Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 85 (1994)

Heft: 18

Artikel: Schwimmendes Gasturbinen-Kraftwerk mit Unterwasser-Druckluftspeicher

Autor: Hartmann, Otto

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902600

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

Es wird ein System zur Speicherung von Druckluft sowie von anderen Gasen und Flüssigkeiten vorgeschlagen, das kostengünstig, flexibel, ohne Landbedarf und mit nur minimalen Umweltauswirkungen erstellt und betrieben werden könnte.

Schwimmendes Gasturbinen-Kraftwerk mit Unterwasser-Druckluftspeicher

■ Otto Hartmann

Einleitung

Gasturbinen-Kraftwerke zur Stromerzeugung gibt es seit langem in aller Welt. Gasturbinen-Kraftwerke, die mit einem Druckluftspeicher gekoppelt sind, wurden bisher nur zweimal realisiert: eines bei Huntorf in Norddeutschland, ein zweites, neueres in Alabama, USA. In beiden Fällen dienen ausgelaugte Hohlräume in einem Salzstock als Druckluftspeicher. Diese Technologie, in unterirdischen Salzblasen von mehreren Kilometern Durchmesser und etwa ein Kilometer Dicke, Hohlräume auszulaugen, wird seit Jahrzehnten angewendet, vornehmlich zur unterirdischen Lagerung von Erdölprodukten und Erdgas.

Die Anwendung setzt naturgemäss das Vorhandensein solcher Salzstöcke voraus. Es wurden deshalb wiederholt Projekte mit bergmännisch aufgefahrenen Kavernen als Druckluftspeicher untersucht. Sie scheiterten regelmässig an den enorm hohen Kosten und Risiken solcher Untertage-Bauwerke. Dazu kommt die mangelnde Gasdichtheit des Gesteins. Dichtungsfolien erhöhen die Kosten und sind unsicher bezüglich ihrer dauerhaften Wirksamkeit.

Die Idee, als Luftspeicher eine Art Taucherglocke am Grunde eines Sees zu verwenden, wurde letzthin von H. de Witt [1] zur Diskussion gestellt. Die Problematik dieses Vorschlags liegt hauptsächlich in der Fundierung und Verankerung der Taucherglocke am Seegrund und den damit verbundenen grossen Unterwasserkonstruktionen, die ohne einschneidende Auswirkungen auf den Seeboden und das ganze Ökosystem des Sees nicht denkbar sind.

Freischwebende Taucherglocke

Das Problem wird im nachstehend skizzierten Vorschlag dadurch gelöst, dass die Taucherglocke nicht am Seeboden abgesetzt und verankert wird, sondern an einem Schwimmkörper an Stahlseilen aufgehängt, frei im Wasser schwebt. Sie berührt den Seeboden nicht, es kommt damit auch zu keinerlei Beeinträchtigung des Seegrundes oder des Seewassers.

Das vorgeschlagene System besteht im wesentlichen aus zwei riesigen flachen Schüsseln ähnlich Tortenformen, deren eine, mit der Öffnung nach unten, als Taucherglocke und Luftspeicher dient. Sie ist, wie erwähnt, mit Stahlseilen an der darüber schwimmenden Tortenform aufgehängt, die auch das Luftspeicher-Kraftwerk aufnimmt. Die Taucherglocke hat nach oben einen Rand, in den zur Versteifung ein Betonboden gegossen und darauf soviel Kies als Ballast aufgefüllt wird, dass die Taucherglocke auch bei maximaler Luftfüllung nicht aufschwimmt. Sie hängt also immer am Schwimmkörper, der, je nach Luftfüllungsgrad der Taucherglocke, mehr oder weniger tief im Wasser liegt. Damit bleibt die Schwankung auf das System selbst beschränkt, der Seespiegel bleibt immer konstant. Die Wasserbewegung beim Füllen und Entleeren der Druckluft ist sehr langsam und auf die Umgebung der Taucherglocke beschränkt. Fische können sich in der und um die Taucherglocke frei bewegen. Da sich ein kleiner Teil der zugeführten Druckluft im Wasser löst, findet eine laufende Sauerstoffanreicherung des Tiefenwassers statt, ein positiver Nebeneffekt.

Die Herstellung von Taucherglocke und Schwimmkörper würde in Segmenten geeigneter Grösse («Tortenstücke») am Ufer in einem Trockendock erfolgen, aus dem

Adresse des Autors:
Otto Hartmann, dipl. Masch.-Ing. SIA,
Hinterbächlistrasse 19, 5452 Oberrohrdorf.

sie nach Flutung in den See geschleppt und dort zusammengefügt würden. Anstelle einer grossen Taucherglocke sind auch eine Anzahl kleinerer denkbar.

Schwimmkörper und Taucherglocke(n) sind mit Luftleitungen verbunden, durch die der Kompressor die Druckluft in die Taucherglocke fördert. Von dort fliesst sie während des Turbinenbetriebes zurück zur Gasturbine. Die Lage des Schwimmkörpers im See wird durch abgehängte Spannkabel zum Ufer fixiert. Die Energiezufuhr erfolgt über Öl- bzw. Gasleitungen, die Energieableitung über Unterwasserkabel.

Auf dem Schwimmkörper wäre Platz für vieles mehr als nur für das Gasturbinen-Kraftwerk. Sport- und Erholungsanlagen, ein Hotel «im See», Fischzuchtanlagen, seespezifische Forschungsstätten, Vergnügungspark wären vorstellbar. Vom Ufer aus wäre eine Insel sichtbar, die kurioserweise morgens hoch aufragt und während des Tages, wenn die Druckluft aus der Taucherglocke entnommen wird, langsam im See versinkt – sicher eine touristische Attraktion. Die Verbindung zum Festland würde durch Elektroboote oder eine Gondelbahn hergestellt.

Umweltrelevante Auswirkungen hat das System praktisch nur während der Erstellung, und diese bleiben auf das Trockendock beschränkt, wo sie sicher beherrschbar sind. Während des Betriebes dürften, wie bei allen Gasturbinenanlagen, Lärm und Abgase die wesentlichen Emissionen sein. Auf den Seespiegel und auf die Wasserqualität hat der Betrieb der Anlage keinerlei Einfluss.

Hypothetisches Beispiel

Nach dieser grundsätzlichen Darstellung soll der Vorschlag anhand eines hypothetischen Beispiels dargestellt werden. Als Standort wird der südliche Teil des Zugersees gewählt, weil dort eine Verbesserung des Tiefenwassers besonders erwünscht wäre. Die maximale Seetiefe ist mit 198 m angegeben, die Taucherglocke könnte somit in einer Tiefe von 180 m angeordnet werden, was einem Betriebsdruck von 18 bar entspricht.

Weiter wird angenommen, dass die Leistung 100 MW betragen und drei Stunden lang zur Verfügung stehen soll. Die Temperatur der gespeicherten Luft soll 20 °C betragen. Mit diesen Annahmen können die weiteren Kennwerte der Anlage nach Zaugg [2] berechnet werden (Tabelle I). Für die Schwimmplattform wird man einen grösseren Durchmesser wählen, denn sie muss ausser ihrem Eigengewicht auch die Taucherglocke bei minimaler Luftfüllung tragen. Ein Totraum im Luftspeicher ist erforderlich, damit sichergestellt wird, dass niemals Wasser in die Gasturbine gelangen kann. Dies würde den Totalschaden der Gasturbine bewirken.

Pos.	Gegenstand	Wert	Bemerkung
1	Wassertiefe der Taucherglocke	180 m	max. Seetiefe 198 m
2	Arbeitsdruck	18 bar	aus Pos. 1
3	Temperatur der gespeicherten Luft	20 °C	Annahme
4	Nennleistung der Gasturbine	100 MW	Annahme
5	Dauer des Turbinenbetriebes	3 h	Annahme
6	Energiemenge	300 MWh	aus Pos. 4 und 5
7	Energiemenge	1 080 000 MJ	3600mal Pos. 6
8	Eintrittstemperatur der Gasturbine	1000 °C	konservativer Wert
9	Spezifische Exergie (Luft: 20 °C und 18 bar)	15 MJ/m³	geschätzt
10	Davon an Generatorklemmen nutzbar	12 MJ/m³	Berücksichtigung der Verluste
11	Erforderliches Speichervolumen	90 000 m³	Pos. 7 geteilt durch Pos. 10
12	Nutzbare Höhe des Speichers	10 m	Annahme
13	Erforderlicher Durchmesser des Speichers	107,05 m	aus Pos. 11 und 12
14	Freibord	0,50 m	Annahme
15	Totvolumen	4 500 m³	Annahme
16	Totalspeichervolumen	94 500 m³	Pos. 11 plus Pos. 15
17	Maximaler Auftrieb	94 500 t	aus Pos. 16
18	Gesamtgewicht der Taucherglocke rund	100 000 t	aus Pos. 17 plus Zuschlag
19	Gewicht der gespeicherten Luft rund	2 000 t	bei 18 bar und 20 °C

Tabelle I Kennwerte eines schwimmenden Druckluft-Gasturbinen-Kraftwerkes (Beispiel Zugersee)

Wie die Angaben in Tabelle I erkennen lassen, halten sich die Dimensionen in durchaus vernünftigen Grössenordnungen, so dass die grundsätzliche Machbarkeit einer solchen Anlage gesichert erscheint.

Weitere Vorteile

Das Prinzip der schwimmenden Taucherglocke hat weitere Vorteile:

- kein Landbedarf, ausser für Trockendock
- keine Vorinvestitionen, ausser für das Trockendock. Man kann also klein beginnen und später weitere Einheiten hinzufügen
- soll nur die Betriebsdauer des Turbinenzyklus erhöht werden, lassen sich weitere Speicherglocken hinzufügen
- jedes Gewässer erlaubt die Anwendung, sofern es genügend tief ist. Auch im Meer könnten solche Anlagen erstellt und erforderlichenfalls sogar an eine andere Stelle geschleppt werden.

Das System ist also äusserst flexibel und erscheint geeignet, der Spitzendeckung durch Luftspeicher-Gasturbinen-Kraftwerke neue Impulse zu verleihen. Schwimmende Taucherglocken könnten aber auch ganz allgemein für die Speicherung von Gasen und Flüssigkeiten genutzt werden, die spezifisch leichter als Wasser sind, beispielsweise für Erdgas und Erdölprodukte.

Ist der Speicherdruck ohne Bedeutung, was für alle Flüssigkeiten zutrifft, so genügt die Taucherglocke allein. Sie schwimmt dann nicht in der für den gewünschten Druck erforderlichen Tiefe, sondern an der Wasseroberfläche. Sogar für die Speicherung von Trinkwasser im Meer ist das Prinzip nutzbar, etwa vor der Küste Kaliforniens, im Toten Meer, im Roten Meer oder im Persischen Golf. In diesem Fall kommt als weiterer, entscheidender Vorteil hinzu, dass im Gegensatz zu Oberflächenspeichern keine Wasserverluste durch Verdunstung entstehen.

Der Verfasser ist Herrn P. Zaugg zu Dank verpflichet für die Durchsicht dieser Arbeit.

Literatur

[1] *H. de Witt*: Energiespeicher am Grunde tiefer Seen durch Druckluftspeicher zur Deckung des elektrischen Spitzenbedarfs. Bulletin SEV/VSE H. 10 (1994).

[2] *P. Zaugg*: Energiespeicherung mit Erdgas und Luft. Bulletin SEV/VSE, H. 9 (1986).

Centrale de turbine à gaz flottante avec un accumulateur à air comprimé sous-marin

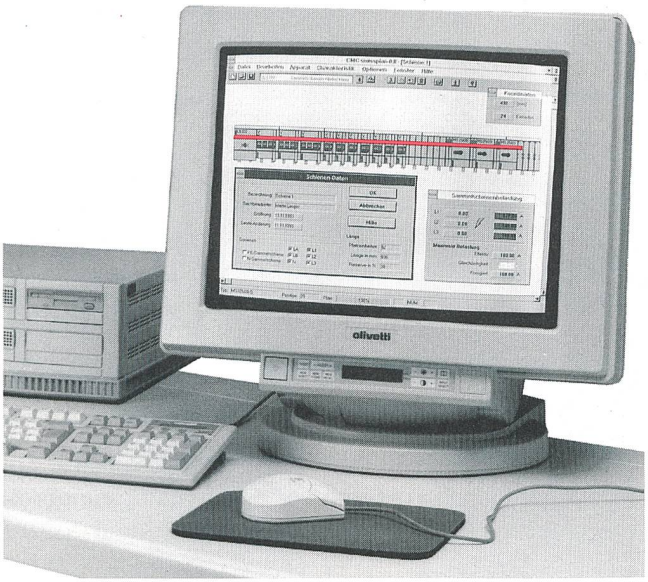
L'article présente un système permettant d'accumuler de l'air comprimé ainsi que d'autres gaz et liquides. Ce système peut être installé et exploité non seulement à peu de frais et de manière souple, mais aussi sans la nécessité de disposer d'un terrain et en ayant un faible impact sur l'environnement.

CMC

Neu von CMC Schaffhausen

smissline-S, das bewährte, zeitsparende Stecksockelsystem, jetzt auch schnell geplant mit

smissplan®



Die neue, benützerfreundliche Planungs-Software unter Windows. (Schutzgebühr Fr. 100.–)

Mit smissplan erstellen Sie visuell, zeitsparend auf dem Bildschirm Ihre spezifischen Verteilerschienen.
smissplan bietet Ihnen:

- Grafische Dispositionen
- Stücklisten
- Kalkulationen
- Bestellungen
- Sammelschienenbelastung
- **Leiterbelastung nach NIN.**

Bestellungen über die CMC Hotline 053/838 838

smissline®

C M C S c h a f f h a u s e n

Kompaktstationen

TRETEN SIE MAL IN IHRE STROMVERSORGUNG

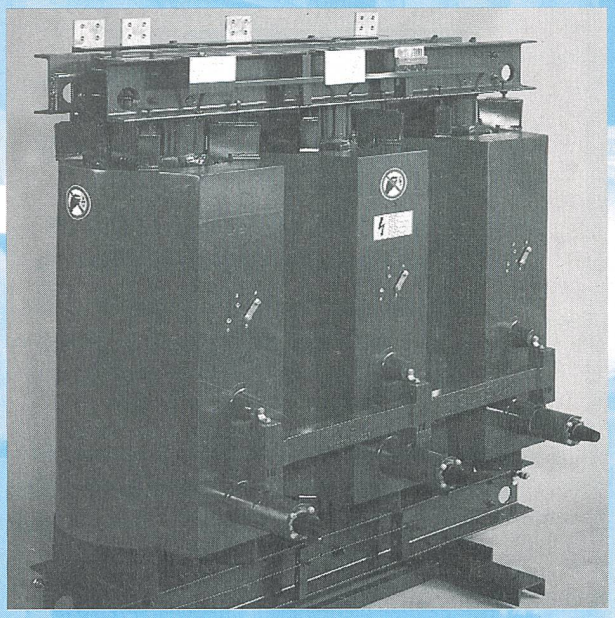
Bitte einzutreten: Mit unserer begehbaren Kompaktstation T 85 wird bei der Wartung die Tür zum Dach. So sparen Sie teure Aufstellfläche, die Sie bisher zum Öffnen der Türen einplanen mussten. Und mit einer Bauhöhe über Terrain von nur 1m sorgt diese unauffällige Station für freies Blickfeld an Kreuzungen und vor Wohnfenstern. Die T 85 ist eine unserer vier Kompaktstationstypen, mit denen Sie viele Ihrer Planungs- und Versorgungsaufgaben lösen. Alle Stationsgeometrien sind fugenlos aus einem Guss fabrikgefertigt nach System Betonbau, bestehen aus 100 mm Stahlbeton B 35, bieten vorbereitete BBK-Kabeldurchführungen und sind optisch perfekt anpassbar an Ihre jeweilige Bauumgebung. Eines unserer vier Werke ist in Ihrer Region. Nähere Informationen bei Betonbau GmbH, Postfach 1161, 68743 Waghäusel, Tel. (0 72 54) 9 80 - 0, Fax (0 72 54) 9 80 - 4 19.

BETONBAU GMBH

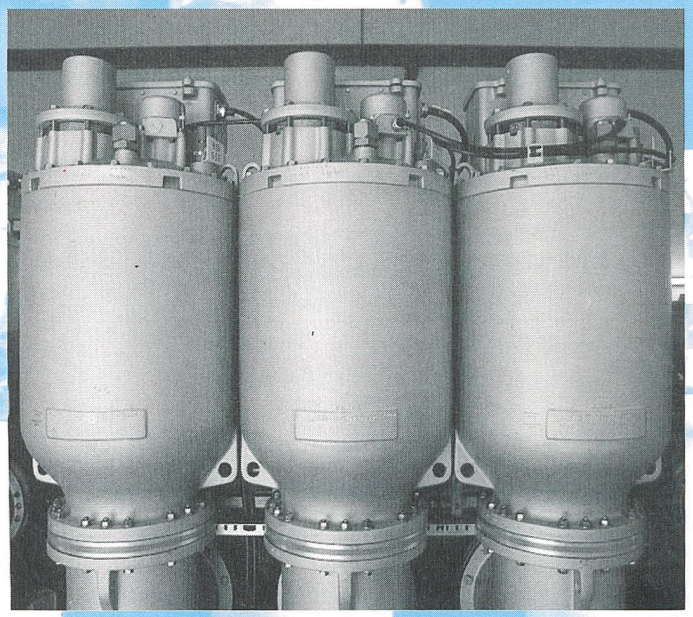
Qualität aus einem Guß.

NANTSCHEFF & LORENZ

Die beste Wahl innovativer Technologie.



SILESCA® Giessharztransformator, Nennleistung 630 kVA, primärseitig mit Steckbuchsen



GASCOIL® SF_6 - isolierte Messwandler für autonome und integrierte GIS Anwendungen

GASLINK® SF_6 - isolierte Stromschienen (Hintergrundbild)

Seit ihrer Gründung 1914 hat sich MGC zu einem führenden Hersteller von Giessharz-Leistungstransformatoren, Messwandlern sowie Giessharz- und SF_6 - isolierten Stromschienensystemen entwickelt. Vertreten in über 20 Ländern bietet MGC weltweit hochentwickelte, kundenspezifische Lösungen an. Profitieren Sie von unserem know-how, unserer Qualität und Flexibilität.
Auf Ihre Kontaktaufnahme freut sich:

MGC
MOSER-GLASER

MGC Moser-Glaser & Co. AG
Energie- und Plasmatechnik
Hofackerstrasse 24
CH - 4132 Muttenz / Schweiz

Telefon 061 / 467 61 11
Telefax 061 / 467 63 11