

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Band:** 79/80 (1922)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Kraft-Speicherungs-Anlagen mittels komprimierter Luft  
**Autor:** Trümpler, W.E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-38083>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Das Siedlungsregulativ lässt zwar den Ansiedlern in der Bewerbung ihres Heimwesens jede wünschbare individuelle Freiheit. Wo indessen das Zusammenarbeiten im Interesse der Erleichterung der Bewirtschaftung des einzelnen Heimwesens liegt, wie das im gemeinsamen Pflügen des Pflanzlandes usw. der Fall ist, da ist eine Anpassung des Einzelnen unbedingt erforderlich und wird auch verlangt. Diese Notwendigkeit löst *Gemeinschaftsinn* aus und bringt die Ansiedler dazu, sich nach Bedarf gegenseitig Hilfe zu leisten.

#### Vorläufige Erfahrungen.

Dass es für den Einzelnen, wie für die Allgemeinheit eine Wohltat bedeutet, wenn auch die nichtlandwirtschaftliche Bevölkerung, statt in Mietskasernen in der Stadt zu wohnen, in Kleinheimwesen auf dem Lande sesshaft gemacht werden kann, ist eine Selbstverständlichkeit, die nicht erst durch neue Erfahrungen erhärtet zu werden braucht. Dafür sind uns die bestehenden Verhältnisse in Stadt und Land Beweis genug. In dieser Richtung also ist das Siedlungswerk im Lantig kein Versuch.

Indessen lässt sich die *Dezentralisierung des Wachstums der grossen Orte*, darauf läuft schliesslich der hier zur Rede stehende Teil der Siedlungspolitik hinaus, doch in verschiedener Weise durchführen, und jedes einzelne Werk gibt schon im Stadium seiner Ausführung — vielmehr natürlich noch im Stadium der Bewohnung und Bewirtschaftung — wertvolle Lehren, die im Interesse des Gedeihens des Ganzen nicht missachtet werden dürfen. In diesem Sinne machen wir in Bezug auf die bisherigen Erfahrungen mit dem „Lantig“ folgende Hinweise.

Der „Lantig“ wurde in der Zeit der höchsten Ueber- teuerung im Bauwesen besiedelt. Trotz ansehnlicher öffentlicher Subventionen, und obschon die sehr umständliche Vorbereitung ohne Kosten für das Werk erfolgte, liegt heute auf den Heimwesen eine *bedeutende Kostenlast*. Zwar bringt der Ansiedler, wenn er einmal das Gütchen fertig eingerichtet hat, durch zweckmässige Bewirtschaftung der Oekonomie den Grossteil der Pachtzinse auf. Aber die Aufgabe, durch die erarbeiteten Erträge die ökonomischen Verhältnisse des Ansiedlers ständig zu verbessern und Mittel zur Entwicklung des Heimwesens zu bekommen, leidet naturgemäss doch etwas unter den teuren Baukosten. Indessen haben mit dieser Verumständung alle Bauten der letzten Jahre zu rechnen, ja sie fällt bei blossen Wohnbauten noch schwerer ins Gewicht als bei unserm Siedlungswerk; denn hier besteht, abgesehen von allen andern Vorteilen, wenigstens die Möglichkeit, die Baulasten durch Erträge aus der Landwirtschaft zu kompensieren, während sie dort aus den Berufseinnahmen des Hausbewohners bestritten werden müssen. Mittlerweile haben die Baukosten allgemein eine Reduktion erfahren. Die Verhältnisse werden sich also bei den fürderhin in Angriff zu nehmenden Siedlungswerken ohne weiteres günstiger gestalten. Trotzdem kann in Rücksicht auf das oben gesagte nicht genug darauf hingewiesen werden, die Siedlungswerke mögen, wenn sie gedeihen sollen, denkbar *einfach und billig* gestaltet werden. Im „Lantig“ ist stattlich gebaut worden. Als einem ersten Beispiel, das auch äusserlich einen guten Eindruck machen und der Siedlungs-idee breiten Boden verschaffen soll, lässt sich das dort rechtfertigen. Die allgemeine Geldknappheit zwingt aber gebieterisch, in den Siedlungswerken der nächsten Zeit auch diese Rücksicht in den Hintergrund zu stellen.

Was die *Technik der Besiedelung* betrifft, erwies die Besetzung der Kolonie im „Lantig“, dass die *freistehenden* Heimwesen von den Ansiedlern absolut vorgezogen werden. Das Aneinanderschoben zweier oder mehrerer Wohneinheiten mit dem entsprechenden Gärtchen vor der Front mag in den Gartenstädten an der Peripherie der Städte, wo mit dem teuren Boden sehr häuslicher Umgang werden muss, am Platze sein. Für Siedlungswerke im oben behandelten Sinne taugt es aber nicht. Sobald eine Familie wirklich auf dem Lande wohnt und eine, wenn auch noch so kleine Landwirtschaft betreibt, will sie Ellbogenfreiheit

im Verkehr um das Haus haben. Ein Verlangen, das nun einmal da ist, psychologisch ohne weiteres verständlich erscheint, aber auch in der Erleichterung der Wirtschaft seine Ursache hat. Beim Berufsbauern-Heimwesen wird ja das Freibauen heute als unbedingt erforderlich angesehen. Die Architekten müssen ihren verständlichen Wunsch, durch Zusammenfügen der Bauten bessere Wirkung erzielen zu können, den praktischen Bedürfnissen unterordnen. Die geringen Mehrkosten des freien Bauens werden durch dessen übrige Vorteile mehr als aufgewogen. Auch der Verkauf der freistehenden Wirtschaftseinheiten fällt viel leichter.

*Bevölkerungspolitisch* eröffnet das Siedlungswerk im „Lantig“ schon heute gute Aussichten. Grosse Familien ziehen auf das Land, betätigen hier ihre Liebe zur Pflege der Scholle. Die ersten Jahre sind schwer, zumal für Ungewohnte. Aber die Tatsache, ein Heimwesen zur Verfügung zu haben und es möglicherweise später zu besitzen, hält die Kräfte der Ansiedler zusammen, gibt der Entwicklung ihrer Familien eine sichere Grundlage. Das Wertvollste ist aber das: die neuen Wirtschaftseinheiten sind geschaffen worden auf Boden, der früher so gut wie nichts abtrug. In einem Land wie die Schweiz, wo der Nahrungsspielraum durch die Uebervölkerung so eng geworden ist, ist jede Vorkehrung, die einer weiteren Familie nicht nur Wohngelegenheit, sondern auch Nahrung verschafft, eine Er-rungenschaft.

Zürich, im September 1921.

### Kraft-Speicherungs-Anlagen mittels komprimierter Luft.

Von Ingenieur W. E. Trümpler, Ober-Üster.

Die Stauseen, wie sie in neuerer Zeit in Verbindung mit hydraulischen Kraftwerken erstellt werden, sind die wirtschaftlichsten Energiespeicher der Gegenwart. Wo aber Werke bereits bestehen, die keine solche Seen besitzen, wie z. B. Niederdruck-Kraftwerke an grossen Strömen, ist die Frage viel schwieriger zu lösen. In derartigen Fällen ist schon öfters, wo sich die Gelände-Beschaffenheit dazu eignet, hydraulische Akkumulierung mit einem getrennten Reservoir angewendet worden, hat sich aber in wenigen Fällen als wirtschaftlich erwiesen. In erster Linie sind die Anlagekosten meist zu hoch, auch verlangen solche Anlagen viel Aufsicht und Bedienung um den Zweck zu erfüllen, und schliesslich ist der Gesamtwirkungsgrad selten über 60 %.

Wie in den nachstehenden Ausführungen gezeigt werden soll, lässt sich die pneumatische Akkumulierung wenigstens ebenso gut, wie die hydraulische durchführen, und besitzt dabei viele nennenswerte Vorteile.

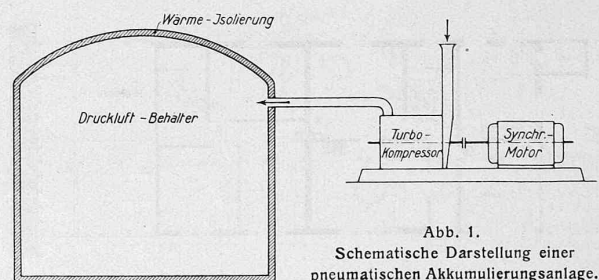


Abb. 1.  
Schematische Darstellung einer pneumatischen Akkumulierungsanlage.

Eine solche pneumatische Akkumulierungsanlage ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus einem wärme-isolierten Druckluftbehälter, in den durch einen Synchron-Motor angetriebene Turbokompressor Luft komprimiert. Dieser Kompressor ist mit einer besonderen Regulierung versehen, die es erlaubt, ihn auch als Luft-Turbine arbeiten zu lassen, zum Antrieb des nunmehr als Generator laufenden Synchron-Motors.

Bei der Aufspeicherung erfolgt die Kompression ohne irgendwelche Kühlung, sodass die Temperatur-

erhöhung der adiabatischen und der durch die Kompressor-Verluste bedingten zusätzlichen Erhöhung entspricht. Da aber die Behälterwandungen auch zum Teil als Wärmekapazität mitzählen, so dürfte schätzungsweise die Temperatur genügend genau der adiabatischen Zustandsänderung entsprechen, um damit rechnen zu können.

So sehr es sowohl für die Grösse des Behälters als auch den gesamten Wirkungsgrad günstig wäre, den Druck so hoch wie möglich zu wählen, so ist es aus praktischen Gründen vorzuziehen, nicht allzu hoch zu gehen. Ein Ueber-

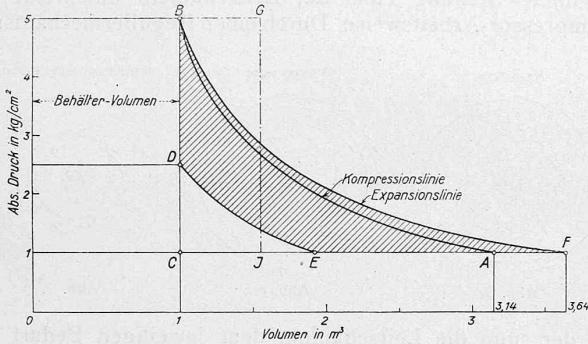


Abb. 2. Druck-Volumen-Diagramm für 1 m³ Behältervolumen.

druck von etwa 4 at ist als ein guter Mittelwert zu bezeichnen; er lässt sich mit einem drei- bis vierstufigen Kompressor erzeugen und ergibt, bei 20° Anfangstemperatur, eine noch mässige Endtemperatur von 196°.

Der Arbeitsaufwand für die Kompression lässt sich aus dem Druck-Volumen-Diagramm Abbildung 2 ermitteln, das für ein Behältervolumen von 1 m³ aufgezeichnet ist. Die gesamte Kompressionsarbeit wird dargestellt durch die Fläche ABC. Da aber mit der gleichen Maschine nur eine Druckschwankung von rd. 50% ausgenützt werden kann, so kommt für die nutzbare Kapazität nur die Fläche ABDE in Betracht. Berücksichtigt man die Verluste, die sich als eine weitere Erwärmung der Luft bemerkbar machen, so wird in Wirklichkeit die Fläche BDEF nutzbar. Die Differenz zwischen den beiden Flächen BDEA und BDEF, der schmale Streifen BAF stellt die teilweise Rückgewinnung der Kompressorverluste dar.

Bei 80% Wirkungsgrad des Kompressors, sowohl als Kompressor wie als Turbine, würde sich ohne Rückgewinnung ein totaler Wirkungsgrad von 64% ergeben, während in Wirklichkeit ein Wirkungsgrad von 70% erreicht wird. Da die Rohrverbindung zwischen Behälter und Kompressor stets kurz gewählt werden kann, und der Druckverlust pro Längeneinheit ein geringer ist, so kann dieser vernachlässigt werden. Ist es ferner noch möglich, die übrigen 30% der Verluste, die als Wärme in der wegströmenden Luft enthalten sind, zu Heizungs- oder Trocknungszwecken zu verwerten, so wird der gesamte Wirkungsgrad dem idealen von 100% nahe kommen.

So günstig diese Wirkungsgrade des Energie-Umsatzes sich herausstellen, ist aber der wirtschaftliche Wirkungsgrad von viel grösserer Bedeutung, der im wesentlichen von den Zins- und Amortisationskosten des Anlagekapitals abhängt. Es ist daher die Frage zu beantworten: Wie hoch stellen sich die Erstellungskosten einer solchen Anlage pro PS und Stunde ausnutzbarer Speicherkapazität?

Um dies zu ermitteln, muss in erster Linie das Speichervolumen pro PSh bestimmt werden. Für den oben angegebenen Arbeitsvorgang, lässt sich aus Abbildung 2 durch Integration der schraffierten Fläche BDEF, die der Anschaulichkeit halber auch durch das Rechteck BCJG dargestellt worden ist, die verfügbare Arbeit in mkg für 1 m³ Behältervolumen finden. Diese entspricht nun 22 000 mkg oder 0,0815 PSh, was mit dem Wirkungsgrade 80% multipliziert, 0,065 PSh effektiv ergibt. Eine Kapazität von 1 PSh erfordert daher  $1 : 0,065 = 15,4 \text{ m}^3$  Speichervolumen. Für 2000 PSh max. Kapazität ist somit ein Behälter von 30 800 m³ erforderlich.

Einen solchen Behälter aus Eisenblech zu erstellen, würde bei einer Beanspruchung von 1200 kg/cm² rd. 1 400 000 kg Eisen erfordern, was bei einem Preis von Fr. 0,50 pro kg auf 700 000 Fr. für das Material allein zu stehen käme. Eine Konstruktion aus armiertem Beton, wie in Abbildung 3 dargestellt, ist des niedrigeren Preises, der bessern Wärme-Isolation und auch der Sicherheit wegen vorzuziehen. Der Behälter ist im wesentlichen ein Zylinder, der durch eine kugelförmige Decke nach oben abgeschlossen ist. In entleertem Zustande sind die Wände durch die aufgeschüttete Erde auf Druck beansprucht, sodass bei vollem Reservoir mit einem innern Druck von 4 kg/cm², nur stellenweise und geringe Zugkräfte auftreten, die durch kräftige Armierungen aufgenommen werden. Die Luftdichtheit kann durch einen innern Verputz mit Zement-Kanone und auch eventuell durch einen Teeranstrich genügend gut erreicht werden.

Der Preis würde sich angenähert berechnen wie folgt:

Erdaufhebung und Auffüllung	20 000 m³	Fr. 60 000
Beton	6 500 "	" 160 000
Armierungen (alte Eisenbahnschienen)	400 t	" 80 000
		Total Fr. 300 000

Die Grösse der maschinellen Installation hängt aber von der maximalen Leistung ab und wird daher sehr verschieden sein. Rechnet man mit einer maximalen Leistung von 500 PS (was einer Entladung in vier Stunden entspricht), so dürfte der Betrag von 50 000 Fr. genügen.

Rechnet man für Zins und Amortisation 9%, so macht das eine jährliche Ausgabe von 31 500 Fr., welcher Betrag sich je nach der Benützung auf mehr oder weniger PSh verteilt. Wird bei täglicher Ladung und Entladung die volle Kapazität durch das ganze Jahr hindurch gebraucht, so werden 720 000 PSh im Jahr aufgespeichert, sodass nur 4,4 Cts./PSh neben den Erzeugungskosten zu rechnen wären. Bei halber Ausnützung macht dies schon 8,8 Cts., und bei noch schwächerer entsprechend mehr.

Ist die Kraftquelle z. B. eine Wasserkraft an einem grösseren Flusse, wo Tag und Nacht die gleiche Wassermenge zur Verfügung steht, so kann durch eine solche Speicherungs-Anlage die Tageskraft auf das 2 bis 3-fache gesteigert werden, zu einem Preise der niedriger ist, als die gegenwärtigen Strompreise der Ostschweizerischen Kraftwerke, besonders wenn grosse Maximalwerte des Kraftbedarfes vorkommen.

Ein Vergleich mit den Anlagekosten einer Akkumulatorenbatterie von gleicher Kapazität, d. h. von 1500 kWh ergibt für die Batterie allein 600 000 Fr., was den doppelten Betrag der Luftspeicherkosten ausmacht. Dazu erfordert eine Batterie erheblich mehr Aufsicht und Unterhalt, als eine Luftspeicheranlage.

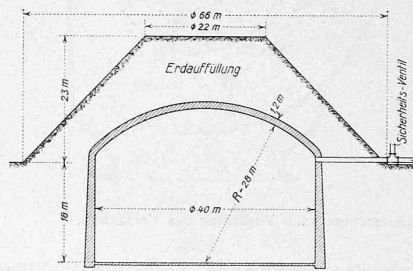


Abb. 3. Schnitt eines Luft-Akkumulierbehälters von 38 000 m³ Inhalt für 2000 PSh Kapazität.

Da die Luft eine leichte und elastische Flüssigkeit ist, so können gefährliche Stösse in der Leitung nicht vorkommen: eine solche Anlage eignet sich daher besonders für Pufferbetrieb mit grossen und raschen Schwankungen, indem es möglich ist, innert wenigen Sekunden den Kompressor von Vollast komprimierend auf Vollast expandierend (als Luftturbine arbeitend) zu regulieren.

Für Elektrizitätswerke mit langen Fernleitungen und grossen Belastungsschwankungen, wie sie bei elektrischen Strassen- und Vollbahnen und auch industriellen Anlagen vorkommen, sind Luftspeicheranlagen deshalb vorteilhaft, weil sie an keine Bodenbeschaffenheit gebunden, und

darum an den Schwerpunkt der Belastung verlegt werden können. Dadurch entlasten sie die Leitungsnetze und bilden auch eine gewisse Reserve gegen Störungen in den Fernleitungen. Im Gegensatz zu Bleiakkumulatoren-Batterien können sie, ohne Schaden zu nehmen, vorübergehend still gesetzt werden. —

Es seien nun noch einige Angaben gemacht über die im vorgehenden vorgeschlagene Luft-Turbomaschine, die sowohl als Turbine, als auch als Kompressor zu arbeiten hätte.

Es ist aus dem Gebiet des hydraulischen Turbinen- und Zentrifugalpumpenbaues allgemein bekannt, dass eine Zentrifugalpumpe auch als Turbine arbeiten kann, jedoch für diesen Betrieb sehr ungeeignet ist, infolge der Unveränderlichkeit der Leitschaufelquerschnitte. Das Gleiche gilt natürlich auch für die wesensverwandten Zentrifugalgebläse oder Kompressoren. Werden nun bei einer Zentrifugalpumpe sowohl die Diffusor- wie die Einlauf-Leitschaufeln drehbar angeordnet, so kann sowohl das geförderte Volumen, wie auch die Druckhöhe, ohne wesentliche Einbusse an Wirkungsgrad, in ziemlich weiten Grenzen reguliert werden; ebenso liesse sich eine solche Pumpe auch als Turbine verwenden, allerdings bei umgekehrtem Drehsinne.

Um den Anforderungen für den Luftspeicherbetrieb zu genügen, sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

1) die Maschine muss imstande sein, atmosphärische Luft in einen Behälter zu komprimieren, und zwar bei ansteigendem Gegendrucke und konstanter Tourenzahl. Der Wirkungsgrad muss bei den verschiedenen Gegendrücken (in gewissen Grenzen) und variabeln Fördervolumen ein guter bleiben.

2) sie muss imstande sein, als Turbine zu arbeiten und bei gleicher Tourenzahl und gleichem Drehsinn wie als Kompressor und bei abnehmendem Behälterdruck und verschiedener Belastung einen guten Wirkungsgrad ergeben.

3) der Uebergang von einer Arbeitsweise zur andern bei konstantem Behälterdruck muss stetig oder stabil erfolgen, d. h. es dürfen keine Oszillationen vorkommen, wie diese bei Kompressoren als „Pumpen“ bekannt sind.

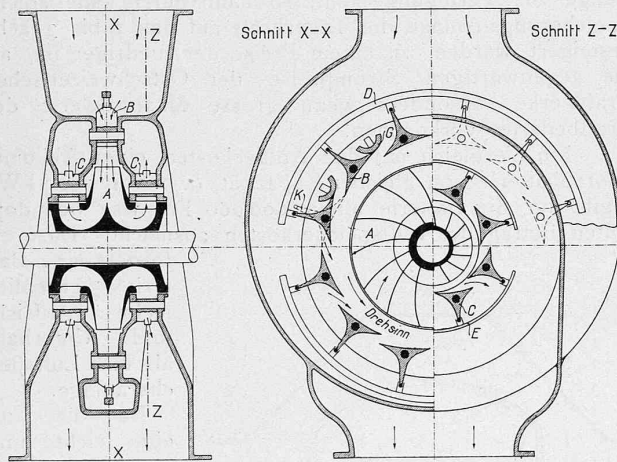
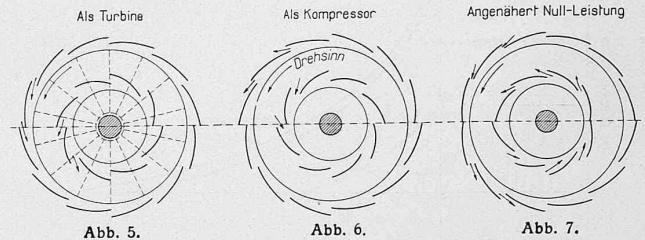


Abb. 4. Luft-Turbomaschine nach Vorschlag des Verfassers.

In Anlehnung an den bisherigen Zentrifugalgebläse-Bau, lässt sich nun eine Zentrifugalmaschine bauen, die den obgenannten Bedingungen gerecht wird. In Abb. 4 ist eine solche schematisch in zwei Vertikalschnitten dargestellt. Der Einfachheit halber ist eine einstufige, mit symmetrischer Anordnung des Laufrades und des Gehäuses versehene Konstruktion gewählt worden, doch können auch mehrstufige Maschinen durch Aneinanderfügen von einzelnen solcher Stufen erstellt werden. Das Laufrad ist einem doppelten Franzis-Turbinen-Laufrad ähnlich, wobei die Austrittskanten soweit vorgeschoben sind, dass der Austritt radial nach aussen erfolgt. An der äusseren Peripherie sind die Laufradschaufeln leicht im Drehsinne vorwärts gebogen, damit für die gleichen Druckgrenzen das

Laufrad als Kompressor wie als Turbine den richtigen Winkel besitzt. Sowohl den Eintritt- wie Austrittskanten sind Drehschaufeln B und C vorgelagert, die durch ein Gestänge D und E eingestellt werden. Um die Luftführung über die, in ihrer Länge begrenzten Leitschaufeln hinaus zu sichern, sind Gleitstücke G vorgesehen, die, radial verschiebbar, durch Federkraft gegen die Enden der Leitschaufeln gepresst werden. Die Leitschaufeln und die Pfeile der Strömung sind der Turbinenarbeitsweise entsprechend eingezeichnet; die mit K bezeichnete, strichpunktirt eingezeichnete Stellung einer der Leitschaufeln entspricht der Kompressor-Arbeitsweise. Durch einen Reguliermechanismus



werden nun die Leitschaufeln dem jeweiligen Bedarf entsprechend so eingestellt, dass sowohl dem im Behälter herrschenden Drucke wie der Belastung Rechnung getragen ist. Wird komprimiert, so haben die Leitschaufeln im allgemeinen eine Stellung gemäss Abb. 5; soll Arbeit geleistet werden, so haben sie eine der Turbinenwirkungsweise entsprechende Stellung (Abb. 6). Obwohl der Grad der jeweiligen Verdrehung von Eintritt- und Austrittschaufeln angenähert proportional ist, so müssen diese doch getrennt gesteuert werden, um die, dem jeweiligen Füllungsgrade des Luftbehälters entsprechende Druckhöhe günstig erzeugen bzw. ausnützen zu können.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass mit der beschriebenen Anordnung, über einen genügend weiten Bereich von Druck- und Volumenänderungen der Arbeitsluft, ein günstiger Wirkungsgrad zu erzielen ist. Die beiden ersten, an die Maschine gestellten Betriebsbedingungen können daher als erfüllt betrachtet werden.

Was die dritte Bedingung der Stabilität beim Durchgang von der Kompressorwirkungsweise zu derjenigen als Turbine anbelangt, so ist diese nicht ohne weiteres gewährleistet. Obwohl die Maschine über den ganzen Bereich als Turbine stabil arbeitet, so ist es bis jetzt noch nicht gelungen, einen Kompressor zu bauen, der bis zum Nullpunkt des Volumens stabil ist oder, was gleichbedeutend, eine ansteigende Druckkurve besitzt. Es ist zwar durch geeignete Konstruktion bereits gelungen, den Punkt, bei dem diese Unstabilität beginnt (im Kompressorbau als „Pumpgrenze“ bezeichnet), sehr nahe der Null-Leistung zu bringen, doch muss dass unstabile Gebiet durch Abblasen einer gewissen Luftmenge stets überbrückt werden.

Statt diese Luftmenge nutzlos entweichen zu lassen, soll sie zur Kraftleistung mit zugezogen werden, wodurch die Verluste erheblich vermindert werden. Sind nämlich die Leitschaufeln am äusseren wie am inneren Umfang in zwei Gruppen geteilt, sodass die eine Gruppe schneller vorgedreht werden kann, als die andere, wie dies in Abb. 7 schematisch dargestellt ist, so wird auf der einen Hälfte des Umfanges die Turbinenarbeitsweise schon eingeleitet, während auf der andern noch komprimiert wird. Hierdurch wird eine Ueberlappung der Turbinen- und Kompressor-Wirkungsweise erzielt, die, wenn genügend ausgedehnt, jede Unstabilität beheben kann.

Wie bei der Regulierung, so ist man auch hier auf den Versuch angewiesen, die richtigen Verhältnisse der Schaufelverdrehung festzustellen, und da noch keine Versuchsergebnisse vorliegen, soll nicht weiter auf diesen Punkt eingegangen werden. Es ist aber zur Genüge gezeigt worden, dass alle gestellten Anforderungen mit den beschriebenen konstruktiven Einrichtungen gelöst werden können.