

## Werk

**Titel:** C. Lindes Lebenswerk

**Autor:** Jakob, Max

**Ort:** Berlin

**Jahr:** 1917

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X\\_0005|log328](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0005|log328)

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

durch die Reichsanstalt, in kleinen Portionen an die wissenschaftlichen Interessenten käuflich abzugeben, wobei jedesmal ein amtlicher Prüfungsschein über das analytische Ergebnis zur Ausgabe gelangt. Die unter Kontrolle stattfindende Charakterisierung und Verteilung der einheitlichen Metallmassen in kleine Portionen wird als „Normierung“, und die Metalle selbst werden als „normiert“ bezeichnet.

Die Durchführbarkeit dieses Planes, und namentlich der technischen Herstellung der Metalle in der vierten Reinigungsstufe mit einer maximalen Massenverunreinigung von 0,01 %, wurde durch ausführliche Vorarbeiten begründet. Eine höhere Stufe ist einstweilen technisch nicht zu erreichen. Daß die analytische Untersuchung solcher „fast reinen“ Metalle die größte Sorgfalt verlangt, wurde bereits hervorgehoben.

Der Anfang ist mit dem normierten Zink, dem normierten Cadmium und dem normierten Blei gemacht worden, welche von jetzt ab in Stabform von der chemischen Fabrik C. A. F. Kahlbaum (Adlershof bei Berlin) bezogen werden können. Die Ausgabe anderer normierter Schwermetalle soll später, dem wachsenden Bedürfnis entsprechend, folgen. Mögen die auf solche Weise dem wissenschaftlichen Gebrauch zugänglich gemachten annähernd reinen Metalle bei zahlreichen nützlichen Arbeiten einen Ersatz bieten für die absolut reinen Elemente, welche nicht zu beschaffen sind.

### C. Lindes Lebenswerk.

Aus Anlaß seines 75. Geburtstages nach seinen Aufzeichnungen dargestellt.

Von Prof. Dr. Max Jakob, Berlin-Charlottenburg.

Vor 6 Monaten ist vielerorts und auch an dieser Stelle der 100. Wiederkehr des Geburtstages von Werner Siemens gedacht worden. An jenem Gedenktag war durch feierliche Verleihung des „Siemensringes“ stiftungsgemäß<sup>1)</sup> erstmalig eine Person zu ehren, welche sich — so wie Siemens — „hervorragende und allgemein anerkannte Verdienste um die Technik in Verbindung mit der Wissenschaft“ erworben. Die hohe Auszeichnung wurde einem Mann zuteil, dessen Leben und Wirken eine merkwürdige Analogie zum Leben von Werner Siemens bildet: Carl von Linde.

Was Siemens für die Elektrotechnik, das bedeutet Linde für die Kältetechnik: Es gab vor Siemens elektrische Telegraphen, vor der Aufstellung des dynamoelektrischen Prinzips elek-

trische Maschinen; aber eine Elektrotechnik im heutigen Sinne ist erst durch Siemens ermöglicht worden. So hat man auch vor Linde Kältemaschinen gebaut, vor der Anwendung des Thomson-Joule-Effektes<sup>1)</sup> und des Gegenstromprinzips<sup>1)</sup> Gase verflüssigt; aber Linde war es vorbehalten, der Kältephysik durch die bequeme und reichliche Erzeugung von Kälte gewissermaßen das Ausgangsprodukt für ihre experimentellen Forschungen zu schaffen, und seiner technischen und wirtschaftlichen Arbeit dankt die Kältetechnik, wenn nicht ihr Bestehen, so doch ihren hohen Stand.

Wie Siemens, hat Linde nach einer sorgfältigen, einfachen Erziehung sich unter Schwierigkeiten und Entbehrungen den ersten Weg gebahnt, in jungen Jahren mit klarem Blick erkannt, wo unbestellter, fruchtbarer Boden der Saat und Ernte harrete, und dann das für die Lebensarbeit erwählte Gebiet so nach allen Richtungen durchmessen und bebaut, daß es eine Fülle herrlicher Früchte trug. Nun hat auch er als Siebenziger, wie seinerzeit Siemens, Lebenserinnerungen niedergeschrieben. Leider sind aber die Aufzeichnungen „Aus meinem Leben und von meiner Arbeit“, die Linde für seine Kinder und seine Mitarbeiter hat drucken lassen, zunächst noch nicht, wie Siemens' „Lebenserinnerungen“, der Allgemeinheit zugänglich. „Muß nicht die Drucklegung solcher Aufzeichnungen den Eindruck erwecken, als mache der Verfasser Anspruch auf allgemeine Teilnahme?“ bemerkt Linde in der Einleitung seiner Niederschrift. Da aber vielmehr die Allgemeinheit Anspruch auf Teilnahme am Lebenswerk eines solchen Mannes erhebt, so scheint es die richtige Zeit und der rechte Ort, wenn anläßlich seines 75. Geburtstages hier, vor einem weiteren naturwissenschaftlich und technisch interessierten Leserkreis, ein wenig von C. Lindes Persönlichkeit und Werk die Rede ist. —

Linde erzählt, wie er als Gymnasiast zuerst daran dachte, Schriftsteller und Dichter zu werden, aber mit gesunder Selbstkritik seine literarischen Versuche verworfen habe, wie dann der Anblick von Turbinen und Dampfmaschinen in einer Baumwollspinnerei, die er häufig besuchte, eine mächtige Wirkung auf ihn ausgeübt und ihn bestimmt habe, Maschinenbauer zu werden. Seine Mittel erlaubten ihm nur ein dreijähriges Studium am Zürcher Polytechnikum. Aber diese Zeit genügte, ihm die stärksten Eindrücke besonders auf dem Gebiet der Thermodynamik und der Theorie der Wärmekraftmaschinen vermitteln zu lassen; waren doch keine Geringeren als Clausius, Zeuner und Reuleaux in Zürich seine Lehrer in Physik, theoretischer Maschinenlehre und Maschinenbaukunde. Auf die Studienzeit folgte eine angestrengte, entbehrungsreiche Werkstattstätigkeit.

<sup>1)</sup> Die Siemens-Ring-Stiftung wird unter dem Ehrenvorsitz des Reichskanzlers verwaltet durch einen Stiftungsrat, der sich zusammensetzt aus dem Präsidenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, den Inhabern des Siemensringes und je einem Vertreter der Kgl. Technischen Hochschule Charlottenburg, des Deutschen Museums, der Jubiläumstiftung der deutschen Industrie und sieben bedeutender technischer Vereine und Verbände.

<sup>1)</sup> Näheres hierüber siehe S. 420.

keit in einer Baumwollspinnerei bei Kempten und in der Borsigschen Lokomotivfabrik in Berlin. Schließlich wurde er als Ingenieur dieser Fabrik mit zuerst 16, dann 20 Taler Monatsgehalt angestellt. Er war 24 Jahre alt, als nun überaus stürmisch die erste Expansionsperiode seines Lebens einsetzte.

Der Drang, schnell vorwärts zu kommen — ihm eingeboren und durch besondere Gefühlsgründe verstärkt —, gab dem jungen Ingenieur die Kühnheit (so nennen wir es mit seinen Worten), sich um die Stelle des Vorstandes des technischen Bureaus der Lokomotivfabrik von Krauß in München zu bewerben, die damals gerade begründet werden sollte. Wohl dank *Zeuners* Befürwortung erhielt er den verantwortungsreichen Posten. Bei den Arbeiten zur Einrichtung dieser Fabrik, durch seine ersten selbständigen Konstruktionen und durch die Erfindung einer Bremsrichtung, mit welcher ein Teil der bei Fahrten im Gefälle verlorenen Bremsarbeit in Form von Wärme dem Lokomotivkessel zurückgewonnen werden konnte<sup>1)</sup>, zeichnete er sich bald aus. Damals muß er sich wohl auch seines Könnens richtig bewußt geworden sein, und so wagte er es schon im Jahre 1867 — 25-jährig —, sich um den Lehrstuhl für theoretische Maschinenlehre an der neu zu errichtenden Technischen Hochschule in München zu bewerben „unter der ausdrücklichen Voraussetzung, daß es nicht gelingen sollte, einen der beiden berühmten Vertreter dieses Faches, *Zeuner* oder *Grashof*, zu gewinnen. Außer diesen beiden sei ihm niemand bekannt, neben dem er nicht als Bewerber auftreten könne“. Die stolze Bewerbung hatte Erfolg: Er erhielt im Jahre 1868 die außerordentliche Professur für theoretische Maschinenlehre, und diese wurde — angesichts seiner hervorragenden Leistungen — bereits 1872 in ein Ordinariat umgewandelt.

Über 10 Jahre hat er damals an der Münchener Hochschule gewirkt. Es kann hier nicht auf die Einzelheiten seiner Lehrtätigkeit eingegangen werden, der eine große Anzahl bedeutender Ingenieure ihre Ausbildung in dem wichtigen Fach der theoretischen Maschinenlehre verdankt. Erwähnt aber muß werden, daß er schon in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in einer Denkschrift das bayerische Kultusministerium auf die Wichtigkeit von Maschinenlaboratorien für die Ingenieurausbildung aufmerksam gemacht hat, mit dem Erfolg, daß die Münchener Hochschule viele Jahre vor anderen deutschen Hoch-

schulen die Mittel zum Bau eines Laboratoriums für theoretische Maschinenlehre erhalten hat. „Schüchtern,“ heißt es in *Lindes* Aufzeichnungen, „(in Besorgnis vor Ablehnung solcher Bestrebungen) hatte ich als Aufgabe des Laboratoriums auch die Ausführung von Forschungsarbeiten genannt.“ Auf seinen Anteil bei der Gründung weiterer Forschungsinstitute wird noch zurückzukommen sein. —

Einer „Nebenbeschäftigung“ *Lindes* entsprang es, daß er, wohl als erster Hochschullehrer, auch eine Vorlesung über die Theorie der Kältemaschinen in den Lehrplan aufnehmen ließ. Wir kommen damit zum eigentlichen Lebenswerk *Lindes*: Noch als außerordentlicher Professor, da er, auch aus pekuniären Gründen, sich veranlaßt sah, manche Nebenaufgaben zu übernehmen, hatte er sich auf ein Preisausschreiben hin mit der Literatur über künstliche Kühlung befaßt und sofort erkannt, daß hier wichtige Aufgaben zu lösen seien. Er fand die drei Haupttypen der Kältemaschinen<sup>2)</sup> bereits vor, aber keinerlei „Maßstab zu einem Vergleich ihrer Leistungen“. Alsbald nahm er in Angriff, eine Theorie der Kältemaschinen zu schaffen. Er suchte nach dem größtmöglichen Verhältnis von Kälteproduktion zur aufgewandten Arbeit und nach dem für die Kälteerzeugung günstigsten Arbeitsprozeß und baute darauf eine Kritik der bestehenden Maschinenarten und Vorschläge für Verbesserungen auf. Das Ergebnis seiner Studien legte er nieder in dem von ihm damals redigierten Bayerischen Industrie- und Gewerbeblatt in den beiden Abhandlungen „Über die Wärmeentziehung bei niedrigen Temperaturen durch mechanische Mittel“<sup>3)</sup> und „Verbesserte Eis- und Kühlmaschine“<sup>4)</sup>. Die Folge dieser Veröffentlichungen war, daß Interessenten aus der Brauereindustrie, für welche die Frage der Kühlung von größtem Wert ist, an *Linde* herantraten mit dem Ersuchen, er möge ihnen gute Kältemaschinen liefern; es wurden ihm die Mittel für eine Versuchsmaschine zur Verfügung gestellt; er ließ eine erste Maschine durch die Maschinenfabrik Augsburg bauen, nahm dann Patente, um die Kosten des Baues weiterer Versuchsmaschinen zu decken, und in wenigen Jahren standen in der Tat vorzügliche Kältemaschinen der Industrie zur Verfügung. Das wesentlich Neue der *Lindeschen* Theorie und Ausführungsart war etwa das Folgende: Kälte läßt sich am günstigsten erzeugen, wenn bei der höchstzulässigen Temperatur der zu kühlenden Substanz Wärme entzogen und diese Wärme bei der geringstmöglichen Temperatur an eine Wärme aufnehmende Substanz weitergegeben wird. *Linde* spricht höchst anschaulich stets von der Arbeitsleistung für das Heben der entzogenen Wärme-

<sup>1)</sup> Es ist für *Lindes* Denken, das stets auf Wärmeökonomie gerichtet war, charakteristisch, daß seine erste Erfindung auf Energieersparnis hinielte. Die „Dampfprepressionsbremse“ hat befriedigend gewirkt, aber keine praktische Bedeutung erlangt. — Die Rückgewinnung von Gefällsenergie macht übrigens auch bei elektrischen Bahnen, die doch dazu besonders geeignet erscheinen, große Schwierigkeiten. Man ist gewöhnlich gezwungen, die Motoreigenschaften der elektrischen Triebmaschinen so gut wie möglich zu machen und auf Generatorwirkung (Bremswirkung mit Energierückgewinnung) zu verzichten.

<sup>2)</sup> die Kaltluftmaschinen, die Kaltdampf-Absorptionsmaschinen und die Kaltdampf-Kompressionsmaschinen.

<sup>3)</sup> a. a. O. 1870, S. 205.

<sup>4)</sup> a. a. O. 1871, S. 264.

menge auf das Niveau der Umgebungstemperatur; aus diesem Bild erklärt sich der vorher angegebene Grundsatz ganz elementar. Die beste Annäherung an den theoretisch günstigsten Prozeß ergeben die sogenannten Kompressionsmaschinen: Eine „flüchtige Flüssigkeit“ wird durch den zu kühlenden Körper verdampft und entzieht ihm dabei Wärme; der Dampf wird komprimiert und wieder verflüssigt; seine Wärme geht ans Kühlwasser über; dann beginnt das Spiel aufs neue. Solchermaßen arbeitende Kompressionsmaschinen waren unter Anwendung von Schwefeläther in England bereits gebaut worden; in Anbetracht des niedrigen Druckes, welcher der geringen Flüchtigkeit des Schwefeläthers entspricht, spielten aber die Druckverluste besonders in den Ventilen eine zu große, den Wirkungsgrad sehr verschlechternde Rolle. Um dem abzuhelfen, mußte mit sehr flüchtigen Flüssigkeiten gearbeitet werden, deren Dämpfe bei Temperaturen von der Höhe der Umgebungstemperatur bereits hohe Drucke ausüben. Dieser Gedankengang führte *Linde* zur Verwendung von Methylläther und dann von Ammoniak. Das Arbeiten mit diesen Stoffen setzte aber voraus, daß es gelang, Maßnahmen zu treffen, um die beweglichen Abschlußorgane der Maschinen wirksam abzudichten. Dies geschah durch Verwendung von gleichzeitig zur Schmierung dienenden Sperrflüssigkeiten (z. B. Glycerin), durch welche die unter Gasdruck stehenden Räume von der Außenluft abgeschlossen wurden, später in sehr einfacher Weise durch Einschaltung einer sog. „Laternen“ zwischen zwei Packungen, nämlich eines Hohlraumes, der mit Sperrflüssigkeit gefüllt wurde und mit dem Verdampfer in Verbindung stand; dabei war also der Kompressionsraum gegen die Sperrflüssigkeit abzudichten, gegen die Atmosphäre nur der Verdampferraum. Die liegende doppeltwirkende Ammoniak-Kompressionsmaschine mit dieser Art der Dichtung ist die in Europa typische Form der modernen Kältemaschine geworden.

Die so erzielte Verbesserung der Kältemaschinen war aber nur der eine Teil der Aufgabe, die sich *Linde* gestellt hatte. Diese umfaßte außer der Kälteerzeugung als ähnlich wichtige technische und industrielle Faktoren auch die Übertragung und Verwendung der Kälte. *Linde* erkannte bald, als die Aufträge zunahmen, die er vor allem durch die Maschinenfabrik Augsburg und die Fabrik der Gebrüder Sulzer in Winterthur ausführen ließ, daß ihm die völlige Lösung der „einzigartigen und verheißungsvollen“ Aufgabe, zu der er sich besonders berufen fühlte, nicht im Nebenberuf möglich war, und entschloß sich, als ihm das 1878 durch maßgebende Vertreter der Brauereiindustrie nahegelegt wurde, schweren Herzens, vom Lehramt zurückzutreten. Im Jahre 1879 übernahm er, keineswegs unter besonders glänzenden pekuniären Bedingungen, aber zuversichtlich, im Bewußtsein seines thermodynamischen und technischen Könnens, die Vorstand-

schaft der neugegründeten *Gesellschaft für Lindes Eismaschinen*.

Als Leiter dieser Gesellschaft hat er in dem nun folgenden Jahrzehnt eine ungeheure Arbeit geleistet, technischer, organisatorischer, kaufmännischer Art, die an dieser Stelle kaum angedeutet werden kann: Es wurden Kältemaschinen geliefert, Brauereien mit Kühleinrichtungen ausgestattet, Fleischkühl- und Gefrieranlagen gebaut, ferner Kühlanlagen für alle möglichen Nahrungsmittel und chemischen Produkte errichtet. Einen besonders wichtigen Geschäftszweig bildete der Bau von Generatoren zur Eiszerzeugung, deren erste grundlegende Typen *Linde* noch als Hochschullehrer entworfen und ausgeführt hatte, und die Erstellung ganzer Eisfabriken. Zu vielgestaltigen neuen Konstruktionen gab die Förderung der Industrie nach Klareis Veranlassung. Die eigentlich nächstliegende Art der Kälteverwertung dagegen hat sich bis heute nicht einführen können, die Kühlung von Wohnräumen. Diese bietet längst keine technischen Schwierigkeiten mehr; sie stellt sich nach *Lindes* Berechnungen<sup>1)</sup> etwa dreimal so teuer als die entsprechende Heizung von Wohnräumen. Man sollte meinen, daß dies in vielen Fällen keine ausschlaggebende Rolle spielen könnte; tatsächlich aber sind bis jetzt nur ganz wenige derartige Hauskühlanlagen gebaut worden. Die Worte, die *Pettenkofer* in den siebziger Jahren an *Linde* schrieb, nachdem er die ersten großen Kühlanlagen in München gesehen hatte: „Was für die gemäßigten und kalten Zonen die Heizung bedeutet, das wird jetzt den heißen Zonen durch die Kältemaschinen gebracht werden“, enthalten auch heute wie damals nur eine Zukunftsaussicht für die Kälteindustrie.

Im Jahre 1890 legte *Linde* die Geschäftsleitung der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen nieder. Er konnte, noch nicht 50-jährig, auf ein reiches Lebenswerk zurückblicken und gedachte nun, glücklich fern von Geschäften, der wieder aufgenommenen Lehrtätigkeit an der Münchener Hochschule und reiner Forschungstätigkeit auf dem Gebiete der tiefen Temperaturen leben zu können. Aber die wissenschaftlichen und technischen Erfolge dieser Tätigkeit und der ihm eigene Drang, in die Weite zu wirken, erwiesen sich auch diesmal als so stark, daß in merkwürdiger Duplizität des Geschehens in einem Menschenleben sich nun in ganz ähnlicher Weise wiederholte, was *Linde* schon einmal erlebt hatte, nämlich daß er sich gezwungen sah, als Industrieller auszubauen, wozu er als Naturforscher den Grund gelegt.

In München hatte mittlerweile auf *Lindes* Anregung und mit Mitteln der Lindegesellschaft der Polytechnische Verein eine Kälteversuchsstation gegründet und durch eine sachverständige Prü-

<sup>1)</sup> C. *Linde*, Wirtschaftliche Wirkungen der Kälte-technik (Vortrag). Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 50, S. 1035, 1906.

fungskommission unter dem Ehrenvorsitz *Zeuners* vergleichende Messungen an Kältemaschinen verschiedener Art begonnen. Im Verfolg dieser Untersuchungen wurden an einer Ammoniak-Kompressionsmaschine Lindescher Bauart, die mit Überhitzung arbeitete, die höchsten Wirkungsgrade nachgewiesen, die je bei exakten Messungen erreicht worden und die wohl auch bis heute nicht übertroffen worden sind. *Linde* hat die Versuchsergebnisse später veröffentlicht<sup>1)</sup>; danach betrug der Wirkungsgrad dieser Maschinen das Mehrfache des Wirkungsgrades der besten vor dem Jahre 1870, in welchem *Linde* seine Arbeiten aufnahm, bekannten Maschinen. An die Versuche mit der Ammoniakmaschine schlossen sich solche mit einer eigens gebauten Kohlendioxid-Kompressionsmaschine<sup>2)</sup>, die den wichtigen Aufschluß ergaben, daß man bisher die Flüssigkeitswärme der Kohlendioxid zu groß angenommen hatte. Auch über Versuche an einer mit Stickstoffoxydul betriebenen Kältemaschine hat *Linde* in der gleichen Abhandlung berichtet. Da Stickstoffoxydul bis zu  $-97^{\circ}$  C flüssig bleibt, so erlaubt eine solche Maschine, wesentlich tiefere Kältegrade zu erzielen als die Kohlendioxidmaschine<sup>3)</sup>.

Doch *Linde* lockte es, noch sehr viel niedrigere Temperaturen zu erreichen, und so entstand die Arbeit, die seinen schon weit bekannten Namen so populär gemacht hat, die aber auch in ihren Verknüpfungen mit der Physik und ihren Konsequenzen für die Technik *Lindes* wichtigsten Erfolg darstellt: die Verflüssigung der Luft in großem Maßstab. „Die von den Physikern für die Gasverflüssigung angewendeten Verfahren und Hilfsmittel“, bemerkt *Linde* in seinen Aufzeichnungen, „hatten wohl ausgereicht, um an einigen wenigen Orten (Paris, Krakau, London und Leyden) kleine, nach Kubikzentimetern zählende Mengen von Flüssigkeit aus Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenoxyd zu gewinnen, jedoch erschienen sie nicht geeignet zu einer Verallgemeinerung für den wissenschaftlichen Betrieb, geschweige denn zu Verwertungen in technischer und industrieller Richtung. Noch fehlte ein gangbarer Weg aus dem Laboratorium des Naturforschers in die Werkstatt, und es drängte sich mir das Aufsuchen eines solchen Weges als nächstliegende Aufgabe auf.“ Er berichtet dann, wie er diesen Weg fand.

Die Verflüssigung der Luft nach *Linde* beruht auf der Abkühlung der Gase bei Expansion infolge innerer molekularer Arbeitsleistung. Letztere mag man sich etwa als eine Überwindung der Kohäsionskräfte zwischen den Gasmolekülen<sup>4)</sup>

vorstellen. Diese Kräfte sind sehr gering, der Betrag  $\Delta$  der Abkühlung daher ebenfalls, nämlich nach den im Jahre 1862 von *Thomson* und *Joule* angestellten Beobachtungen:

$$\Delta = a \cdot \left(\frac{273}{T_1}\right)^2 (p_1 - p_2)$$

für den Druckabfall von  $p_1$  auf  $p_2$  kg/cm<sup>2</sup> bei der absoluten Anfangstemperatur  $T_1$ . Da von *Thomson* und *Joule*  $a = 0,27$  gefunden wurde, so ergäbe dieser Effekt bei einem Anfangsdruck  $p_1 = 5$  at, wie er früher in Kaltluftmaschinen wohl üblich war, eine Abkühlung von nur  $1^{\circ}$  C. Er schien also für besonders tiefe Abkühlung oder gar Verflüssigung der Luft nicht in Betracht zu kommen. *Linde* aber, ein gleich scharfsinniger Physiker wie kühner Techniker, bedachte, daß man mit gleichem äußeren Arbeitsaufwand (der bekanntlich dem Verhältnis  $\frac{p_1}{p_2}$  proportional ist)

von  $p_2 = 25$  auf  $p_1 = 125$  at komprimieren könne, wie von 1 auf 5 at. Im ersteren Fall wäre aber der Kühleffekt durch innere Arbeit etwa  $27^{\circ}$  gegen  $1^{\circ}$  im letzteren Falle. Ferner war der Effekt noch durch Vorkühlung beträchtlich zu steigern, da er dem Quadrat der Temperatur  $T_1$  umgekehrt proportional ist. Die Vorkühlung erzielte *Linde* durch einen Gegenstromapparat<sup>5)</sup>, bei dem die entspannte und abgekühlte Luft der neu zuströmenden komprimierten Luft entgegengeführt wird<sup>6)</sup>, wodurch bis zu einem durch die Kälteverluste des Apparates bedingten Gleichgewichtszustande eine sich dauernd steigernde Kühlung erzielt wird.

Schon im Mai 1895 konnte *Linde* Vertretern der Wissenschaft und Technik eine nach diesem Verfahren gebaute Luftverflüssigungsmaschine vorführen, die im Dauerzustand stündlich 3 l flüssige Luft ergab, und bei der 36. Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure in Aachen im gleichen Jahre wurde das Verfahren durch einen Vortrag von *M. Schröter* veröffentlicht.

Die Verflüssigung der Luft ist nicht die einzige Ausbeute, die von *Linde* aus dem winzigen Thomson-Joule-Effekt gewonnen wurde; ebenso bewundernswert sind die rein wissenschaftlichen Folgerungen, die er aus der Formel von *Thomson* und *Joule* gezogen hat. In einer kurzen Abhandlung<sup>7)</sup> hat *Linde* nämlich im Jahre 1897 zuerst die Beziehung aufgestellt, die zwischen dem Thomson-Joule-Effekt und der spezifischen Wärme der Gase besteht, und die gestattet, die eine dieser beiden thermodynamischen Größen aus

<sup>1)</sup> C. *Linde*, Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Münchener Kälteversuchsstation. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 47, S. 1071, 1903.

<sup>2)</sup> Die Lindegesellschaft hat später Athan statt Stickstoffoxydul verwendet.

<sup>3)</sup> s. z. B. O. E. *Meyer*, Die kinetische Theorie der Gase, 2. Aufl., S. 109 ff. Breslau, Maruschke & Berndt, 1899.

<sup>4)</sup> Das Gegenstromprinzip war schon lange vorher, 1857, durch *William Siemens* (ohne Bezug auf Luftverflüssigung) in einer englischen Patentschrift angegeben worden; es war aber nichts davon in die Literatur gedrungen.

<sup>5)</sup> natürlich durch Rohrwände von dieser getrennt.

<sup>6)</sup> C. *Linde*, Über die Veränderlichkeit der spezifischen Wärme der Gase. Sitzungsber. d. k. bayer. Ak. d. Wiss., 27, S. 485, 1897.



der anderen abzuleiten. Die einfache Lindesche Formel lautet:

$$c_p = c_{p_0} \left( 1 - \frac{d\Delta}{dT} \right).$$

$\Delta$  bedeutet dabei die Abkühlung bei adiabatischer Drosselung vom Druck  $p$  auf den Druck  $p_0$ ,  $c_p$  und  $c_{p_0}$  sind die spezifischen Wärmen konstanten Druckes  $p$  bzw.  $p_0$ . Gleich damals stellte *Linde* auf Grund dieser und der Thomson-Jouleschen Formel fest, daß  $c_p$  mit dem Druck wächst, und zwar um so mehr, je niedriger die Temperatur ist; er hat ferner Zahlenwerte der spezifischen Wärme der Luft für verschiedene Drucke zwischen  $+100^\circ$  und  $-100^\circ$  errechnet, die weit abwichen von den einzigen damals vorhandenen direkten Beobachtungen *S. Lussanas*, aber später durch quantitative Versuche<sup>1)</sup> bestätigt wurden. Auch die kritische Temperatur der Luft konnte er mit guter Annäherung aus seiner Formel ableiten; sie ergab sich dabei zu  $-136^\circ$ , während sie in Wirklichkeit  $-140^\circ$  beträgt. Und endlich schloß *Linde* aus Luftverflüssigungsversuchen unter Anwendung von Drucken bis 250 at, daß der Koeffizient  $a$  der Thomson-Jouleschen Formel keine Konstante sei, sondern mit zunehmendem Druck abnehme. Auch dies ist durch die von *Linde* angeregten, von *Vogel* und von *Noell*<sup>2)</sup> ausgeführten Versuche später quantitativ nachgewiesen worden. Der besprochene, wahrhaft klassische Akademiebericht enthält eben fast alles, was man über den Zusammenhang zwischen Thomson-Joule-Effekt und spezifischer Wärme  $c_p$  thermodynamisch schließen kann und hat die Resultate späterer Untersuchungen mindestens qualitativ vorgegeben. —

Wir kehren nach dieser Abschweifung ins rein wissenschaftliche Gebiet zu den praktischen Konsequenzen der Luftverflüssigung zurück. *Linde* hat schnell und klar die sämtlichen Anwendungsmöglichkeiten der flüssigen Luft erkannt. Abgesehen davon, daß der Physik, Chemie und Medizin das bequeme Experimentieren bei Temperaturen bis etwa  $-200^\circ$  C ermöglicht wurde, hat sich als besonders fruchtbar erwiesen die Gewinnung von Sauerstoff und Stickstoff durch fraktionierte (d. i. getrennte) Verdampfung. Diese beruht darauf, daß die Luft ein Gemisch von Gasen verschiedenen Siedepunktes ist. Der in ihr enthaltene Sauerstoff verdampft bei  $-183^\circ$ , der Stickstoff bei  $-196^\circ$ ; letzterer ist also flüchtiger, und die flüssige Luft wird allmählich sauerstoffreicher, ihr Verdampfungsprodukt ist stickstoffreicher. Der bereits erwähnte erste Bericht über die Luftverflüssigung, den Prof. *Schröter*

erstattete, war betitelt: *Lindes* Verfahren der Sauerstoffgewinnung mittels verflüssigter Luft<sup>3)</sup>. In diesem Titel ist schon ein Teil des Programms enthalten, dessen Ausführung *Linde* nun in Angriff nahm, nämlich Gase aus verflüssigten Gasgemischen darzustellen. Aus diesem Programm entwickelte sich im Laufe der letzten 20 Jahre unter der Führung der Lindegesellschaft und unter Leitung deren neuer „Abteilung für Gasverflüssigung“ durch *Linde* selbst, der damit wieder ins industrielle Leben gerissen wurde, eine Kältetechnik sehr tiefer Temperaturen von vielleicht noch größerer Bedeutung, als die Kältetechnik mäßig tiefer Temperaturen gewesen war und heute noch ist.

Es liegt nun nahe, zu fragen, ob denn die erwähnte Art der Gasdarstellung wirtschaftlich ist. Dies scheint nicht der Fall zu sein, wenn jedes Gasgemisch mit großem Arbeitsaufwand verflüssigt werden muß, ehe man zur Trennung schreiten kann. Geling es nicht, diesen Arbeitsaufwand zu vermeiden, so war die Trennung der Gase zwar ein physikalisch interessantes Experiment, aber wirtschaftlich nicht zu brauchen. Wiederum erkannte *Linde* im Gegenstromprinzip das Mittel, das zum Ziele führte. Er verwendete nach Verflüssigung eines gewissen Luftquantums den aufsteigenden Dampf zur Abkühlung und Verflüssigung der frisch zuströmenden Luft und erhielt so einen Verflüssigungs- und Verdampfungsprozeß, bei dem nur die Kälteverluste zu decken waren. Auf diese Weise gelang es zunächst, sauerstoffreiche Gemische ziemlich wirtschaftlich herzustellen. *Linde* hat natürlich sofort auch quantitativ die Zusammensetzung der Gemische festgestellt<sup>2)</sup>, und dabei gefunden, daß, um sehr sauerstoffreiche Gemische zu erhalten, ein großes Quantum der Flüssigkeit zuerst wegverdampfen muß, die Wirtschaftlichkeit also aus diesem Grunde zu gering wird. Aber auch diese Schwierigkeit wurde überwunden durch das sog. Rektifikationsverfahren, das „praktisch reinen“ Sauerstoff zu erzeugen gestattet. In einem zylindrischen, zur Erzielung großer Oberflächen z. B. mit Glasperlen ausgefüllten Gefäß, der „Rektifikationssäule“, rieselt Luft herab; ihr strömt Sauerstoff entgegen, welcher sich vermöge seines höheren Siedepunktes kondensiert und dann herabfließt, während der durch die freiwerdende Kondensationswärme verdampfte Stickstoff oben mit noch etwa 7 % Sauerstoffgehalt abgeführt wird. *Linde* konnte über dies Verfahren auf der 43. Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure zu Düsseldorf im Jahre 1902 ausführlich berichten<sup>3)</sup>, und die Lindegesellschaft war

<sup>1)</sup> *L. Holborn* und *M. Jakob*, Über die spezifische Wärme  $c_p$  der Luft zwischen 1 und 200 Atmosphären. Sitzungsber. d. k. preuß. Ak. d. Wiss. 1914, S. 213. *F. Noell*, Die Abhängigkeit des Thomson-Joule-Effektes für Luft von Druck und Temperatur bei Drücken bis 150 at und Temperaturen von  $-55^\circ$  bis  $+250^\circ$  C. Forschungsarb. a. d. Gebiete d. Ingenieurwesens. Heft 184, S. 1. 1916.

<sup>2)</sup> *M. Schröter*, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 39, S. 1157, 1895.

<sup>3)</sup> *C. Linde*, Über Vorgänge bei Verbrennung in flüssiger Luft. Sitzungsber. d. k. bayer. Ak. d. Wiss., 29, S. 65, 1899.

<sup>4)</sup> *C. Linde*, Sauerstoffgewinnung mittels fraktionierter Verdampfung flüssiger Luft. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 46, S. 1173, 1902.

nun in der Lage, sauerstoffreiche Gemische und fast völlig reinen Sauerstoff in großen Mengen zu liefern.

Als wichtigstes Anwendungsgebiet des Sauerstoffs kam zunächst das Schweißen und Schneiden mit Stichtflammen in Betracht, dann aber auch das Sprengen. *Linde* hat schon 1897 ein Patent angemeldet, in welchem angegeben war, daß ein Gemisch aus flüssiger Luft, die durch Verdampfen von Stickstoff sehr sauerstoffreich geworden, mit oxydierbaren Substanzen, wie Holzkohle, sich ähnlich wie Dynamit verhält. Versuche, welche die gewaltige Sprengwirkung des „Oxyliquit“ genannten Sprengstoffes erwiesen, hat *Linde* in dem bereits erwähnten Akademiebericht (s. S. 421, Fußnote 2) beschrieben. Die Möglichkeit der Verwendung der flüssigen Luft zu Sprengzwecken hat seinerzeit großes Aufsehen erregt. Der Sprengstoff konnte sich jedoch zunächst nicht recht einführen, wohl hauptsächlich wegen der Abnahme der Sprengkraft, die durch die Verdampfung der Flüssigkeit in der Sprengpatrone vor dem Abschluß bedingt ist. Erst im Laufe des Krieges hat sich, wie *Linde* mitteilt, ein ungeheurer Bedarf flüssigen Sauerstoffs für Sprengzwecke, besonders im Bergbau, geltend gemacht, der durch große Neuanlagen zu decken war. Die damit erzielten Erfolge lassen *Linde* die Verwendung des flüssigen Sauerstoffs zu Sprengzwecken auch für die Friedenszeit erhoffen<sup>1)</sup>.

Während zunächst die Industrie nur reinen Sauerstoff verlangt hatte, trat bereits im Jahre 1904 auch das Bedürfnis nach reinem Stickstoff in der chemischen Industrie zutage. Der im Rektifikationsverfahren gewonnene Stickstoff von 7 % Sauerstoffgehalt (s. S. 421) war also noch zu reinigen. Durch besondere Anordnungen der Fraktionier- und Rektifikationskolonnen, auf die hier nicht eingegangen werden kann, gelang auch diese Aufgabe. Zum Glück unseres Landes; denn gerade im Krieg hat auch die Stickstoffproduktion eine ungeahnte Bedeutung erlangt. Es sind sowohl für die Munitionserzeugung als für Düngungsmittel außerordentliche Mengen Stickstoffverbindungen nach den verschiedenen neueren Verfahren herzustellen. *Linde* berichtet von Anlagen, die stündlich viele tausend Kubikmeter

<sup>1)</sup> Diese Hoffnung dürfte nicht enttäuscht werden. Im Berliner Bezirksverein des Vereins deutscher Ingenieure hat Bergassessor *Lisse* vor wenigen Tagen (am 6. 6. 17) einen Vortrag über „Die flüssige Luft und ihre Verwendung als Sprengmittel“ gehalten. Danach stellen sich die Sprengkosten mit flüssiger Luft im Bergbau heute viel niedriger, als die äquivalenten Kosten für andere Sprengmittel im Friedensjahr 1913 betragen. Die Verwendung des flüssigen Sauerstoffs zur Sprengung bemißt sich bereits nach vielen Tausenden Tonnen, die Ersparnis an Sprengkosten nach vielen Millionen Mark. Nach den Angaben des Vortragenden dürfte der größte Teil der gesamten bisherigen Sprengstoffherzeugung durch die Erzeugung flüssigen Sauerstoffs auch im Frieden ersetzt bleiben.

Stickstoff nach seinem Verfahren aus der atmosphärischen Luft gewinnen; durch deren Weiterverarbeitung werden größere Mengen Stickstoffverbindungen herzustellen sein, als der früheren Einfuhr von Chilisalpeter entsprach. Bei einem Verfahren, bei dem der Stickstoff durch Sauerstoffzufuhr oxydiert wird, werden auch Tausende Kubikmeter Sauerstoff in einer Stunde der Luft beigemischt, um die Ausbeute des Flammenofens zu erhöhen.

Zu der Darstellung von Sauerstoff und Stickstoff im großen ist endlich auch noch die Gewinnung von Wasserstoff aus dem Wassergas durch „partielle Kondensation“ nach dem „Linde-Frank-Carø-Verfahren“ getreten. Es soll hier nur erwähnt werden, daß dabei die im Wassergas enthaltene Kohlensäure in Wasser unter Druck absorbiert, das Kohlenoxyd verflüssigt wird und der gasförmige Wasserstoff übrig bleibt. Auch dieses Verfahren hat bereits in größtem Maßstab für Ammoniakbereitung Verwendung gefunden.

Abgesehen von den im Obigen kurz dargestellten physikalisch-technischen Arbeiten, die in der Kälteversuchstation in München begonnen und in einer im Jahre 1901 errichteten Versuchstation in Höllriegelskreuth bei München fortgesetzt wurden, war natürlich jetzt wieder eine Unsumme industrieller und kaufmännischer Arbeit zu leisten; es war insbesondere für die Herstellung und den Vertrieb des Sauerstoffes eine viele Länder umspannende Organisation zu schaffen. Ferner mußten in jahrelangen Rechtskämpfen die neuen Patente verfochten werden. *Linde* hatte somit — wenn auch durch bewährte Mitarbeiter unterstützt — eine ungeheure Arbeitslast zu tragen.

Dennoch fand er noch die Kraft und Zeit zu einer regen Tätigkeit außerhalb seines Hauptwirkungsbereiches. So ist er seit Jahrzehnten eines der bedeutendsten und tätigsten Mitglieder des Vereins deutscher Ingenieure, er ist einer der Gründer und der Vorsitzende des Bayerischen Dampfkesselrevisionsvereins, Mitglied der Kgl. Bayerischen Akademie der Wissenschaften und einer der Stifter des Deutschen Museums in München. Mehreren physikalisch-technischen Forschungsinstituten hat er seine Erfahrung, seine Arbeitskraft, seine Mittel und seinen Einfluß zur Verfügung gestellt: Er gehört seit 1895 dem Kuratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und seit 1899 dem Kuratorium der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie<sup>1)</sup> an und war im Jahre 1898 hervorragend beteiligt an der Gründung der Göttinger Vereinigung für angewandte Physik und Mathematik. Um die Technische Hochschule München, die ihm schon, wie erwähnt, die Gründung des Laboratoriums für theoretische Maschinenlehre

<sup>1)</sup> Seiner Anregung in diesem Kreis entsprang z. B. die Gründung der Versuchsanstalt für Luftschrauben in Lindenberg, welche später (1912) der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt überwiesen wurde.