

**Systemaufbau und Aggregate zur
Stromspeicherung und
Wärmebewirtschaftung eines
Stülpmembranspeichers**

Autor: Rami Haidar

Betreuer: Prof. Dr. Matthias Popp

Ort, Abgabetermin: Nürnberg, 19.09.2023

Offizielles Deckblatt

Bearbeiter: Rami Haidar

Studiengang: Bachelor Maschinenbau

Studienschwerpunkt: Energietechnik

Gutachter: Prof. Dr. Matthias Popp

Thema der Arbeit:

Systemaufbau und Aggregate zur Stromspeicherung und Wärmebewirtschaftung eines Stülpmembranspeichers.

Zusammenfassung:

Diese Arbeit untersucht den Aufbau und die Funktionsweise eines Stülpmembranspeichers, um darauf aufbauend die am besten geeigneten Pumpspeicheraggregate für den geplanten Demonstrator in Haßfurt auszuwählen. Die Analyse ergibt, dass angesichts der ständig variierenden Leistungsanforderungen Verdrängermaschinen Strömungsmaschinen vorzuziehen sind. Insbesondere zeichnen sich Axialkolbenmaschinen durch ihre hohe Flexibilität und ihren hohen Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen Verdrängermaschinen aus.

Vorwort

Im sechsten Semester des Maschinenbaustudiums an der TH Nürnberg wurde im Rahmen eines Studienprojekts im Bereich Energietechnik eine Untersuchung zum Bau eines Stülpmembranspeicher-Demonstrators in Haßfurt durchgeführt. Die Studierenden teilten sich dabei verschiedene Teilbereiche auf: Anton Wolf untersuchte die Herstellungsmöglichkeiten der äußeren Einfassung und den Bau des Kobens [1]. Julian Schmitt fokussierte sich auf die Auslegung von Schächten, Leitungen, Strömungsführungen und der Kaverne [2]. Franz Lampe widmete sich insbesondere der Stülpmembran [3]. Nicolai Neubauer konzentrierte sich in seiner Arbeit auf die Montage und Befestigung dieser Membran [4], während Peter Müller-Leimbach die Wärmedämmung und die Auslegung eines Solarkollektorfeldes zur Wärmebewirtschaftung des Speichers behandelte [5].

Die vorliegende Arbeit untersucht den Aufbau und die Funktionsweise eines Stülpmembranspeichers, um darauf aufbauend die am besten geeigneten Pumpspeicheraggregate für den geplanten Demonstrator auszuwählen.

Inhaltsverzeichnis

Offizielles Deckblatt	II
Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Der Stülpmembranspeicher: Aufbau und Funktionsweise	2
2.1 Der Stülpmembranspeicher als Stromspeicher	2
2.2 Der Stülpmembranspeicher als Wärmespeicher	3
3 Aufgabenstellung	4
4 Die Hydraulik des Systems	5
4.1 Druckverteilung	5
4.2 Speicherkapazität und -leistung	6
5 Speicherladeleistung und Speicherentladeleistung	8
5.1 Strombewirtschaftung	8
5.2 Wärmebewirtschaftung	9
6 Auswahl der Pumpspeicheraggregate	11
7 Fazit	14
Literaturverzeichnis	I

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Aufbau des Stülpmembranspeichers [7]	2
Abbildung 3.1 Dimensionen des Demonstrators	4
Abbildung 4.1 Druckverteilung im System.....	5
Abbildung 5.1 Residualleistung bei aktuellem Strom-mix der Stadt Haßfurt [9].	8
Abbildung 5.2 Speicherladeleistung und Speicherentnahmeleistung	9
Abbildung 5.3 Änderung der Solarleistung in Abhängigkeit der Zeit [9]	10
Abbildung 6.1 optimale Wirkungsgrade verschiedener Pumpentypen [10]	11
Abbildung 6.2 Wirkungsgrad von Hydraulikmotoren in Abhängigkeit der Drehzahl [11].	12

1 Einleitung

Die Integration der regenerativen Energien in bestehende Energieversorgungssysteme spielt eine entscheidende Rolle zur Erreichung der Klimaziele, die von der Bundesregierung und der EU festgelegt wurden. Damit die Energie- und Wärmeversorgung in Deutschland bis 2045 treibhausgasneutral wird, ist der Übergang von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energien wie Wind-, Solar-, Geothermie-, Wasserkraft- und Biomasseenergie ein entscheidender Schritt.

In diesem Kontext gewinnt die Implementierung saisonaler Energiespeichertechnologien zunehmend an Bedeutung. Saisonale Energiespeicher erfüllen den Zweck, die Diskrepanzen zwischen der diskontinuierlichen Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen wie Sonnen- und Windenergie einerseits und dem kontinuierlichen Bedarf an Strom und Wärme andererseits zu überbrücken. Diese Diskrepanzen entstehen durch die natürlichen Schwankungen der Wetterbedingungen sowie die fluktuierende Verfügbarkeit von Energie. Die Verfügbarkeit von Sonnen- und Windenergie unterliegt saisonalen Schwankungen, die zu Zeiten niedriger Sonneneinstrahlung oder Windstille zu einer verminderten Energieerzeugung führen können. Saisonale Speichersysteme ermöglichen die Speicherung von überschüssiger Energie während Phasen hoher Energieerzeugung, um sie dann während Perioden mit geringer Energieerzeugung wieder freizusetzen. Auf diese Weise tragen sie zur Ausglichung von Schwankungen bei und gewährleisten eine zuverlässige Energieversorgung. Des Weiteren spielen saisonale Speichersysteme eine maßgebliche Rolle bei der Maximierung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Durch die Akkumulation von überschüssiger Energie in Zeiten hoher Verfügbarkeit wird vermieden, dass potentiell nutzbare Energie ungenutzt verloren geht. Dies wiederum steigert die Effizienz und Rentabilität von regenerativen Energieanlagen.

2 Der Stülpmembranspeicher: Aufbau und Funktionsweise

Der Stülpmembranspeicher (Abbildung 2.1) repräsentiert eine technische Innovation im Bereich der Energiespeicherung und eröffnet die Möglichkeit, sowohl elektrische als auch thermische Energie in einem mechanischen System zu speichern. Dieses Konzept wurde erstmals von Professor Dr. Matthias Popp am 21. Oktober 2013 veröffentlicht. Die elektrische Energie wird durch die Nutzung der potentiellen Energie gespeichert, während das Innenvolumen des Speichers zur Wärmebewirtschaftung verwendet wird. Dabei wird im Gegensatz zu herkömmlichen Pumpspeicherkraftwerken die potenzielle Energie in einem, über eine Stülpmembran (2), abgedichteten und geführten Kolben (1) gespeichert. [6]

Im Folgendem wird die Arbeitsweise des Stülpmembranspeichers näher erläutert. Hierbei erfolgt eine Erklärung sowohl der elektrischen als auch der thermischen Energiespeicherung.

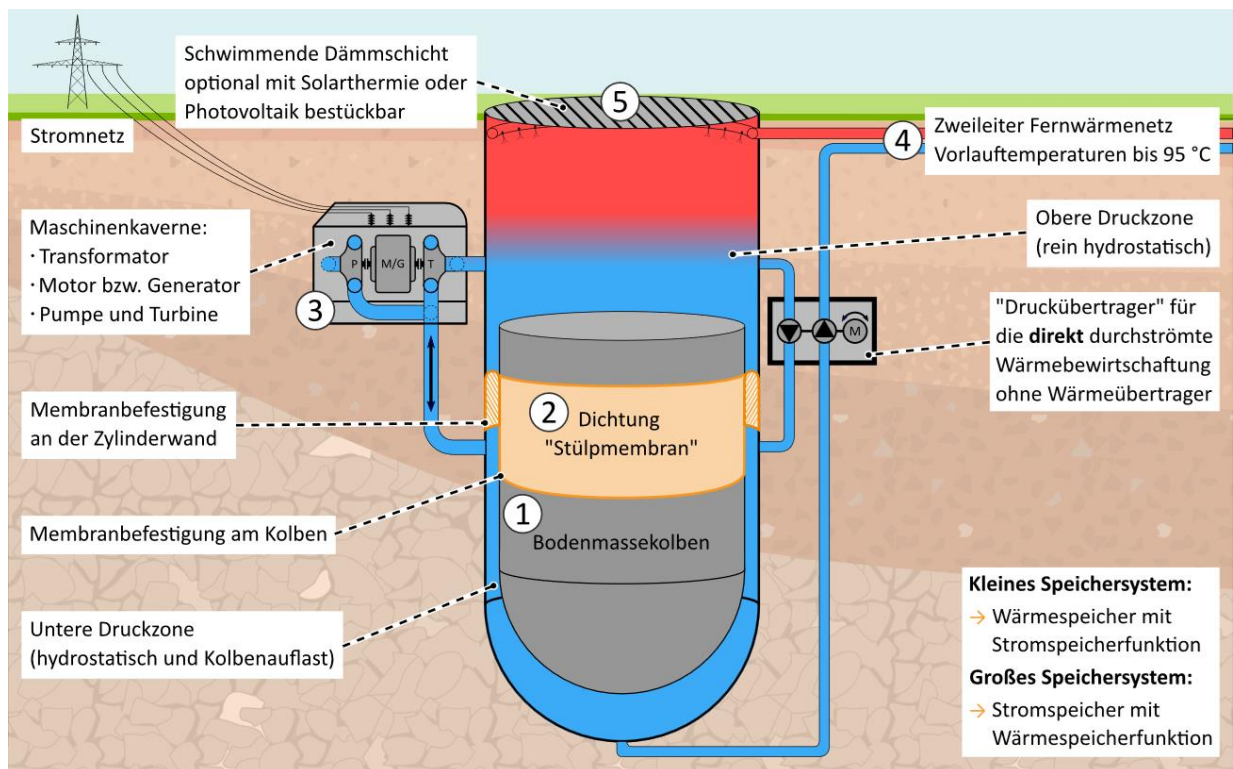


Abbildung 2.1 Aufbau des Stülpmembranspeichers [7]

2.1 Der Stülpmembranspeicher als Stromspeicher

Zur Stromspeicherung wird elektrische Energie verwendet, um eine Pumpe anzutreiben, die das Wasser von der oberen Druckzone in die untere Druckzone befördert. Dadurch steigt der Kolben an und die elektrische Energie wird in potentielle Energie gespeichert. Beim Entladen sinkt der Kolben ab und das Wasser strömt durch eine Turbine zurück in die obere Druckzone,

wodurch ein Generator angetrieben wird. Demzufolge ist eine Pumpe notwendig, um das Wasser zu befördern und dabei einen Druck zu erzeugen, der das Gleichgewicht des Kolbens aufrechterhält. Darüber hinaus ist ein weiteres Aggregat erforderlich, das diesen Druck abbaut, um die gespeicherte potentielle Energie in elektrische Energie umzuwandeln. Diese Aggregate sind in der Abbildung 2.1 innerhalb der Maschinenkaverne ③ dargestellt.

2.2 Der Stülpmembranspeicher als Wärmespeicher

Das Wasser, welches den Kolben umgibt, wird zur Wärmespeicherung eingesetzt. Zur Aufladung des Wärmespeichers wird an der oberen Seite des Speichers warmes Wasser eingeleitet und an der Unterseite die gleiche Wassermenge entnommen. Aufgrund der Dichteunterschiede ordnet sich das warme Wasser in der oberen Schicht, während kaltes Wasser in der unteren Schicht verbleibt. Der Speicher weist aufgrund der Abtriebskraft des Kolbens einen Drucksprung über die Stülpmembran auf. Diese Druckdifferenz muss während des Betriebs des Wärmespeichers überwunden werden, ohne dabei die Position des Kolbens zu verändern. Diese Aufgabe wird von dem "Druckübertrager" übernommen. Hierbei ist eine Pumpe vorgesehen, die die gleiche eingespeiste Wassermenge, von der oberen Druckzone in die untere Druckzone befördert. Diese Wassermenge strömt wiederum aus der unteren Druckzone in das Wärmenetz durch ein weiteres Aggregat, wodurch der Druck abgebaut werden kann. Dabei kann theoretisch genau so viel Leistung in Mechanische umgewandelt werden, wie die Pumpe benötigt. Bei der Wärmeentnahme wird die Durchströmungsrichtung umgedreht.

3 Aufgabenstellung

Bislang wurde kein Stülpmembranspeicher gebaut. Um einen ersten Schritt in diese Technologie zu unternehmen, wird in der Stadt Haßfurt die Errichtung eines Demonstrators in kleinem Maßstab angestrebt, der die Machbarkeit und Funktionalität des Systems nachweisen soll. Ziel dieser Arbeit ist es, die verfügbare Leistung zur Speicheraufladung sowie die erforderliche Entladeleistung zu ermitteln. Darauf basierend wird eine Untersuchung durchgeführt, um letztlich die am besten geeignete Art der Pumpspeicheraggregate für diesen Speicher auszuwählen.

Der geplante Demonstrator (Abbildung 3.1) soll folgende Abmessungen aufweisen: eine Zylindertiefe von 20 Metern und einen Kolbendurchmesser von 10 Metern bei einer Höhe von 10 Metern.

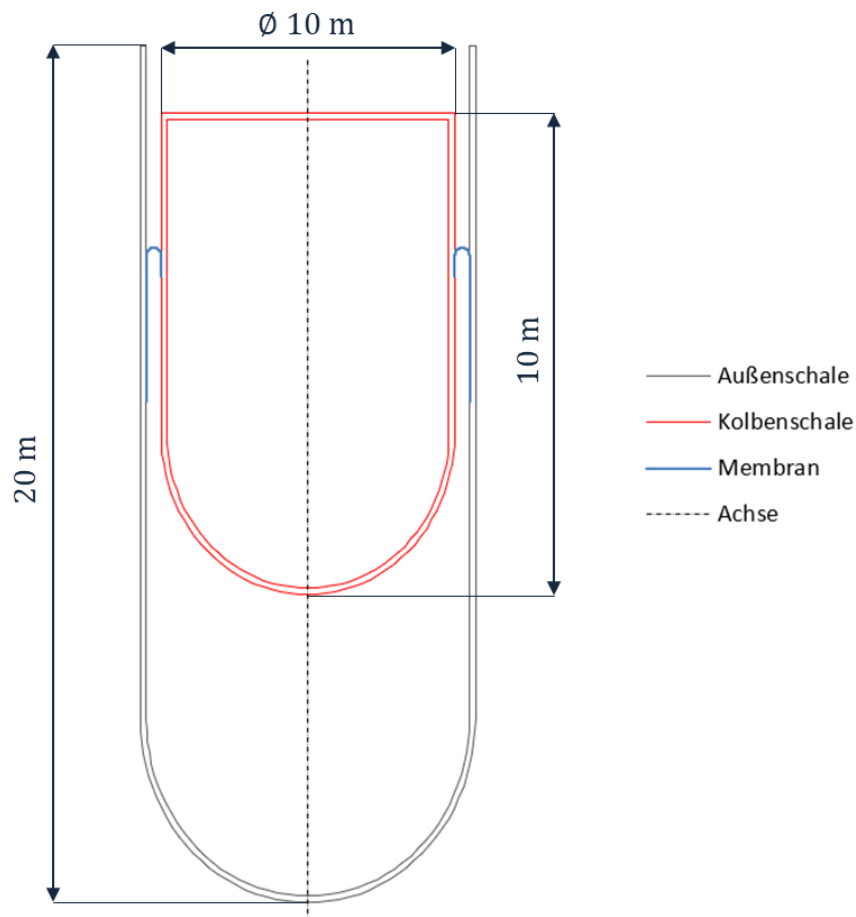


Abbildung 3.1 Dimensionen des Demonstrators

4 Die Hydraulik des Systems

In diesem Abschnitt werden die relevanten theoretischen Grundlagen und Zusammenhänge für die Bestimmung der physikalischen Kenngrößen des Speichers erläutert. Hierbei wird die Druckverteilung im Speicher sowie die theoretische Speicherkapazität und Speicherleistung anhand der gegebenen Speichergeometrie ermittelt.

4.1 Druckverteilung

Die Druckverteilung im Speicher wird zunächst beschrieben und in der Abbildung 4.1 veranschaulicht. Von der Wasseroberfläche bis zu der Stülpmembran herrscht der statische Druck. Dieser Druck nimmt mit der Tiefe linear zu und lässt sich mit der folgenden Gleichung bestimmen.

$$p_{(z)} = p_0 + \rho * g * z \quad \text{bzw.} \quad p_{rel.} = p_{(z)} - p_0 = \rho * g * z$$

mit $p_{(z)}$: Druck in der Tiefe z
 p_0 : Umgebungsdruck
 $p_{rel.}$: relativ Druck
 ρ : Dichte des Mediums
 g : Erdbeschleunigung
 z : Tiefe

An der Stülpmembran ist ein Drucksprung vorhanden, welcher erforderlich ist, um den Kolben in Gleichgewicht zu halten. Dieser Drucksprung wandert mit der Stülpmembran in Abhängigkeit der Position des Kolbens. Ab der Stülpmembran nimmt der Druck wieder linear zu.

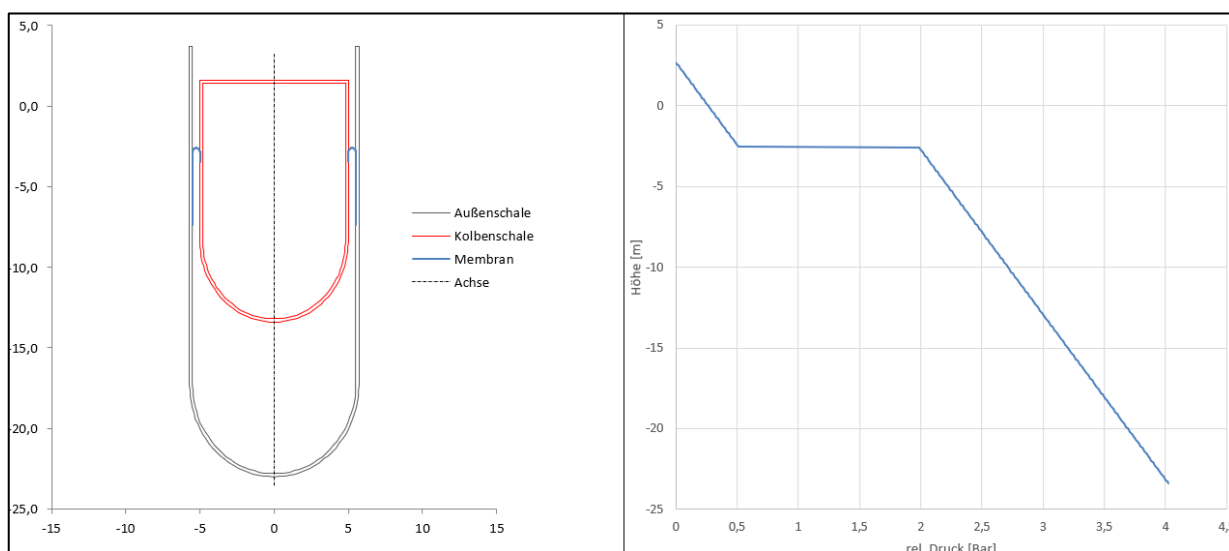


Abbildung 4.1 Druckverteilung im System

Für die Auslegung der Pumpspeicheraggregate ist der Drucksprung an der Stülpmembran von großer Relevanz. Für die Bestimmung dieses Drucksprungs wird im nächsten Schritt die resultierende Kraft bzw. die Kolbenabtriebskraft, die von dem Kolben senkrecht nach unten

wirkt, berechnet. Diese Kraft wird durch den wirkenden Druck im unteren Druckniveau ausgeglichen und stellt sicher, dass der Kolben im Gleichgewicht bleibt.

Die Abtriebskraft des Kolbens wird wie folgt berechnet.

$$F_A = F_{G,Kolben} - F_{G,Wasser} = V_{Kolben} * (\rho_{Kolben} - \rho_{Wasser}) * g$$

wobei F_A : Kolbenabtriebskraft

$$F_{G,Kolben}: \text{Aufdruckkraft } (F_{G,Kolben} = V_{Kolben} * \rho_{Kolben} * g)$$

$$F_{G,Wasser}: \text{Auftriebskraft } (F_{G,Wasser} = V_{Kolben} * \rho_{Wasser} * g)$$

$$V_{Kolben}: \text{Volumen des Kolbens } (V_{Kolben} = \frac{\pi}{4} * DK^2 * zKH)$$

Die obenstehende Gleichung kann auch auf alternative Weise formuliert werden.

$$F_A = \Delta p * A$$

Dabei ist Δp der unmittelbare Differenzdruck an der Stülpmembran und A die wirksame Fläche für die Kraft, die entgegen der Kolbenabtriebskraft wirkt.

Für die gegebenen Geometrie des Speichers ergeben sich die folgenden Werte:

$$V_{Kolben} = \frac{\pi}{4} * DK^2 * zKH = \frac{\pi}{4} * 10^2 * 10 = 785,4 \text{ m}^3$$

$$F_A = F_{G,Kolben} - F_{G,Wasser} = V_{Kolben} * (\rho_{Kolben} - \rho_{Wasser}) * g$$

$$F_A = 785,4 \text{ m}^3 * (2500 - 997) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 11,58 \text{ MN}$$

Die Kolbendichte ρ_{Kolben} wird mit $\rho_{Kolben} = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ angenommen. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Kolben zu 80 % aus Lehm, zu 15 % aus Beton und zu 5 % aus Stahl besteht. Die Dichte von Wasser beträgt $\rho_{Wasser} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und gilt bei einer Temperatur von etwa 25 °C unter normalem Umgebungsdruck.

Somit beträgt der erforderliche Differenzdruck $\Delta p = \frac{F_A}{A_{kolben}} = \frac{11,58 \text{ MN}}{78,54 \text{ m}^2} = 1,47 \text{ bar}$.

Da sich dieser Speicher in der Entwicklungsphase befindet, können sich Werte wie die Dichte des Kolbens und die Dichte des Wassers noch in einem gewissen Bereich variieren. Daher soll in diesem Abschnitt die Vorgehensweise erläutert werden, wobei die berechneten Werte als Beispiele dienen. Die endgültigen Werte werden im Verlauf der gesamten Entwicklungs- und Konzeptionsphase durch Iterationsschritte festgelegt. Dies gilt auch für die nachfolgende Betrachtung der Speicherkapazität und Leistung des Speichers.

4.2 Speicherkapazität und -leistung

Im Folgendem wird die theoretische Speicherkapazität und Speicherleistung ermittelt. Dabei wird unterschieden zwischen der elektrischen und der thermischen Speicherkapazität.

4.2.1 Elektrische Speicherkapazität

Die im Kolben gespeicherte potentielle Energie E_{pot} kann in Strom umgewandelt werden. Allgemein lässt sich die potentielle Energie mit der folgenden Gleichung berechnen.

$$E_{pot} = m * g * \Delta h = F_A * \Delta h$$

wobei Δh : Höhenunterschied

F_A : Kolbenabtriebskraft

Die maximale elektrische Speicherkapazität von dem Demonstrator beträgt somit 32,17 kWh. Wenn diese Energiemenge über einen Zeitraum von 1 Tag abgerufen wird, ergibt sich eine durchschnittliche Leistung von 1,34 kW. Im Vergleich dazu, liegt der durchschnittliche jährliche Stromverbrauch einer Person bei etwa 150 W [8]. Was bedeutet, dass dieser Demonstrator den Strombedarf von ungefähr 8 Haushalten bzw. Personen über 1 Tag decken kann.

Die Speicherkapazität ist relativ gering, weil es sich eben um einen Demonstrator handelt. Mit der Größe steigt aber die Kapazität des Speichers mit der 4 Potenz an. In anderen Worten führt der Bau eines doppelt so großen Speichers zu einer ver-16-Fachung der Kapazität.

4.2.2 Thermische Speicherkapazität

Für die Wärmespeicherung steht das Innenvolumen des Speichers zur Verfügung. Dieser Speicher kann sowohl im Niedertemperaturbereich betrieben werden als auch bei hohen Temperaturniveaus. Daher hängt die Kapazität von den Betriebsparametern ab, und es gilt festzuhalten, dass die thermische Speicherkapazität ebenfalls mit zunehmender Größe des Speichers steigt.

5 Speicherladeleistung und Speicherentladeleistung

Für die Auslegung der Pumpspeicheraggregate ist es entscheidend zu wissen, welche Speicherladeleistung zur Verfügung steht und welche Entladeleistung benötigt wird. In diesem Abschnitt werden diese beiden Leistungen anhand einer Analyse, die auf realen Daten basiert, ermittelt. Diese Analyse wurde von Herrn Jonas Doll durchgeführt und in seiner Arbeit "Auslegung einer regenerativen Stromversorgung inklusive eines Stülpmembranspeichers anhand der Stadt Haßfurt" veröffentlicht [9]. In der Arbeit wurde der Energieverbrauch sowie die Energieerzeugung aus Wind, Sonne und Blockheizkraftwerken (BHKW) der Stadt Haßfurt im Zeitraum vom 1. Oktober 2015 bis zum 30. September 2022 analysiert. Es wird zunächst zwischen der Strom- und Wärmebewirtschaftung unterschieden.

5.1 Strombewirtschaftung

Im vorliegenden Diagramm (Abbildung 5.1) ist die Residualleistung, im Zeitraum vom 01.10.2015 bis zum 30.09.2022, in Prozent dargestellt¹. Die Residualleistung repräsentiert das verbleibende Umwandlungsvermögen von Wind, Sonne und BHKW abzüglich des Verbrauchs. Bei einem Wert von 0 % entspricht das Umwandlungsvermögen genau dem Verbrauch. Überall dort, wo die Leistung über 0 % liegt, gibt es Überschüsse, die zur Aufladung von Speichern genutzt werden können. In einigen Fällen werden sogar Leistungen von über 400 % erreicht, was bedeutet, dass viermal so viel Energie aus Wind, Sonne und BHKW in elektrische Energie umgewandelt wird, wie tatsächlich verbraucht wird. Die grüne Linie repräsentiert ebenfalls die Residualleistung, jedoch nicht in chronologischer Reihenfolge, sondern von höchstem zu niedrigstem Wert geordnet.

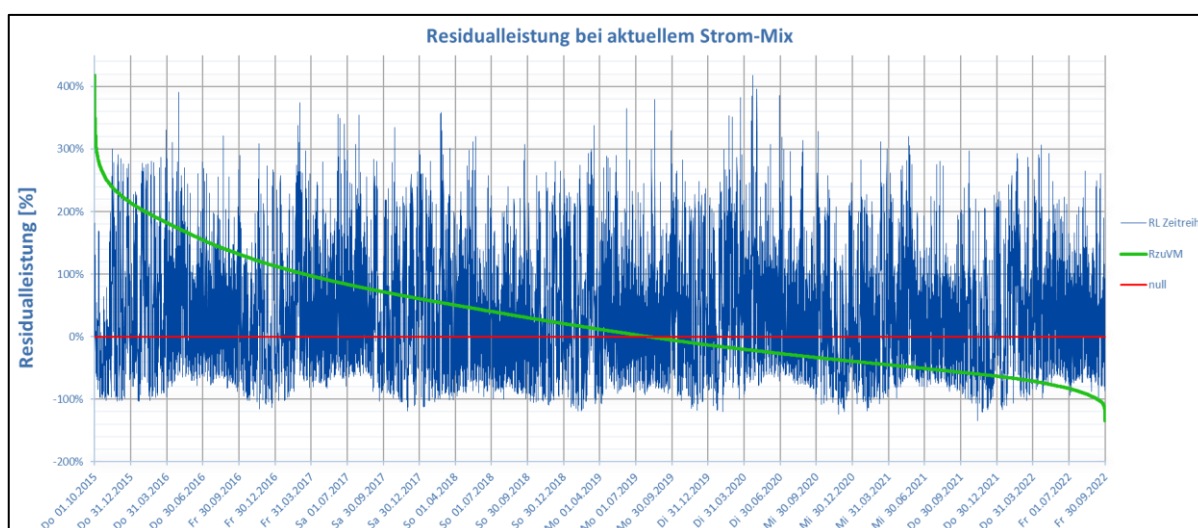


Abbildung 5.1 Residualleistung bei aktuellem Strom-mix der Stadt Haßfurt [9].

¹ Die Leistungsangaben beziehen sich auf den Langzeit-Durchschnittsverbrauch, wobei 100 % genau diesem Langzeit-Durchschnitt entsprechen.

Im nachfolgenden Diagramm (Abbildung 5.2) wird eine Speicherladeleistung bei 200 % eingesetzt, was bedeutet, dass Leistungsspitzen, die über 200 % liegen, bei der Festlegung der Speicherladeleistung nicht berücksichtigt werden. Dies geschieht aus dem Grund, dass solche Überschüsse, wie im Diagramm ersichtlich ist, nur über einen relativ kurzen Zeitraum im Vergleich zum Gesamtzeitraum auftreten. Eine Erhöhung der Speicherladeleistung würde daher zu einer Überdimensionierung der Aggregate führen. Des Weiteren lässt sich aus dem Diagramm die Speicherentnahmeleistung bei der größten Defizitleistung, die etwa 135 % beträgt, ablesen. Das entspricht, bezogen auf die durchschnittliche Leistung des Demonstrators, einer Speicherladeleistung von 2,68 kW und einer Speicherentladeleistung von 1,8 kW. Um das konkreter darzustellen, bedeutet dies, dass eine Pumpe mit einer Leistung von 2,68 kW und eine Turbine oder ein Hydraulikmotor mit einer Leistung von 1,8 kW benötigt werden.

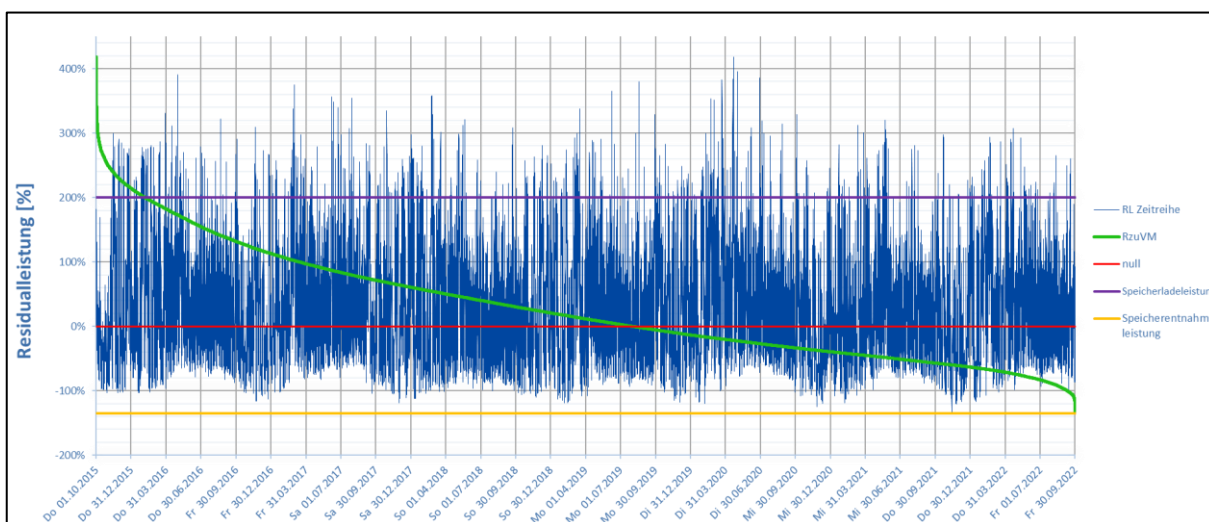


Abbildung 5.2 Speicherladeleistung und Speicherentnahmeleistung

Ebenfalls aus dem Diagramm ersichtlich ist der ständige Wechsel der Residualleistung zwischen der Speicherladeleistung (violette Linie) und der Speicherentladeleistung (gelbe Linie). Diese schwankende Leistung weist darauf, dass die Volumenströme starken Schwankungen unterliegen und die Betriebsweise erheblich variiert.

5.2 Wärmebewirtschaftung

Auch bei der Wärmebewirtschaftung ist der Fall ähnlich wie beim Strom. Wie in der Abbildung 5.3 dargestellt, zeigt die Einspeisung der Solarleistung im Winter eine geringere Dauer und Leistung, während sie im Sommer länger und stärker ausfällt. Zudem variiert die Leistung zwischen Tag und Nacht. Für die Auslegung der Pumpen ist von entscheidender Bedeutung, dass diese Solarleistung zur Aufladung des Speichers genutzt wird. Daher sind die Anforderungen an die Pumpspeicheraggregate eine flexible Betriebsweise zu ermöglichen.

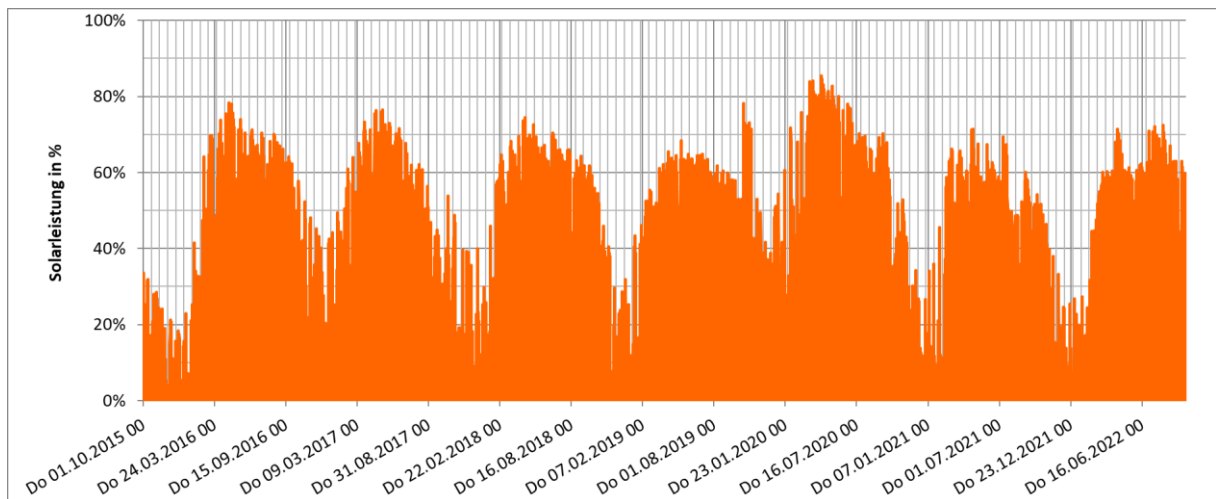


Abbildung 5.3 Änderung der Solarleistung in Abhängigkeit der Zeit [9]

Herr Peter Müller-Leimbach behandelt in seiner Arbeit "Auslegung & Betrachtung der Wirtschaftlichkeit eines Solarkollektorfeldes und einer Wärmedämmung für den Stülpmembranspeicher" das Thema Wärmespeicherung ausführlicher [5]. Aus seiner Untersuchung hat sich ein maximaler Volumenstrom von $3,86 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ für die Aufladung des Demonstrators ergeben.

6 Auswahl der Pumpspeicheraggregate

Aus den vorherigen Kapiteln ist es bekannt, welche Aggregate für den Stülpmembranspeicher benötigt werden und welche Funktionen sie erfüllen müssen. Zudem wurde im Kapitel 5 festgestellt, dass die Leistungen erheblich schwanken. Mit diesen Kenntnissen erfolgt in diesem Abschnitt die Auswahl der geeigneten Typen der Aggregate.

In der Abbildung 6.1 ist der Pumpwirkungsgrad der verschiedenen Fluidmaschinen in Abhängigkeit der spezifischen Drehzahl dargestellt. Mithilfe dieses Diagramms können sämtliche Fluidmaschinen in Bezug auf ihren Wirkungsgrad miteinander verglichen werden. Auf der rechten Seite sind die Strömungsmaschinen verzeichnet, während auf der linken Seite die Verdrängermaschinen aufgeführt sind.

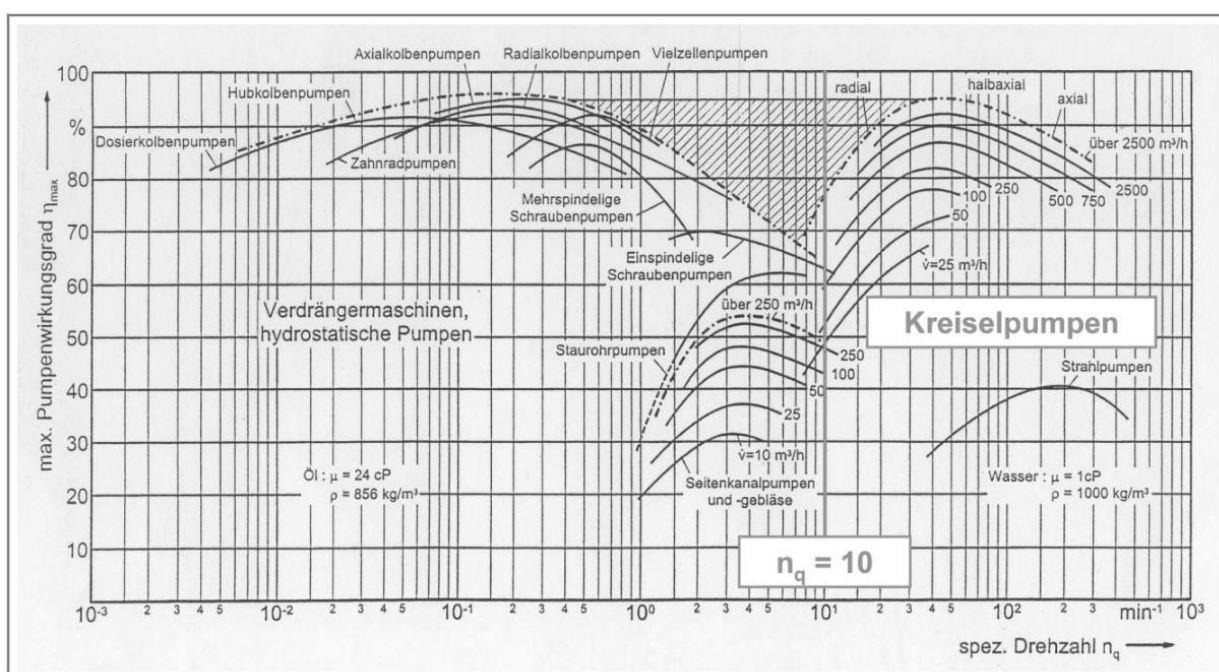


Abbildung 6.1 optimale Wirkungsgrade verschiedener Pumpentypen [10]

Wie bereits erwähnt, schwanken die Volumenströme sowohl bei der Strombewirtschaftung als auch bei der Wärmebewirtschaftung stark, wobei teilweise sehr geringe Volumenströme gefördert werden müssen. Strömungsmaschinen weisen einen guten Wirkungsgrad nur in einem begrenzten Drehzahlbereich auf. Aus der Kurve geht hervor, dass der Wirkungsgrad von Strömungsmaschinen abnimmt, je geringer die Volumenströme werden. Daher arbeiten Strömungsmaschinen in kleinen Leistungsbereichen ineffizient und sind für solche Anwendungen weniger geeignet.

Im Gegensatz dazu können Verdrängermaschinen diese ständig schwankende Volumenströme folgen. Sie liefern bei einer festgelegten Drehzahl unabhängig vom

Ausgangsdruck einen konstanten Durchfluss. Aus diesem Grund eignen sich Verdrängermaschinen besser für diesen Anwendungsfall.

Zu den Verdrängermaschinen gehören unter anderem Hubkolbenpumpen, Zahnradpumpen, Schraubenpumpen, Radialkolbenpumpen und Axialkolbenpumpen. In diesem Zusammenhang erweisen sich die Axialkolbenmaschinen als besonders geeignet, da sie, wie in Abbildung 6.2 ersichtlich, höhere Wirkungsgrade aufweisen. Ein zusätzlicher Vorteil von Axialkolbenmaschinen, insbesondere die Schrägachsen-Axialkolbenmaschinen, liegt darin, dass der Durchfluss unabhängig von der Drehzahl eingestellt werden kann. Durch eine mechanische Verstellung einer Scheibe innerhalb der Maschine kann die Fördermenge und Förderrichtung eingestellt und variiert werden. Ein Wechsel zwischen Pumpe und Motor kann ohne Ladewechselzeit erfolgen, was bedeutet, dass kein Warten erforderlich ist, wenn zwischen den Betriebsmodi umgeschaltet wird.

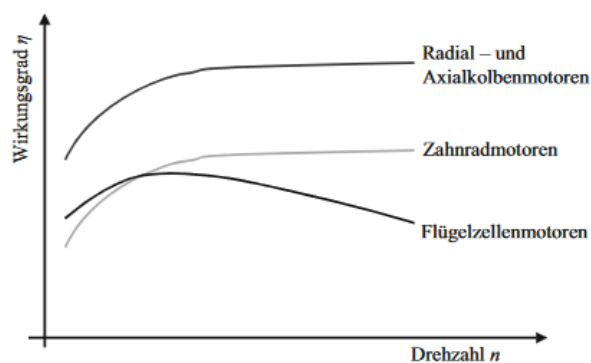


Abbildung 6.2 Wirkungsgrad von Hydraulikmotoren in Abhängigkeit der Drehzahl [11]

Seit den 1950er Jahren sind Axialkolbenpumpen in ölhydraulischen Systemen im Einsatz, weshalb die Mehrheit der auf dem Markt verfügbaren Verdrängermaschinen ausschließlich mit Öl betrieben werden. In den späten 1980er Jahren hat die Firma Danfoss dieses Pumpenprinzip erfolgreich für den Einsatz mit Wasser als Druckmedium angepasst und dabei sogar eine vergleichbare Lebensdauer wie bei herkömmlichen ölhydraulischen Pumpen erreicht. Die APP und PAH Pumpen von Danfoss Nessie basieren auf dem Konzept der Verdränger-Axialkolbenpumpe und zeichnen sich durch ihre Wartungsfreiheit, Energieeffizienz und ölfreie Arbeitsweise aus. Große Modelle, gemäß den Angaben des Herstellers, erreichen Wirkungsgrade von bis zu 95 %. [12]

Im Portfolio von Danfoss findet sich keine passende Maschine für den niedrigen Leistungsbereich des Demonstrators. Die Verwendung der angebotenen Pumpen wäre hingegen für einen größeren Stülpmembranspeicher unproblematisch. Dennoch schließt dies nicht aus, dass durch eine Kommunikation mit dem Unternehmen Lösungen gefunden werden

könnten. Im Rahmen dieser Arbeit ist auch die Verfügbarkeit von Axialkolbenmaschinen, die Wasser als Arbeitsmedium verwenden, bei anderen Herstellern nicht überprüft worden.

7 Fazit

Saisonale Energiespeicher spielen eine entscheidende Rolle bei der Maximierung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen und tragen dazu bei, die Klimaziele zu erreichen. Eine bemerkenswerte technische Innovation in diesem Bereich ist der Stülpmembranspeicher, der sowohl als Strom- als auch als Wärmespeicher fungiert.

Das Thema, das in dieser Arbeit behandelt wird, betrifft die Auswahl geeigneter Pumpspeicheraggregate für einen Stülpmembranspeicher, der als Demonstrator in der Stadt Haßfurt realisiert werden soll. Die Datenanalyse ergab, dass, aufgrund der ständig wechselnden Restleistung, Verdrängermaschinen besser geeignet als Strömungsmaschinen sind. Insbesondere zeichnen sich Axialkolbenmaschinen durch ihre hohe Flexibilität und ihren überlegenen Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen Verdrängermaschinen aus.

Damit der Ausstieg aus konventionellen Energien gelingt, ist es notwendig, die konventionelle Denkweise zu überwinden, ohne dabei die wertvollen Erkenntnisse zu vernachlässigen, die die Menschheit in den vergangenen Jahren gewonnen hat. Dies erfordert die Bereitschaft, neue Ansätze zu erkunden und die Entwicklung sowie Förderung innovativer Technologien voranzutreiben.

Literaturverzeichnis

- [1] A. Wolf, „Tief- und Hochbauarbeiten für einen Stülpmembranspeicher-Demonstrator,“ 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34646/thn/ohmdok-1242>.
- [2] J. Schmitt, „Platzierung und Einbau der Aggregate, Rohrleitungen und Strömungsführungen am Stülpmembranspeicher Demonstrator-System,“ 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34646/thn/ohmdok-1243>.
- [3] F. Lampe, „Herstellung der Stülpmembran eines Stülpmembranspeichers,“ 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34646/thn/ohmdok-1244>.
- [4] N. Neubauer, „Einbau und Befestigung der Stülpmembran eines Stülpmembranspeichers,“ 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34646/thn/ohmdok-1246>.
- [5] P. Müller-Leimbach, „Auslegung & Betrachtung der Wirtschaftlichkeit eines Solarkollektorfeldes und einer Wärmedämmung für den Stülpmembranspeicher,“ 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34646/thn/ohmdok-1247>.
- [6] M. Popp, „Stülpmembranspeicher,“ 22 02 2014. [Online]. Available: <http://www.poppware.de/Stuelpmembranspeicher/index.htm>. [Zugriff am 10 08 2023].
- [7] D. Häuslein, „Projektentwurf: GeoMem,“ [Online]. Available: <https://www.th-nuernberg.de/einrichtungen-gesamt/wissenschaftliche-und-forschungskooperationen/nuremberg-campus-of-technology/automatisierungstechnik/projekte/projektentwurf-geomem/aufbau-und-funktion/>. [Zugriff am 25 06 2023].

- [8] GASAG AG, „So viel Strom verbraucht 1 Person,“ 04 10 2022. [Online]. Available: <https://www.gasag.de/magazin/neudenken/stromverbrauch-ein-personen-haushalt>. [Zugriff am 18 09 2023].
- [9] J. Doll, „Auslegung einer regenerativen Stromversorgung inklusive eines Stülpmembranspeicher anhand der Stadt Haßfurt,“ Nürnberg, 2023.
- [10] H. Jaberg, „Auslegung von Pumpen für zähe oder feststoffhaltige Medien,“ Wiley-VCH Verlag , Weinheim, 2008.
- [11] H. Watter, Hydraulik und Pneumatik, Springer Vieweg, 2017.
- [12] KEM Konstruktion, „Wasser ersetzt Öl,“ 17 09 2005. [Online]. Available: <https://kem.industrie.de/hydraulik/wasser-ersetzt-oel/>. [Zugriff am 22 06 2023].