgesetze (Bund u. Länder)	Wasserhaushaltsgesetz	Bundesimmissionschutzgesetz	Bundesnaturschutzgesetz	Gewerbeordnung	UVP-Gesetz
AbfttauftrV	Landeswassergesetz		Baugesetzbuch	Arbeitsstättenverordnung	Umwelthaftungsgesetz
AbfBestV		TA-Luft			
AbfRestÜberwV					Umweltrahmengesetz
AbfKlärV	Abwasserabgabengesetz	TA-Lärm	Baunutzungsverordnung	Unfallverhütungsvorschriften	
AltölV		Abstandsregelungen			Bundesberggesetz
AltautoV	Indirekteinleiterverord.		Raumordnungsgesetz	Chemikaliengesetz	
Elektronikschrott V		EU-Richtlinien			Verwaltungsverfahrensgesetz
Schutz des Grundwassers bei der Lagerung und Ablagerung von Abfällen	EU-Richtlinien		EU-Richtlinien	GefStoffV	Verordnung über die Zuständigkeit der Behörden
TA-Sonderabfall					
TA-Siedlungsabfall					Investitionserleichterungsgesetz
EU-Richtlinien					

Die Situation auf dem Gebiet der Klärschlammbehandlung und -entsorgung ist durch einen steigenden Anfall an Klärschlamm gekennzeichnet. Die gegenwärtigen Entsorgungswege sind die Deponie und seine Verwendung als Düngemittel. Gegenwärtig werden etwa 60% deponiert und 30% werden als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt; 10% werden thermisch behandelt. Diese Zahlen sind jedoch regional und von Land zu Land sehr unterschiedlich.

Die Deponierung, ein bisher oft gegangener Weg, ist uneffektiv und teuer, weil einmal immer weniger Fläche für eine Deponierung zur Verfügung steht und zunehmend strengere Umweltstandards hinsichtlich der Konzentra-

tion an organischer Substanz im Klärschlamm auf Deponien die Ablagerung verteuert.

Ein sehr interessanter Weg, den Klärschlamm naturbezogen zu nutzen und zu entsorgen, ist und war seine Verwendung als Dünger in der Landwirtschaft und zur Verbesserung der Bodenstruktur. Diese Verwendung des Klärschlammes als Sekundärrohstoffdünger in der Landwirtschaft trifft allerdings ebenfalls auf Schwierigkeiten hinsichtlich seiner Zusammensetzung.

Die Klärschlammverordnung regelt das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden.

Das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Böden ist verboten, wenn Schwermetalle oder chlorierte Kohlenwasserstoffe bestimmte Grenzwerte überschreiten. Die Abb. 6 enthält die Grenz- und Richtwerte, die einzuhalten sind.

Abbildung 6: Klärschlammverordnung

Das Aufbringen von Klärschlämmen auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten, wenn die Gehalte

an Schwermetallen mindestens einen der folgenden Werte (Milligramm je Kilogramm Schlammtrockenmasse für

Blei	100
Cadmium	1,5
Chrom	100
Kupfer	60
Nickel	50
Quecksilber	1
Zink	200

und für

- polychlorierte Biphenyle (PCB) jeweils 0,2 Milligramm je Kilogramm Schlammtrockenmasse und
- polychlorierte Dibenzodioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) 100 Nanogramm TCDD-Toxizitätsäquivalente je Kilogramm Trockenmasseübersteigen.

Das Aufbringen von Klärschlämmen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten, wenn bestimmte Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber oder Zink bestimmte Grenzwerte im Schlammtrockenrückstand übersteigen. Darüber hinaus gibt es Regelungen für den Klärschlammeintrag in Abhängigkeit von der Bodenstruktur, dem pH-Wert sowie jahreszeitliche Festlegungen, wann Klärschlamm generell nicht ausgebracht werden darf.

Den größten Beitrag zur Entsorgung des Klärschlamms müssen daher in Zukunft thermische Verfahren leisten.

Klassische thermische Abfallbehandlungsanlagen

Thermische Verfahren leisten zum gegenwärtigen Zeitpunkt den größten Beitrag zur Beseitigung von festen, flüssigen und gasförmigen Abprodukten. Sie sind der bevorzugte Weg für die Entsorgung von Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Garten- und Holzabfällen, Rückständen aus der Landwirtschaft, Kompostrückständen sowie einer ganzen Reihe von Sonderabfällen wie z.B. Krankenhausabfällen, Tierkadavern und mit Sicherheit auch für das in der Kritik stehende Tiermehl.

Mit der thermischen Behandlung von Abfällen werden folgende Ziele verfolgt:

- weitgehende Zerstörung, Abtrennung und /oder Imobilisierung von Schadstoffen, die eine Ablagerung auf einer Deponie gestatten,
- erhebliche Volumen- und Mengenreduzierung von etwa 90%, was hinsichtlich knapper und teurer werdenden Deponieflächen von besonderer Bedeutung ist und
- die Nutzbarmachung der im Abfall enthaltenen Energie oder auch die Wiedergewinnung von Ausgangsprodukten für eine stoffliche Nutzung.

Zum Stand der thermischen Abfallbehandlung gehören vor allem die folgenden Verfahren:

- die Hochtemperaturverbrennung mit vielfältigen technologischen Varianten,
- plasmachemische Verfahren,
- die Pyrolyse und Verschwelung,
- die Hydrierung und Vergasung,
- sowie zahlreiche Verfahren die mit Katalysatoren arbeiten.

Diese Technologien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer konstruktiven Gestaltung, durch die angewandten Reaktionsbedingungen und der entstehenden Reaktionsprodukte (s. Abb. 7). In Abhängigkeit vom angewandten Verfahrensprinzip und den Reaktionsbedingungen entstehen sehr unterschiedliche Reaktionsprodukte. Während die Hauptreaktionsprodukte der Verbrennung $C0_2$ und H_20 sowie Stick- und Schwefeloxyde sind, entstehen bei der Vergasung neben niedermolekularen Kohlenwasserstoffen vor allem CO und H_2, die als Brenn- oder Synthesegas genutzt werden können. Die Pyrolyse, die generell in Abwesenheit von Sauerstoff arbeitet, führt vor allem zu niedermolekularen Schwelgasen. Sauerstoffhaltige Reaktionsprodukte werden nur in dem Maße gebildet, wie Sauerstoff in den zu wandelnden Schadstoffen enthalten ist, sodass aufwendige Gastrennungen weitgehend entfallen können.

Für die Verbrennung haben sich eine ganze Reihe von Verfahren etabliert, die sich hinsichtlich ihrer Anlagenkonfiguration und konstruktiven Gestaltung stark unterscheiden und die auf die Umsetzung von verschiedenen Abfallstoffen spezialisiert sind.

Abbildung 7: Thermische Behandlung – Verfahren –

Verfahren	Reaktionsbedingungen	Reaktionsprodukte
Verbrennung	Temperatur > 850 °C Sauerstoffüberschuß	CO_2, H_2O Schlacke
Entgasung (Pyrolyse)	Temperatur > 450–700 °C Sauerstoffausschluß	Schwelgase: C_nH_m, CO, H_2, CH_4 Pyrolysekoks
Vergasung	Temperatur > 800 °C Sauerstoffmangel	Synthesegas: CO, H_2, CH_4,CO_2 Schlacke
Naßoxidation (bisher nur Schlämme)	Temperatur > 150–300 °C Druck 5–15 Mpa Sauerstoffzufuhr	CO_2,H_2O, in Spuren: C_nH_m, CO mineralisierter Feststoff

Klassische Abfallverbrennungsanlagen sind vor allem

- Anlagen mit Rostfeuerung,
- der Drehrohrreaktor,
- die Wirbelschicht,
- das Schwel-Brennverfahren, eine Kombination von Schwelung mit nachfolgender Verbrennung der Schwelprodukte und
- das Thermoselectverfahren.

Alle Verfahren besitzen Vorzüge wie Schwachstellen. Das betrifft sowohl den erreichten Stand der Entwicklung und die Entsorgungssicherheit in Bezug auf die entstehenden Reaktionsprodukte.

Die bevorzugten Anwendungsbereiche der genannten Verbrennungsverfahren für die Umsetzung der verschiedensten Abfallprodukte illustriert die Abb. 8.

Der Drehrohrreaktor gehört nicht nur zu den ausgereiftesten Technologien, da sich diese Technologie seit vielen Jahren für die Herstellung von Zement bewährt hat, sondern ist auch in der Lage, eine breite Palette von

Abbildung 8: Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Verbrennungssysteme

Verbrennungssystem / Abfallart	Drehrohr	Rost	Wirbelschicht	Etagenofen	Brennkammer
• Gase	+	—	+	—	+ +
• flüssige Abfälle (z.B. Lösemittel, belastetes Wasser, ölhaltige Rückstände)	+ +	—	+	—	+ +
• pastöse Abfälle	+ +	—	+	—	—
• Schlämme (z.B. Klärschlamm)	+ +	—	+ +	+ +	—
• feste Abfälle					
- organisch	+	—	+	—	—
- körnig, stückig (aschereich)	+	—	+ +	+	—
- sperrig	+	+ +	—	—	—

++ = gut geeignet + = bedingt geeignet — = nicht geeignet

Abprodukten zu verarbeiten. In den Anfängen der Abfallbeseitigung wurde in Zementfabriken der Drehrohrreaktor auch für die Mitverbrennung von z.B. Altreifen und anderen organischen Abprodukten genutzt.

Für die Entsorgung von Hausmüll und Siedlungsabfällen oder sperrigen Gegenständen hat sich vor allem die Rostfeuerung empfohlen. Sie ist heute die bestimmende Technologie für die Müllverbrennung. Ein Prinzipschema dieser Technologie zeigt die Abb. 9. Bei der Rostfeuerung werden die Abfälle im Feuerungsraum durch ein System von beweglichen Rosten transportiert und vermischt, die in der Regel absteigend angeordnet sind. Im ersten Teil wird der Abfall getrocknet, das enthaltene Wasser wird verdampft. Im nächsten Schritt entzünden sich die leicht brennbaren Bestandteile des Abfalls. Im hinteren Rostbereich erfolgt dann der Ausbrand der Schlacke. Die Reaktionstemperaturen betragen bei der Rostfeuerung 850°–1050°C. Anlagen werden in Nenngrößen zwischen 75.000–190.000 t gebaut und betrieben.

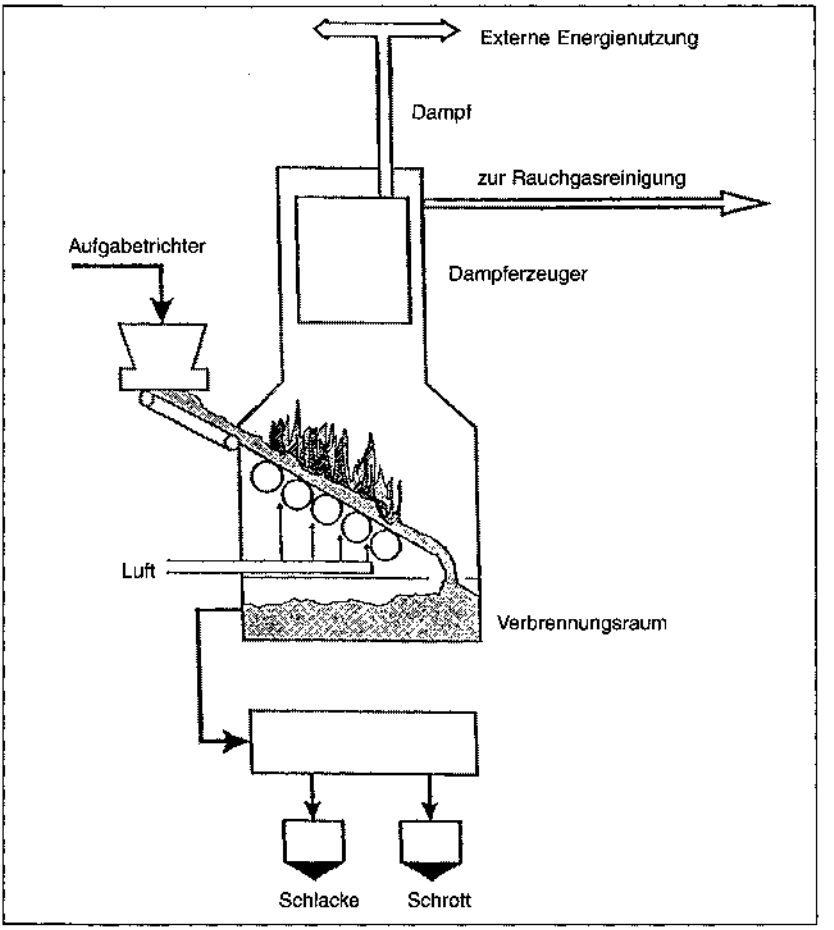
Die Wirbelschicht, eine Entwicklung der LURGI für die Vergasung der Kohle zu Synthesegas, hat sich besonders für die Umsetzung von Klärschlämmen oder pastösen Abfällen bewährt und spielt bei der Beseitigung von Schadstoffen eine bedeutende Rolle.

Bei der Wirbelschichtfeuerung (s. Abb. 10) werden die zu behandelnden Abfälle in einem heißen wirbelnden Sandbett oder einem Bett aus inerten Materialien verbrannt. Die Schüttung aus körnigem Material und der Abfallstoff wird in einem Reaktor mit Düsenboden durch Luft entgegen der Schwerkraft so angeströmt, dass sie in einen aufgewirbelten, schwebeähnlichen Zustand gebracht wird. Das Sandbett sorgt dafür, dass der Abfall gleichmäßig durchmischt und zerrieben wird und aufgrund der guten Wärmeleitung des Sandes schnell und gleichmäßig verbrennt.

Ein Verfahren, das in den letzten Jahren in den Mittelpunkt des Interesses der Abfallwirtschaft gerückt ist, ist das Thermoselect-Verfahren (s. Abb. 11).

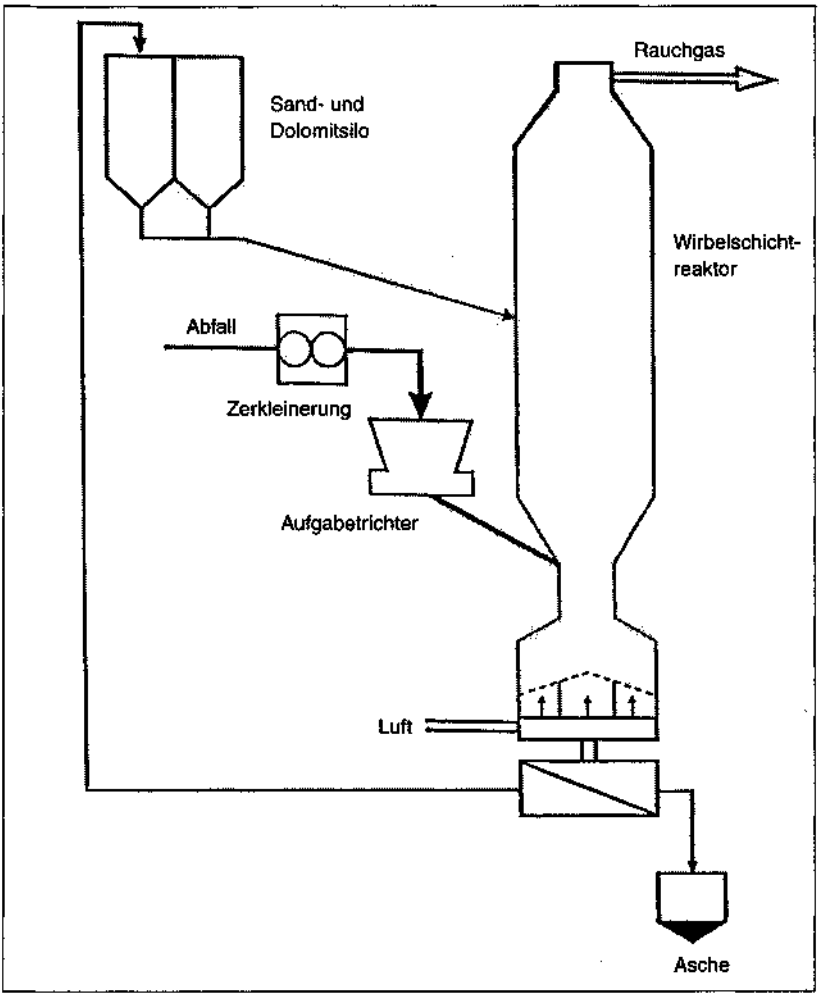
Das Thermoselect-Verfahren besteht aus einem Vergasungskanal und einem Hochtemperaturvergasungsreaktor. Die Abfälle werden verdichtet und im Entgasungskanal unter Luftabschluss entgast. Das dabei entstehende Prozessgas und die Feststofffraktion werden in einen Hochtemperaturreaktor eingebracht, in dem die organischen Bestandteile mit reinem Sauerstoff vergast werden. Es entstehen eine schmelzflüssige Schlacke und ein heizwertreiches Synthesegas. Die dort angewandten hohen Reaktionstemperaturen von 1200°

Abbildung 9: Rostfeuerung, Verfahrensschema



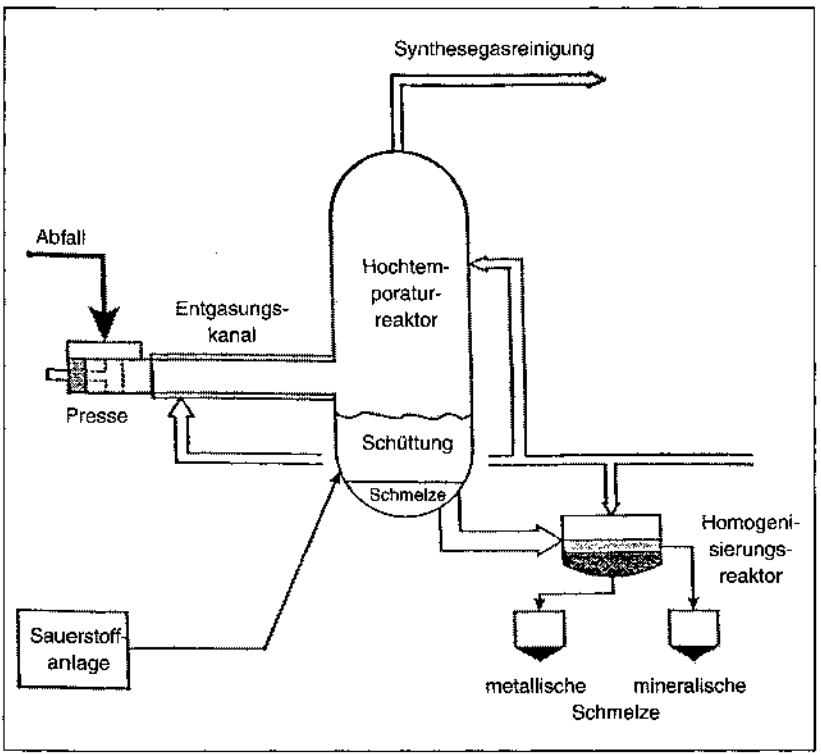
–2000°C, verbunden mit hohen Verweilzeiten sowie die Anwendung von Sauerstoff anstelle Luft, erlauben die Umsetzung von heterogenen festen Abfällen mit einem hohen Umwandlungsgrad in Synthesegas, das als Energieträger oder auch als Ausgangsprodukt für die Synthese von Methanol oder anderen Kohlenwasserstoffen eingesetzt werden kann. Die extrem hohen Reaktionsbedingungen führen auch dazu, dass alle organischen Verbindun-

Abbildung 10: Wirbelschichtfeuerung, Verfahrensschema



gen vollständig zerstört werden. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens besteht auch darin, dass durch die Anwendung von reinem Sauerstoff das entstehende Reaktionsgas kein NO_x enthält, das in Verbrennungsanlagen, die mit Luft arbeiten, mit hohem technischen Aufwand entfernt werden muss.

Abbildung 11: Thermoslect, Verfahrensschema



Ein weiterer Vorzug besteht auch darin, dass nicht vergasungsfähige Anteile in eine Mineralstoff- bzw. Metallschmelze überführt werden, die als inertes Material abgelagert bzw. deponiert werden kann.

Ungeachtet dieser Vorzüge, hat sich dieses Verfahrensprinzip insbesondere auch wegen der hohen technischen Aufwendungen bisher noch keine großen Marktanteile erobern können. Eine Prototypanlage arbeitet gegenwärtig in Norditalien. Großanlagen in Deutschland warten noch immer auf eine Bau- und Betriebserlaubnis.

Zur Rauchgasreinigung

Ungeachtet der erzielten Fortschritte bei den vorgestellten Verbrennungsverfahren, haben diese Technologien vor allem ein Problem zu lösen. Das ist die Aufbereitung und Entsorgung der entstehenden Rauchgase, die neben Staub vor allem erhebliche Anteile an NO_x und SO_x und auch hochtoxische Stoffe wie Dioxine und Furane enthalten, wobei sich die letzteren insbesondere bei der Abkühlung des Rauchgases in den Filtersystemen wieder bilden können und so zu der in Fachkreisen gut bekannten sogenannten De Novo-Synthese führen. Rauchgase enthalten vor allem CO/CO_2, Wasser, Stickoxyde, SO_2, Halogenkohlenwasserstoffe und Staub.

Die Abtrennung von NO_x und SO_x, Halogenkohlenwasserstoffen sowie die sichere Eliminierung der Dioxine und Furane, die ja bekanntermaßen ein erhöhtes Krebsrisiko darstellen, aus Rauchgasen, ist technisch wie ökonomisch sehr aufwendig.

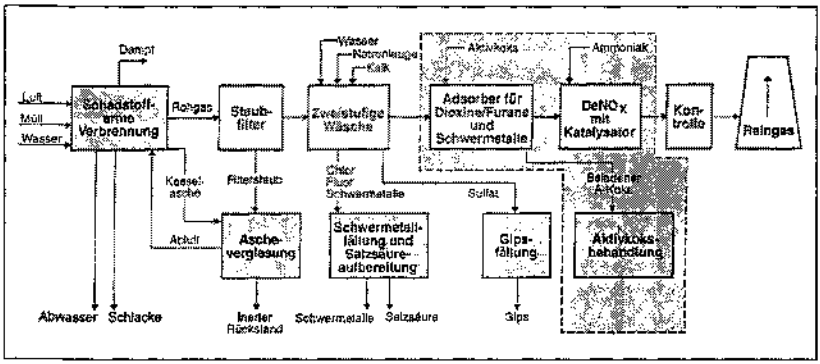
Die Technologien für die Rauchgasreinigung sind für alle Verbrennungsanlagen weitgehend identisch. Ein Prinzipschema mit den wesentlichsten Verfahrenselementen einer Rauchgasreinigungsanlage zeigt die Abb. 12. Das bei der Verbrennung entstehende Rauchgas durchströmt zunächst einen Staubfilter, wo der Staub vor einer Weiterbehandlung des Rauchgases abgeschieden wird. In einer nachfolgenden zweistufigen Wäsche werden dann vor allem Halogenkohlenwasserstoffe wie z.B. Chlor, Schwefelverbindungen und auch die Schwermetalle entfernt (s. Abb. 12).

Die Verfahren der Rauchgasentschwefelung wurden in den 70er Jahren in Japan vor allem für ölbefeuerte Kraftwerke entwickelt und eingesetzt. 1983 wurde die Rauchgasentschwefelung für Großfeuerungsanlagen auch in der Bundesrepublik vorgeschrieben. Heute gibt es in der Bundesrepublik keine Verbrennungsanlage mehr, die über keine Rauchgasentschwefelung verfügt.

Großtechnisch haben sich vor allem Absorptionsverfahren mit einer Kalksteinsuspension oder Natronlauge als Waschlösung durchgesetzt, wobei gleichzeitig Gips ($CaSO_4$ x $2H_2O$), auch bekannt als Reha-Gips, abgeschieden wird. Der Aktivkohlefilter, der in Deutschland auch als sogenannter Polizeifilter bezeichnet wird, hat die Aufgabe, die im Restgas verbliebenen Schadstoffe zu adsorbieren.

Im sogenannten DENOX-Reaktor werden die Stickoxyde mit Ammoniak oder auch mit anderen Alkalien in Stickstoff und Wasser umgesetzt. Die

Abbildung 12: Verfahrensschema der Rauchgasreinigung



heute zum Stand der Technik gehörenden Verfahren sind als SNCR (selective-non-catalytic reaction) oder als SCR (selective catalytic reaction), das mit Hilfe von Katalysatoren arbeitet, bekannt.

Die Reinigung der Rauchgase ist sehr kostenintensiv und benötigt etwa 70% der Gesamtkosten einer Müllverbrennungsanlage.

Neben der im Mittelpunkt des Interesses stehenden Rauchgasreinigung müssen vielfältige andere Abgasströme unterschiedlicher Herkunft und Provenience von Schadstoffen befreit werden. In vielen Fällen werden hierfür Katalysatoren eingesetzt. Das wohl bekannteste Beispiel für eine breite Anwendung von Katalysatoren für die Abgasreinigung ist sein Einsatz im Ottomotor. Ein sogenannter multifunktioneller Katalysator, bestehend aus einer auf einem keramischen Trägermaterial aufgebrachten Edelmetallkombination, soll in den Motorabgasen Kohlenmonoxyd, nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe in Wasser, Kohlendioxyd und die Stickoxyde in Stickstoff umsetzen. Mit dieser Entwicklung, mit der auch strenge Regeln über die Zusammensetzung von Kraftstoffen einhergehen, wurde ein entscheidender Durchbruch für die Reinhaltung der Luft im Autoverkehr erreicht.

Thermisch katalytische Umsetzung von organischen Schadstoffen und Abprodukten

Ungeachtet der Fortschritte bei thermischen Verfahren, insbesondere bei Verbrennungsverfahren, besitzen diese Mängel und Schwachstellen. Diese

bestehen vor allem in einer hohen NO_x/SO_x-Bildung und der technologisch wie ökonomisch aufwendigen Entsorgung der entstehenden Rauchgase, insbesondere auch von hochtoxischen Stoffen wie Dioxinen und Furanen. Die sichere Einhaltung der vom Gesetzgeber geforderten Grenzwerte erfordert teure multifunktionelle Reinigungsstufen. Insbesondere die sogenannte De Novo-Synthese, die durch nicht vollständig abgebaute und teiloxydierte Kohlenwasserstoffe hervorgerufen wird, belasten Verbrennungsanlagen und haben in manchen Fällen auch zu Stillegungen von Verbrennungsanlagen wie auch zu Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung geführt. Große Anstrengungen wurden und werden daher in die Entwicklung alternativer Verfahren für die Beseitigung von Schadstoffen unternommen. Bekannt sind vor allem katalytische Verfahren, wie die bereits erwähnte Abgasreinigung in Kraftfahrzeugen oder der Einsatz von heterogenen Katalysatoren für die Umsetzung von Abgasen aus z.B. Feuerungsanlagen oder Abprodukten aus unterschiedlichen Produktionsbereichen. Viele dieser Katalysatoren sind an enge Einsatzgrenzen und Randbedingungen wie Höhe der Reaktionstemperatur oder an die Zusammensetzung des zu beseitigenden Abproduktes (schwefel- und stickstoffhaltige Verbindungen, Halogene, Staub oder Ruß) gebunden. Insbesondere reagieren Edelmetallkatalysatoren negativ auf diese Komponenten und führen daher zu einer ungenügende Langzeitstabilität. Probleme bereitet oftmals auch eine ungenügende Thermostabilität, die zu einem schnellen Verlust der Aktivität führt.

Aufbauend auf langjährigen Erfahrungen mit heterogenen Katalysatoren und deren Einsatz in der Petrochemie zur Erzeugung niederer Olefine, wie Ethylen, Propylen u.a., aus hochsiedenden Erdölfraktionen im Zentralinstitut für Organische Chemie der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR, wurden im Institut für Technische Chemie und Umweltschutz GmbH, eine Neugründung nach der Abwicklung der Akademieinstitute, neue leistungsfähige Katalysatoren entwickelt, die in der Lage sind, komplexe organische Schadstoffgemische und auch solche kritischen Komponenten wie Dioxine, Furane, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, schwefel- und stickstoffhaltige Verbindungen in kleine, einfache Moleküle umzusetzen. Diese Katalysatoren bestehen aus oxydischen Calzium-Aluminat-Verbindungen, die durch Dotierungen mit Metallen wie Nickel, Vanadin, Mangan oder Molybdän an den spezifischen Entsorgungsfall optimiert und angepasst werden. Die entwickelten Katalysatoren zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- hohe mechanische und thermische Stabilität (bis ca. 1300°C),
- hohe Spaltaktivität gegenüber C-C-, C-H-, C-S-, C-N-, und C-O-Bindungen,
- Resistenz gegenüber Heteroelementverbindungen, die Stickstoff, Schwefel und Sauerstoff enthalten,
- Stabilität gegenüber Wasserdampf,
- hohe Langzeitstabilität.

Das Reaktionsprinzip beruht auf der Spaltung der C-C-, C-H-Bindungen und der gleichzeitigen Accelerierung der Wassergasreaktion nach der Gleichung $C + H_2O \dashrightarrow CO_x + H_2$

Die Umsetzung erfolgt im Temperaturbereich 700°–1000°C in Gegenwart von Wasserdampf zu CO/CO_2 und Wasserstoff, der hydrierend in die Reaktion eingreift und die im Abgas enthaltenen schwefel-, stickstoff- und sauerstoffhaltigen Verbindungen in ihre Hydride bzw. Wasser überführt, sodass in den Reaktionsprodukten keine toxischen Verbindungen mehr vorhanden sind. Gleichzeitig wird durch die bei hoher Temperatur ablaufende Wassergasreaktion ein kompletter Abbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und teerhaltigen Produkten erreicht, die bei vielen Katalysatoren zu einem schnellen Verlust der Aktivität führen. Die geschilderten Eigenschaften des Katalysators erlauben daher eine Umsetzung einer breiten Palette von organischen Materialien wie z.B. Altölen, Lösungsmitteln, organischen Rückständen, Abgasen unterschiedlicher Herkunft in interessante Endprodukte. In Abhängigkeit von der Katalysatorzusammensetzung können aus den o.g. Abfallprodukten entweder Brenngase, die für einen Einsatz in Gasmotoren geeignet sind bzw. Synthesegas für die Herstellung von Methanol oder auch organische Grundstoffe wie Ethylen, Propylen u.a. erzeugt werden. Typische Beispiele der Umsetzung von Modellkohlenwasserstoffgemischen an zwei unterschiedlich zusammengesetzten Katalysatoren vermitteln die Tabellen 1 und 2.

Die thermokatalytische Umsetzung in Gegenwart von Wasserdampf besitzt nicht nur bedeutende Vorzüge hinsichtlich der Verarbeitung unterschiedlicher Abprodukte, sondern vor allem durch die flexible Gestaltung der gewünschten Endprodukte. Dieses Reaktionsprinzip erfüllt damit die Forderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes nach möglichst stofflicher Verwertung der Abprodukte in hohem Maße.

Tabelle1: Umsetzung von Kohlenwasserstoffen und heterocyclischen Verbindungen mit Wasserdampf

Einsatz	n-Hexan + 10% Chlorbenzol	n-Hexan + 20% Pyridin	n-Hexan + 3% Thiophen	n-Hexan + 20%Nitrobenzol
Verweilzeit: ca. 0,5 s Reaktionstemperatur: 850°C Katalysator I a Reaktionsprodukte (Ma. %)				
H_2	5,7	6,6	7,7	7,9
CO	15,6	9,7	11,1	13,5
CO_2	23,7	52,2	54,2	118,2
CH_4	20,4	32,5	32,0	23,7
C_2H_6	1,6	1,3	1,0	1,0
C_2H_4	46,1	49,9	28,3	35,5
C3–C6	1,0	3,0	2,6	1,7

Tabelle 2: Umsetzung von Kohlenwasserstoffen und heterocyclischen Verbindungen mit Wasserdampf

Einsatz	Organische Verbindungen mit Wasser im Verhältnis 1:3 Benzol	n-Hexan + 20% Pyridin	n-Hexan + 10% Thiophen	n-Hexan + 40%Nitrobenzol
Verweilzeit: ca. 0,5 s Katalysator I b Reaktionsprodukte (Vol. %)				
H_2	58,2	58,3	44,1	57,0
CO	23,2	18,0	9,6	18,5
CO_2	11,6	9,2	12,0	10,5
CH_4	-	3,6	6,3	2,8
C_2H_4	-	0,5	-	-
C_3 . H_6	-	5,0	-	-
Bemerkung	100%	N als NH_3	S als H_2S	N als N_2 (34%) N als NH_3 (66%)

Ein bemerkenswerter Vorzug der thermokatalytischen Spaltung gegenüber der Verbrennung besteht auch darin, dass keine sauerstoffhaltigen Reaktionsprodukte entstehen, die Neubildung von Dioxinen und Furanen vermieden wird und dass die entstehenden Gasmengen im Vergleich zur Verbrennung auf 1 Zehntel bis 1 Zwanzigstel reduziert werden. Die Aufbereitung der entstehenden Gase ist darüber hinaus technologisch einfacher und damit auch kostengünstiger.

Die genannten Eigenschaften der Katalysatoren, insbesondere die hohe Thermostabilität bis 1300 °C und die Resistenz gegenüber Heteroelementverbindungen, die Schwefel und Stickstoff enthalten, erlauben deren unmittelbaren Einsatz im Rauchgasstrom in Verbrennungsprozessen.

Für diesen Anwendungszweck wurde neben den klassischen Katalysatorformlingen, wie Zylinder, Raschigringen, Kugeln unterschiedlicher Dimension ein Wabenformkörper mit 5 x 5 mm Kanälen mit dem Keramischen Werk in Klosterveilsdorf entwickelt, der unmittelbar in den Rauchgasstrom einer Verbrennungsanlage eingebracht werden kann.

Vielfältige Untersuchungen zur Oxydation von komplexen organischen Kohlenwasserstoffgemischen mit den entwickelten Calzium-Aluminat-Katalysatoren belegen ihre hohe Funktionstätigkeit.

Die Oxydation eines Gemisches aus Acetonitril, Benzen, Chlorbenzen, Naphthalen und n-Hexan bei 850 °C im Luftstrom an einem promotierten Ca-Aluminat-Katalysator zeigt die Tabelle 3.

Der oxydative Abbau des Acetonitrils erfolgt bereits vollständig bei 750 °C; bei 850 °C werden alle untersuchten Kohlenwasserstoffe, auch Naphthalen, das am beständigsten ist, zu über 99,9% abgebaut. Dioxine und Furane, die in Verbrennungsanlagen auftreten, wurden nicht nachgewiesen, wobei die Nachweisgrenze bei 10 pg lag.

Der Sauerstoffumsatz und die Kohlendioxydbildung entsprechen bei einer Reaktionstemperatur von 800–850 °C der vollständigen oxydativen Umsetzung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die von der 17. BImSCHV geforderten Grenzwerte sicher erreicht und unterboten werden.

Da Benzol von allen Kohlenwasserstoffen am schwersten zu oxydieren ist, wurde die Umsetzung von Benzol mit Luft bei unterschiedlichen stöchiometrischen Verhältnissen von Luft: Benzol und verschiedenen Temperaturen durch-

Tabelle 3:

	Umsatz			
Temperatur °C	750	800	850	(mg/m³)
Acetonitril	99,6	100,0	100,0	-
Benzen	95,9	100,0	100,0	Spuren
Cl-Benzen	79,6	99,2	99,9	3,6
Naphthalen	96,8	98,9	99,5	11,3
n-Hexan	100,0	100,0	100,0	

geführt. Oberhalb 850 °C beträgt die Benzolabreicherung im Gasstrom <0,001 %, was für die hohe Aktivität der Calzium-Aluminat-Katalysatoren spricht.

Die Katalysatoren haben ihre Eignung auch bei der Reinigung des Rauchgases bei der Klärschlammverbrennung und bei der Oxydation von Abgasen aus Warmluftgeräten, die auf Basis von Heizöl arbeiten, und bei der Nutzung von Recycling – Ölen unter Beweis gestellt.

Die Oxydationskatalysatoren sind daher gut einsetzbar für die Reinigung von Rauchgasen aus der Verbrennung unterschiedlicher Schadstoffe wie Müll, Krankenhausabfällen, Klärschlamm, organische Extrakte aus kontaminierten Böden oder Abgasen aus Räuchereien u.a. artverwandten Betrieben, bei denen die Gefahr der Dioxinrückbildung bei unvollständiger Verbrennung besteht.

Ein neues Anwendungsgebiet für die Katalysatoren wurde auch bei der Gewinnung von Wärme durch katalytische Verbrennung in Kleinfeueranlagen erschlossen. Durch die mit Hilfe der Katalysatoren erreichte Absenkung der Temperatur in Kleinfeueranlagen, ergeben sich sehr gute Möglichkeiten zur Senkung der N0x-Emissionen in kommunalen und privaten Heizanlagen.

Die thermokatalytische Umsetzung eröffnet daher neue, interessante Wege zur Beseitigung und Umsetzung von organischen Schad- und Reststoffen und ist daher eine gute Alternative und Ergänzung zu den klassischen Abfallentsorgungsanlagen. Der Vorteil des katalytischen Reaktionsprinzips besteht in seinem universellen Einsatz bei der Umsetzung einer breiten Palette von Schadstoffgemischen, dem simultanen Abbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, von S-, N- und O-haltigen wie Halogenverbin-

dungen in einfache Verbindungen, die in Abhängigkeit vom Katalysator und vom zu wandelnden Gemisch entweder Brenngase oder organische Grundstoffe darstellen und einer energetischen oder stofflichen Verwertung zugeführt werden können. Der Einsatz der entwickelten Wabenformkörper in den Rauchgasstrom von Verbrennungsanlagen zur Umsetzung von Restkohlenwasserstoffen führt zur Verhinderung der Neubildung von Dioxinen und Furanen und trägt damit zur größeren Sicherheit von Verbrennungsanlagen und zum Schutz der Umwelt bei.

Schlussbemerkungen

Oberstes Ziel in der Abfallwirtschaft ist und bleibt die Vermeidung bzw. die Verwertung von nicht vermeidbaren Abfällen. Eine moderne Abfallwirtschaft erfordert daher Verfahren und Technologien, die den Schutz der Umwelt und der Menschen gewährleisten. Die Verfahren müssen den sich ständig ändernden Rahmenbedingungen und gesetzlichen Grundlagen der Abfallbehandlung und -entsorgung angepasst und weiterentwickelt werden. Hier ergibt sich für Wissenschaft und Technik ein breites Betätigungsfeld, um neue Verfahrens- und Wirkprinzipien, wie auch zuverlässige Analysenmethoden für einen sicheren Umweltschutz zu entwickeln, aber auch Einfluss auf die Gestaltung und Verabschiedung von Umweltgesetzen sowie sachbezogener Richt- und Grenzwerte für die Schutzgüter Luft, Wasser und den Boden zu nehmen.

Die Aufklärung von Wirkungsmechanismen über den Einfluss von Emittenten und Abprodukten auf die Umwelt ist daher eine prioritäre Aufgabe von Forschung und Entwicklung. Die Wissenschaft ist aufgefordert, durch eine sachlich fundierte Einschätzung und Beurteilung von potentiellen Gefahren oder Risiken durch Schadstoffe und Abprodukte dazu beizutragen, die oft emotional geführten Diskussionen um das Für oder Wider von vorgesehenen Umweltschutzmaßnahmen in der Bevölkerung zu versachlichen, sich aber auch klar und unmissverständlich gegenüber Entscheidungsträgern zu artikulieren, wenn Gefahren verschleiert und notwendige Entscheidungen, aus welchen Gründen auch immer, verschleppt oder gar verhindert werden.

Leider ist das Vertrauen der Menschen durch Horrormeldungen in Medien oder durch selbsternannte „Umweltschützer", aber auch durch zu späte oder nicht erlassene Verbote und Verordnungen durch die verantwortlichen Behör-

den und Politiker stark erschüttert worden, wie das am Beispiel der heute allgegenwärtigen BSE-Diskussion deutlich wird.

Umweltschutz geht alle an und jeder kann in seinem Umfeld und Verantwortungsbereich durch sein Verhalten mit dazu beitragen, Abfälle zu vermeiden oder zu vermindern und durch abfallbewußtes Handeln unsere Umwelt schützen und erhalten.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Kreislaufwirtschaft – Sammelsysteme
Abb. 2 Verwertung von Altreifen
Abb. 3 Umweltauswirkungen von Deponien
Abb. 4 Emissionsgrenzwerte der 17.BImSCHV
Abb. 5 Umweltrechtliche Bestimmungen
Abb. 6 Grenzwerte der Klärschlammverordnung
Abb. 7 Thermische Behandlungsverfahren
Abb. 8 Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Verbrennungssysteme
Abb. 9 Rostfeuerung
Abb. 10 Wirbelschichtverfahren
Abb. 11 Thermoselect-Verfahren
Abb. 12 Prinzipschema der Rauchgasreinigung

Verwendete Literatur

1. Chemie Ingenieur Technik 72 (2001) S. 1430
2. Neues Deutschland, Januar 2001
3. Materialien zur Industrieabfallwirtschaft der Industrieabfall-Koordinierungstelle Sachsen, 3(1998)
4. Leifaden Abfallrecht 1991, Erich Schmidt Verlag
5. Abfallwirtschaft im Land Brandenburg, 1995 Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung
6. Abfallwirtschaftskonzept des Landes Brandenburg für die Jahre 2001–05
7. Interne Arbeiten der UVE (Umwelt-Verkehr-Energie) GmbH und des Instituts für Technische Chemie und Umweltschutz GmbH zu Fragen der Abfallbehandlung und der thermisch katalytischen Spaltung von Organischen Grundstoffen.