

Zur Geschichte der Gas- und Kältetechnik.

Carl von Linde zum Gedächtnis.

Carl von Linde ist im Alter von 92 Jahren am 16. November 1934 aus dem Leben geschieden. Es war ihm vergönnt mit zu erleben, wie seine Arbeiten weit über den Rahmen der eigenen Zielsetzung hinaus ungeahnte Früchte trugen. Technik und Volkswirtschaft sind auf Grund seiner Leistungen entscheidend beeinflusst worden, und große Industrien bauen sich auf den von ihm geschaffenen Fundamenten auf. Heute gedenken wir seiner in Verehrung als dem Altmeister der Kältetechnik und Begründer der industriellen Gasverflüssigung.

Linde war von Beruf Maschineningenieur. Er war Student in Zürich, Volontär in einer Baumwollspinnerei in Kempten, Zeichner bei Borsig in Berlin und im Jahre 1866 mit 24 Jahren schon Vorstand des technischen Büros der damals neu gegründeten Lokomotivfabrik von Krauß in München. Die erste Lokomotive der neuen Firma hat er selbst ein Jahr später zur Weltausstellung nach Paris gebracht, wo sie die höchste Auszeichnung erhielt. Schon diese ersten Jahre seiner praktischen Tätigkeit sind kennzeichnend für *Lindes* Schaffenskraft und den stürmischen Drang, jede begonnene Arbeit erfolgreich zu Ende zu führen.

Wie *Linde*, der mit 26 Jahren außerordentlicher Professor der theoretischen Maschinenlehre an der polytechnischen Schule in München war, dazu kam, sich mit der Technik tiefer Temperaturen zu befassen, erfahren wir aus seiner Selbstbiographie¹⁾.

„Den ersten Anstoß zu meiner Tätigkeit auf dem Gebiet der Kältetechnik gab ein Preisausschreiben für eine Kühlanlage zum Auskristallisieren von Paraffin. Es erfaßte mich sofort der Gedanke, daß hier eine noch ungeklärte Aufgabe der mechanischen Wärmelehre vorliege. Sofort ging ich daran, diese Grundlagen für eine Theorie der Kältemaschinen aufzusuchen. Nachdem ich theoretische Einsicht in das Problem der mechanischen Kühlung gewonnen und dabei festgestellt hatte, daß keine der bis dahin bestehenden Kältemaschinen mehr als $\frac{1}{5}$ der naturgesetzlich höchst erreichbaren Leistung geliefert habe, lag es nahe, zu überlegen, ob und auf welche Weise ein besseres Ergebnis zu erzielen sei.“

Gestützt auf die Lehren von *Clausius*, dessen Vorlesungen über Physik und Wärmelehre er während seiner Studienzeit am Polytechnikum in Zürich mit Begeisterung gefolgt war, erschloß *Linde* in seiner „Theorie der Kälteerzeugungsmaschinen“ ein neues Gebiet der angewandten Thermodynamik, das sich als außerordentlich fruchtbar erweisen sollte. Die Grundlage seiner Berechnungen bildete die Ermittlung des Verhältnisses zwischen der dem abzukühlenden Medium entzogenen Wärmemenge und dem Äquivalent der aufgewandten mechanischen Arbeit. Das mathematische Ergebnis seiner Ableitungen wurde Konstruktionsprinzip für *Lindes* Eismaschinen. „Zur Erreichung des höchsten Leistungsverhältnisses muß der Arbeitsvorgang so ausgeführt werden, daß in keinem Teile desselben der Kälte Träger zur Aufnahme der Wärme (von dem abzukühlenden Körper) auf tiefere Temperaturen oder zur Wärmeabgabe (an das Kühlwasser) auf höhere Temperaturen gebracht werde, als sie durch die Aufgabe bedingt sind, welche die Kältemaschine zu erfüllen hat.“

Zur damaligen Zeit wagte man sich, ebenso wie in der Anfangszeit des Dampfmaschinenbaues, noch nicht an Spannungen heran, die den Atmosphärendruck wesentlich überstiegen. So war seit der Erfindung der Luftpumpe,

und nachdem es erstmalig gelungen war, unter ihrem Einfluß Wasser zum Gefrieren zu bringen, als Fortschritt für Kompressionskaldampfmachines nur die Verwendung von Äthyläther statt Wasser (*Perkins*, 1834) zu verzeichnen. Andererseits gab die Verwendung von Schwefelsäure zur Absorption von Wasserdämpfen im Vakuum (*Leslie*, 1810) den Anstoß zur Entwicklung der Absorptionskältemaschinen. Auf der Pariser Weltausstellung 1867 erschien als erste brauchbare Konstruktion dieser Art ein Handapparat von *F. Carré*. Versuche, diese Arbeitsweise in technischem Maßstab auszuführen, sind gescheitert. Nur die seit 1857 von *Carré* entwickelten Absorptionsmaschinen, bei denen Ammoniak durch Wasser absorbiert wurde, hatten damals schon in der Industrie eine gewisse Bedeutung erlangt. Als dritte Art von Kältemaschinen sind noch die Kaltluftmaschinen zu erwähnen, die nach Auffindung des Arbeitsprinzips durch *Herschel* (1834) und Versuchen von *Gerrie* (1845) im Jahre 1862 durch *Kirk* eine technisch verwendbare Form erhalten haben und für den Transport von Gefrierfleisch in England angewandt worden sind.

Die praktische Folgerung aus *Lindes* Theorie war die Konstruktion von Kompressionskältemaschinen unter Anwendung von flüchtigeren Kälte Trägern als Wasser oder Äther und entsprechend höheren Drucken. Maßgebende Persönlichkeiten der Brauereindustrie interessierten sich für die Sache, nachdem *Linde* 1873 in einem Vortrag auf dem internationalen Brauerkongreß anlässlich der Wiener Weltausstellung nachgewiesen hatte, daß mit Maschinen, die nach seiner Theorie gebaut würden, die Möglichkeit besteht, billiger als mit Natureis zu kühlen. Mit dem in der Augsburger Maschinenfabrik 1874 gebauten ersten Modell, das mit wasserfreiem Ammoniak betrieben war und einen doppelt so hohen Wirkungsgrad hatte wie die beste bisher bekannte Anlage, begann der Siegeszug von *Lindes* Kältemaschinen. Viele technische Schwierigkeiten wurden durch geniale Konstruktionen von *Linde* überwunden, von denen nur seine Methode zum Abdichten von Stopfbuchsen bei Gaskompressoren mit Hilfe von Sperrflüssigkeiten erwähnt sei, die noch heute viel angewandt wird.

In den elf Jahren von 1878 bis 1889, in denen *Linde* als Vorstand der „Gesellschaft für Linde's Eismaschinen“ in Wiesbaden wirkte, wurden rund 1200 Kühlanlagen fertiggestellt, alle nach der dritten Bauform mit liegendem doppelwirkendem Ammoniakkompressor, an dem sich bis in die Gegenwart nichts Wesentliches mehr geändert hat. Im Jahre 1881 ging *Linde* auch zur Verwendung von Kohlensäure als Kälte Träger über. Neben Kühlanlagen für Brauereien entstand die Industrie der Kunsteisherstellung, die kristallklares, keimfreies Eis zu Preisen liefern konnte, die für die damalige Zeit unerhört niedrig waren. Die Kühlung von Räumen begann ihren Aufschwung zu nehmen. Hier seien genannt Kühlhäuser für Schlachthöfe, Kaltlagerhäuser für Lebensmittel aller Art, Provianträume für Ozeandampfer. Neue Anwendungsgebiete der Kältetechnik fanden sich in Molkereien und Margarinefabriken, in der Zuckerindustrie, in Gummifabriken, zum Lebensmitteltransport auf Eisenbahnen, in vielen Zweigen der chemischen Industrie, bei Kunsteisbahnen, zur Kühlung von Wohn- und Versammlungsräumen, beim Abteufen von Schächten im „schwimmenden Gebirge“ usw.

1891 kehrte *Linde* von Wiesbaden nach München zurück, um sich in der Kälteversuchsstation seiner Firma experimentellen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der tieferen und tiefsten Temperaturen zu widmen, und

¹⁾ C. Linde, Aus meinem Leben und von meiner Arbeit. Als Manuskript gedruckt, München 1916. R. Oldenbourg. Vgl. auch Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte. C. von Linde zum 90. Geburtstag. VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7, 1932.

damit trat gleichzeitig ein zweiter Wendepunkt in der Geschichte der Kältetechnik ein. In den Jahren, da *Linde* die Ergebnisse seiner ersten theoretischen Überlegungen in ganz großem Stil in die Praxis überführte und ihre technische Auswertung in hervorragender Weise organisierte, verfolgte er mit lebhaftem Interesse die neuen Ergebnisse der Forschung, die sich mit der Verflüssigung der sogenannten permanenten Gase befaßte. Jahrelang war man bemüht gewesen, die „permanenten Gase“ zu verflüssigen. Aber selbst bei Anwendung extrem hoher Drucke schlugen alle Versuche fehl. *Perkins* hatte 1823 schon vergeblich bis zu 1200 at auf Luft zur Einwirkung gebracht, und ebenso blieben die Versuche einer Reihe anderer Forscher, darunter *Faraday*, *Natterer* (1844) und *Berthelot* (1850), die außer den hohen Drucken gleichzeitig eine Abkühlung der Gase bis auf -80° vornahmen, erfolglos. Erst 1869 war durch die Untersuchungen von *Th. Andrews* über die kritische Temperatur und den kritischen Druck der Gase die bis dahin unverständliche Tatsache erklärlich, warum es zwar gelang, Kohlensäure, Ammoniak, Schwefeldioxyd usw. nicht aber die „permanenten Gase“ zu verflüssigen. Die neue Erkenntnis, daß ein Gas oder Dampf nur verflüssigt werden kann, wenn die betreffende kritische Temperatur unterschritten wird, gab den Anstoß zu den experimentellen Fortschritten der nächsten Jahre. Im Dezember 1877 war, unabhängig voneinander, durch *Cailletet* in Paris und *Pictet* in Genf die Verflüssigung einer kleinen Menge Luft erstmalig gelungen. *Cailletet* erreichte die Verflüssigung des Sauerstoffs durch plötzliches Entspannen des auf 300 at komprimierten und auf -29° abgekühlten Gases, während *Pictet* die Luft unter hohem Druck durch flüssiges Schwefeldioxyd und Kohlensäure stufenweise bis unter die kritische Temperatur abkühlte. Es folgten die Arbeiten von *Wroblewsky*, *Olszewsky* und *Dewar* aus den Jahren 1883–1886, durch die die physikalischen Konstanten der flüssigen Gase bekannt wurden. Der damalige Stand der Technik wird am besten durch *Lindes* eigene Worte gekennzeichnet:

„Noch fehlte ein gangbarer Weg aus dem Laboratorium des Naturforschers in die Werkstätte, und es drängte sich mir das Aufsuchen eines solchen Weges als nächstliegende Aufgabe auf. Im Sommer 1894 hatte ich eine Richtlinie für denselben gefunden und ging daran, ihn auszubauen. Die Überlegung, daß bis zur Verflüssigung hinab dasselbe Verfahren anwendbar sein mußte, welches in den üblichen Kaltluftmaschinen zu Abkühlungen bis zu ungefähr -60° C reicht, wenn es nur gelänge, solche aufeinanderfolgende Abkühlungen in ihrer Wirkung zu summieren, führte folgerichtig zu den Gedanken, das durch Expansion abgekühlte Gas im Gegenstrom dem zur nächsten Expansion gelangenden entgegenzuführen und dadurch die Anfangstemperatur der nachfolgenden Expansion der Endtemperatur der vorausgehenden zu nähern.“

Linde bediente sich der von *Joule* und *Thomson* gefundenen Abkühlung bei der Entspannung von Gasen. Der zu erwartende Effekt war so gering, daß nach seinen Berechnungen allein für die Deckung der Verluste durch unvollkommenen Wärmeaustausch, Leitung, Strahlung usw. eine Entspannung um 30 at erforderlich war. Er arbeitete deshalb gleich von Anfang an mit weit höheren Druckdifferenzen. Im Mai 1895 kam der erste Apparat in Betrieb, der bereits 3 l flüssige Luft pro Stunde lieferte. Die Apparatur war gegenüber den bisher von anderen verwandten von verblüffender Einfachheit. Der Weg zur technischen und industriellen Verflüssigung der „permanenten Gase“ war geebnet und wurde von *Linde* mit aller Energie und großem Erfolg beschritten. Es ist *Lindes* Verdienst, aus dem *Joule-Thomson*-Effekt, der bis zu seiner Zeit nur von wissenschaftlichem Interesse war, ein technisches und wirtschaftlich brauchbares Verfahren von weittragender Bedeutung entwickelt zu haben. Daran wird auch durch die Tatsache nichts geändert, daß, wie er selbst erst später erfahren hat,

vor ihm *Ch. W. von Siemens* die gleiche Arbeitsweise unter Verwendung des Gegenstromprinzips zur Abkühlung von Gasen auf tiefe Temperaturen in einer englischen Patentschrift (Nr. 2064) bereits im Jahre 1857 vorgeschlagen hat, und daß *Solvay* in den achtziger Jahren, wenn auch ohne Erfolg, versucht hat, auf ähnliche Weise zu arbeiten.

Die tiefen Temperaturen waren nach *Lindes* Verfahren nunmehr allgemein und bequem zugänglich, und eine unabsehbare Fülle von wissenschaftlichen Forschungen und technischen Errungenschaften, um die sich eine große Zahl namhafter Forscher Verdienste erworben hat, bauen sich seither auf dieser von *Linde* geschaffenen Voraussetzung auf. Die Methoden und Hilfsmittel zur Erreichung noch tieferer Temperaturen waren jetzt gegeben und führten in der Hand bekannter Gelehrter zur Verflüssigung des Wasserstoffs und Heliums und zur Erschließung der Physik und physikalischen Chemie der tiefsten Temperaturen in der Nähe des absoluten Nullpunktes. Flüssige Luft wurde bald ein unentbehrliches Hilfsmittel in physikalischen und chemischen Laboratorien. Die Entwicklung der Vakuumtechnik und der Chemie leichtflüchtiger Verbindungen wäre ohne sie nicht denkbar. Die flüssige Luft fand im Gemisch mit oxydierbaren Substanzen bald als Sprengstoff ausgedehnte Verwendung. Von besonders weittragender technischer Bedeutung wurden die von *Linde* entwickelten Verfahren zur Gaszerlegung durch Rektifikation der flüssigen Luft. Im Jahre 1902 wurde in Hölriegelskreuth bei München die erste Sauerstofffabrik errichtet. Die bis dahin zur technischen Darstellung von Sauerstoff allein üblichen chemischen Verfahren verloren schnell an Bedeutung, und die Verwendung des billigen in größtem Maßstab herstellbaren *Linde*-Sauerstoffs nahm ihren Aufschwung. Die Industrie der verflüssigten und komprimierten Gase führte zur Massenfabrikation nahtloser Stahlflaschen für die Verschickung der Gase unter hohem Druck. Das autogene Schweißen und Schneiden von Eisen nahm schnell eine weite Verbreitung. Im Jahre 1907 betrug der deutsche Jahresverbrauch an Sauerstoff bereits etwa 1 Million m³ und hatte sich damit in 4 Jahren verzehnfacht. Auch in Glasfabriken und anderen Industrien, die hoher Arbeitstemperaturen bedürfen, fand der Sauerstoff bald Eingang. Für den komprimierten Stickstoff fanden sich ebenfalls schnell Anwendungsgebiete, von denen nur die Füllung von Metallfadenlampen erwähnt sei. Ganz große Bedeutung erlangte die *Lindesche* Gastrennung aber in der neu aufblühenden Stickstoffindustrie, bei der Herstellung von Kalkstickstoff, von synthetischem Ammoniak und Salpetersäure. Bei der Rektifikation der Luft findet schließlich noch eine Anreicherung der Edelgase in verschiedenen Fraktionen statt, so daß Argon schon seit längerer Zeit in Stahlflaschen komprimiert an die Glühlampenfabriken und Neon und Helium an die Leuchtrohrindustrie geliefert werden können. Neuerdings scheint auch Krypton und Xenon technische Bedeutung zu erlangen.

In der Gastechnik haben *Lindes* technische Errungenschaften bis in die jüngste Vergangenheit große Fortschritte gebracht. „Lindeluft“, ein etwa zu gleichen Teilen aus Stickstoff und Sauerstoff bestehendes Gasgemisch, kann heute, insbesondere infolge der Ausgestaltung des *Linde*-verfahrens durch *Fränkl* so billig gewonnen werden, daß ihre Verwendung für viele technische Zwecke an Stelle von reinem Sauerstoff wirtschaftlich ist, z. B. für den Hochofenbetrieb, für die Stahlgewinnung im Bessemerprozeß, zum Vergasen fester Brennstoffe u. a. m. Die Zerlegung von Koksofengas nach *Linde-Bronn* wird zur Gewinnung von Wasserstoff für die Ammoniaksynthese in großen Anlagen bereits seit Jahren durchgeführt, wobei Methan, Äthylen und Gasol als wertvolle Nebenprodukte anfallen, die in Stahlflaschen komprimiert heute schon vielen Verwendungszwecken zugeführt werden.

In den vorstehenden Zeilen konnte bei weitem nicht alles Erwähnung finden, was wir *Linde* selbst und darüber hinaus der durch sein Schaffen angeregten Entwicklung verdanken. Im Deutschen Museum in München und im Technischen Museum in Wien sind *Carl von Linde*, als

einem Pionier des technischen Fortschrittes, durch Aufstellung seiner Maschinen bleibende Denkmäler gesetzt. In der chemischen Technik wird das Andenken des großen Meisters aber dadurch gewahrt, daß sein Name schon längst zu einem Begriff geworden ist. *Peters*. [A. 36.]

Über physikalische Methoden im chemischen Laboratorium. XXIII.¹⁾

Grundlagen und Nutzenanwendung physikalischer Analysemethoden in der Chemie*).

Von Dr. P. WULFF, Dozent an der Universität München.

(Eingeg. 28. Februar 1935.)

1. Grundsätzliches.

Physikalische Analysemethoden in der Chemie sind nicht neu. Indessen hat man erst im letzten Jahrzehnt in mehr systematischer Weise die Möglichkeiten erforscht, wo chemische quantitative Analysemethoden, die meist eine Abscheidung und Trennung des zu analysierenden Stoffes aus dem zusammengesetzten System zur Voraussetzung haben, durch physikalische Methoden, bei denen ein solcher Trennungsgang weggelassen kann, vorteilhaft zu ersetzen sind.

Chemische Analyse ist Stoffmengenbestimmung. Man hat der Mengemessung die Wägung und in zweiter Linie auch die Volummessung zugrunde gelegt, da man die Atome und Moleküle nicht einzeln abzählen kann. In diesen beiden wichtigsten Fällen wird daher eine physikalische Methodik benutzt, die als Meßgröße allein eine solche Eigenschaft benutzt, welche sich mit der zu bestimmenden Menge vergrößert. Hierbei müssen natürlich Zustandsgrößen, deren Änderung die Mengenmeßgröße auch beeinflussen kann, wie in der Gasvolumetrie z. B. der Druck, möglichst konstant gehalten werden. Zeitliche Änderungen etwa im Laufe der Messung erfordern Korrekturen. Wir bezeichnen im folgenden als erste allgemeine Verfahrensweise die Messung der Mengengröße selbst unter weitgehender Konstanzhaltung aller äußeren Zustandsbedingungen.

Als zweite allgemeine Verfahrensweise wäre dann die zu nennen, bei der man zur physikalischen Mengenbestimmung nicht physikalische Mengengrößen, wie etwa die Einheiten des Gewichtssatzes, abzählt, sondern die Ermittlung derjenigen Meßgröße anstrebt, die für die Stärke der physikalischen Wirkung verantwortlich ist, also, um beim Beispiel der Wägung zu bleiben, den Ausschlag einer Feder in der Federwaage verwendet. Ein anderes Beispiel wäre der Ersatz der rotierenden, Volumina abmessenden und daher druckabhängigen Anzeige der Gasuhr durch die Messung eines Druckes und Druckunterschiedes im Venturirohr. Also Größen, die im ersten Fall nur als Faktoren und Korrekturen berücksichtigt werden müßten, würden im zweiten Fall zu Meßgrößen.

*) Die Leser seien besonders darauf hingewiesen, daß seit längerem Beiträge, welche Apparaturen behandeln, also auch Meß-, Regel- und Kontrollinstrumente, in der „Chemischen Fabrik“ erscheinen. — Im Anzeigenteil der „Angew. Chem.“ ist unter dem Inhaltsverzeichnis auch jeweils das der „Chemischen Fabrik“ abgedruckt.

¹⁾ In dieser Reihe sind bisher u. a. erschienen:

- XVII. *Scheibe-Linström-Schnettler*, Ein Verfahren zur Steigerung der Genauigkeit in der quantitativen Emissionsspektalanalyse und seine Prüfung 44, 145 [1931].
- XVIII. *Klemm*, Die Bedeutung magnetischer Messungen für chemische Fragen 44, 250 [1931].
- XIX. *Lieneweg*, Automatische Gasanalyse in der chemischen Industrie durch Wärmeleitfähigkeitsmessung 45, 531 [1932].
- XX. *Wirth-Goldstein*, Die Anwendung der Spektrographie bei der spezifischen Analyse und dem Nachweis von Dämpfen und Schwebstoffen 45, 641 [1932].
- XXI. *Ebert*, Neue Anwendungen dielektrischer Untersuchungen für technische und analytische Messungen 47, 305 [1934].
- XXII. *Smakula*, Lichtabsorption und chemische Konstitution 47, 657 [1934].

Die erste Verfahrensweise erfordert meist einen gewissen Zeitverlauf²⁾, innerhalb dessen die Mengengröße ermittelt wird, ist somit eine integrale Methode und legt der Messung in der Ausdrucksweise der Amerikaner eine extensive³⁾ Eigenschaft zugrunde. Die zweite Verfahrensweise gibt Auskünfte über den momentanen Zustand durch die Werte einer bestimmten Zustands- oder Intensitätsgröße, welche häufig unmittelbar zu unbekannten Konzentrationen in Beziehung gesetzt werden kann (z. B. Extinktion und Konzentration), oder sie liefert zeitlich betrachtet als differentielle Methode Mengenangaben erst nach Integration über die Zeit. Es liegt ihr stets die Messung einer intensiven Eigenschaft zugrunde. Auf anzeigenden Meßinstrumenten läßt sich eine Intensitätsgröße häufig durch einen Anschlag darstellen. Praktisch kann man die Mengenangabe durch Planimetrieren des Zeitdiagramms der Intensitätsgröße erhalten, in dem die differentiellen Werte eingezeichnet sind.

2. Auswahl der Verfahrensweise als Meßgrundlage.

Welches der beiden Verfahren man nun wählt, richtet sich nach den Bedürfnissen. Für die laboratoriums-mäßige Analyse interessiert im allgemeinen der Gehalt an einem Stoff in absolut kleiner Menge. Daher hat das Verfahren der Mengemessung vor allem wegen der oft höheren Genauigkeit meist den Vorrang, insbesondere wenn es auf Wägung oder Volummessung zurückzuführen ist. Man wird es daher nur dann verlassen, wenn besondere Umstände für die Heranziehung von Intensitätsgrößen sprechen. Und solche Umstände treten ein, wenn diese bei gleicher oder ausreichender Genauigkeit sehr viel schneller zum Ziele führen, wie das etwa für die colorimetrischen Verfahren gilt, oder wenn allein Intensitätswerte den gewünschten Aufschluß liefern können, wie das bei der elektrometrischen Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration der Fall ist.

Meist grundsätzlich anders ist die Fragestellung im chemischen Betrieb. Eine Mengemessung scheidet oft schon wegen der Größe der Chargen aus, sodann interessiert auch meist eine Aussage gerade über den augenblicklichen Zustand, Umsatz oder Verbrauch des Betriebsvorganges, so daß eine Probenahme und anschließende, länger dauernde Analyse wegen der inzwischen eingetretenen Änderungen im Betriebsvorgang ohne Wert ist. Hier sind also vorzugsweise „Sofort“-Angaben auf Grund der Messungen intensiver Größen von Vorteil, und zwar gerade auch für den Fall, daß das Analyseergebnis selbsttätig aufgezeichnet wird, weil dann noch nachträglich der Stand der Anzeige für jeden Zeitpunkt des Meßzeitraumes ermittelt werden kann. Daß man sehr viele analytische Aufgaben mit Hilfe von Intensitätsmeßwerten lösen kann, mögen die folgenden Beispiele zeigen.

²⁾ Hierzu gehört auch z. B. die Füllung eines Maßgefäßes oder das Ablaufen einer Bürette.

³⁾ Vgl. *Lewis-Randall*, Thermodynamik, übersetzt von O. Redlich, J. Springer, Wien 1927. *W. Ostwald* benutzt in seinem Grundriß der allgemeinen Chemie im Gegensatz zur Intensitätsgröße den Begriff der Kapazitätsgröße, der sich im Hinblick auf analytische Fragestellungen wohl für die physikalischen Maßgrößen eignet, weniger aber auf stoffliche Eigenschaften zu übertragen ist, die mit Ausnahme der Masse einem strengen Additivitätsgesetz nicht gehorchen.