



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEORG SIMON OHM

Projektarbeit

Gefahrenanalyse

Projekttitlel:

Analyse von Gefahrenpotentialen, denkbaren Havarie-Szenarien und ökologischen Auswirkungen von Stülpmembranspeichern

Akronym: Gefahrenanalyse

Themenfeld: Energiespeicherung, Risikoanalyse

Projektbearbeiter: Susanne Noack

Herrnscheidstr. 39

90480 Nürnberg

Susanne.noack88@gmail.com

0178/8042416

Matrikelnummer: 2181209

Korrektur: Sebastian Streit

Unterschrift: -----

Inhalt

I.	Abbildungsverzeichnis	3
II.	Tabellenverzeichnis.....	4
1.	Einleitung	5
2.	Stand der Technik	8
3.	Gefährdungsbereiche.....	9
3.1	Reißen der Stülpmembran	9
3.2	Brechen des Erdwalls.....	11
3.3	Innerer Zylinder gerät in Schiefelage	13
3.4	Verunreinigung des Grundwassers	14
3.5	Wärmespeicher beeinflusst Temperaturniveau.....	15
3.6	Bau und Bodeninjektionen verunreinigen Grundwasser	15
4.	Gefahrenanalyse	16
5.	Havarieszenarien	20
6.	Ökologische Auswirkungen	22
7.	Schutzmaßnahmen.....	23
8.	Auswertung der Gefährdung.....	24
9.	Zusammenfassung und Ausblick	25
III.	Anhang	26

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsskizze des Stülpmembranspeichers.	Susanne Noack
Abbildung 2: Reißen der Stülpmembran.	Susanne Noack
Abbildung 3: Aufbau Sicherheitsmembran.	Susanne Noack
Abbildung 4: Brechen des Erdwalls.	Susanne Noack
Abbildung 5: Vorgabewerte.	Susanne Noack
Abbildung 6: Innerer Zylinder gerät in Schiefelage.	Susanne Noack
Abbildung 7: Verunreinigung des Grundwassers.	Susanne Noack

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung in eine Auswirkungsskala (DIN EN 62198).

Tabelle 2: Einteilung in einer Wahrscheinlichkeitstabelle (DIN EN 62198).

Tabelle 3: Matrix zur Ermittlung des Risikoniveaus (DIN EN 62198).

Tabelle 4: Matrix ausgewertet für den Stülpmembranspeicher (DIN EN 62198).

1. Einleitung

Der Anteil an erneuerbaren Energien am Bruttostrom soll in Deutschland auf 40 bis 45 Prozent bis zum Jahre 2025 (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz) erhöht werden. Die Sonne scheint in Deutschland nur 1680 Stunden im Jahr (Fox, Sonnenkollektoren), mit einer ausreichenden Intensivität, um Photovoltaikanlagen betreiben zu können. Windräder können bei Flaute keinen Strom generieren und müssen bei zu starkem Wind abgeschaltet werden. Da Strom aus erneuerbaren Energieträgern selten dann produziert wird, wann er benötigt wird, ist eine Erforschung an neuen Speichertechnologien notwendig.

Diese Projektarbeit befasst sich mit der Gefahrenanalyse eines neuartigen Speicherkonzeptes, dem Stülpmembranspeicher (Abbildung 1). Der Aufbau besteht aus einem unterirdischen Pumpspeicher, der ins Erdinnere gebaut wird. Ein Ringspalt wird spiralförmig um einen zylindrischen Kolben ausgehoben. Im oberen Bereich dieses freigeschnittenen Zylinders wird außerdem Erdmaterial abgetragen, um den Hubweg des Erdkolbens freizulegen. Ein wichtiger Bestandteil dieses Stülpmembranspeichers ist eine spezielle Stülpmembran, diese besteht aus einem Gummi mit Stahlseil als Verstärkung. Sie wird mittig im inneren des Äußeren Zylinders auf der einen Seite und außen oben am inneren Zylinder befestigt. Dies ermöglicht eine flexible Auf- und Ab- Bewegung des inneren Gesteinszylinders und eine wasserdichte Abtrennung von zwei Bereichen. Im Betriebszustand werden zwei Wasserreservoirs oberhalb und unterhalb des Kolbens durch diese Membran wasserdicht voneinander getrennt. Zudem werden eine Pumpe und eine Turbine für den Betrieb des Speichersystems benötigt. Das abgetragene Gestein wird verfestigt und oberhalb des Erdreichs wird daraus ein Erdwall errichtet.

Besteht Stromüberfluss wird Wasser aus dem oberen Wasserbecken in das untere gepumpt und der Kolben hebt sich und zugleich hebt sich das Energieniveau, somit wird Energie eingespeichert. Besteht im Gegenzug Strombedarf, strömt durch den aufgebauten Unterdruck das Wasser vom Unterbecken durch eine Turbine, die wiederum einen

Generator antreibt, der kinetische Energie in Strom umwandelt. Durch eine Leitung strömt dieses Wasser wieder in den oberen Behälter.

Außerdem ist durch das Anbringen von Wärmeübertragern an den äußeren Zylinder eine energetische Nutzung als Wärmespeicher möglich. Auf dem Erdwall können zudem noch Photovoltaikmodule installiert werden.

Ein großer Vorteil dieser Art von Speicher ist eine sehr gute Flächennutzung, die aus der Mehrfachnutzung resultiert. Die Stülpmembran ermöglicht eine sehr reibungsarme Bewegung des Kolbens, was sich in einem relativ guten Wirkungsgrad widerspiegelt. Durch die unterirdische Bauweise fügt es sich gut in das Landschaftsbild ein.

Ziel dieser Arbeit ist es eine Gefahrenanalyse für diesen noch neuen Stülpmembranspeichers durchzuführen, es sollen Schwachstellen aufgedeckt werden. Zudem werden Havarieszenarien durchgespielt. Außerdem sollen mögliche ökologische Auswirkungen betrachtet werden. Es werden Schutzmaßnahmen bei einer möglichen Gefährdung dargestellt. Die Gefahren werden analysiert und bewertet.

Diese Arbeit ist für eine breite Öffentlichkeit interessant, da mit solch einem Speicherkonzept die Energiewende vollzogen werden kann. Es ist von Interesse, das solch ein Speicher mit möglichst geringen Risiken verbunden ist, darum ist sie als Grundlage für Schutzmaßnahmen interessant.

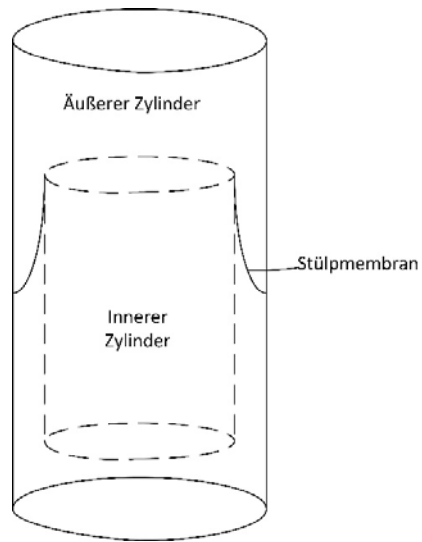


Abbildung 1: Funktionskizze des Stülpmembranreservoirs.

2. Stand der Technik

Es gibt bereits Vorüberlegungen von Prof. Popp die auf seiner Homepage veröffentlicht wurden. Des Weiteren gibt es bereits Bachelorarbeiten zur Berechnung der Festigkeit der Stülpmembran und Kostenrechnungen.

Es existiert eine Patentanmeldung eines Speicherkraftwerkes von Bernhard Miller (WO2014037352 A2 Speicherkraftwerk, Bernhard Miller), welches einen zylindrischen Schacht mit vertikaler Längsachse und Ringspalt und Kolben. Der Unterschied zum Stülpmembranspeicher ist, dass die Abdichtung der zwei Wasserbereichen nicht über eine Stülpmembran erfolgt sondern über eine Ringdichtung.

3. Gefährdungsbereiche

3.1 Reißen der Stülpmembran

Durch ständige Auf- und Ab-Bewegungen des inneren Gesteinskolbens bei Be- und Entladen des Speichers kann es schlussendlich zur Ermüdung der Stülpmembran (Abbildung 2), eine Art Gummi mit Eisenarmierung, kommen und im ungünstigsten Fall kann dies zum Reißen dieser Membran führen.

Dies kann schlimmstenfalls zum ruckartigen Absinken des Kolbens führen. Da der Kolben ein enormes Gewicht aufweist, wird es nach einem Störfall sehr schwierig sein, ihn wieder in seine Ausgangslage zu bringen.

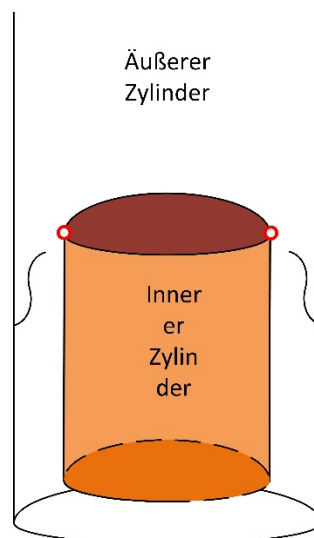


Abbildung 2: Reißen der Stülpmembran.

Bei der Membranpumpe gibt es bereits Lösungskonzepte um eine Zerstörung bzw. Undichtigkeit der Membran detektieren zu können. Für die Anwendung werden eine Arbeitsmembran und eine Sicherheitsmembrane verwendet. Strömt giftiges Gas aus der Arbeitsmembran, wird das Ausströmen durch eine Doppelmembran verhindert (Becker, Membranpumpen mit mechanischem Membranantrieb für Gase). Dieses Verfahren kann in leicht abgewandelter Form für den Stülpmembranspeicher verwendet werden. Der prinzipielle Aufbau kann der Skizze (Abbildung 3). Dafür ist es notwendig zwei Schichten von Förderbändern am Rand dicht zu verbinden. In diesem erzeugten Hohlraum wird ein leicht zu detektierendes Gas bzw. eine Flüssigkeit eingebracht. An der Ober- und Unterseite wird jeweils eine Art Sicherheitsmembran angebracht. Es muss allerdings ein Hohlraum verbleiben. Innerhalb dieser Sicherheitsmembran werden Messsensoren angebracht, die diese Messflüssigkeit bzw. das Messgas detektieren kann. Tritt nun Gas bzw. Flüssigkeit aus dem doppelten Förderband aus und strömt in die Sicherheitsmembran. Wird diese detektiert wird sofort ein Alarm ausgelöst und eine Notabschaltung wird eingeleitet. Es kann zum Beispiel in einen sicheren Betriebszustand gefahren werden.

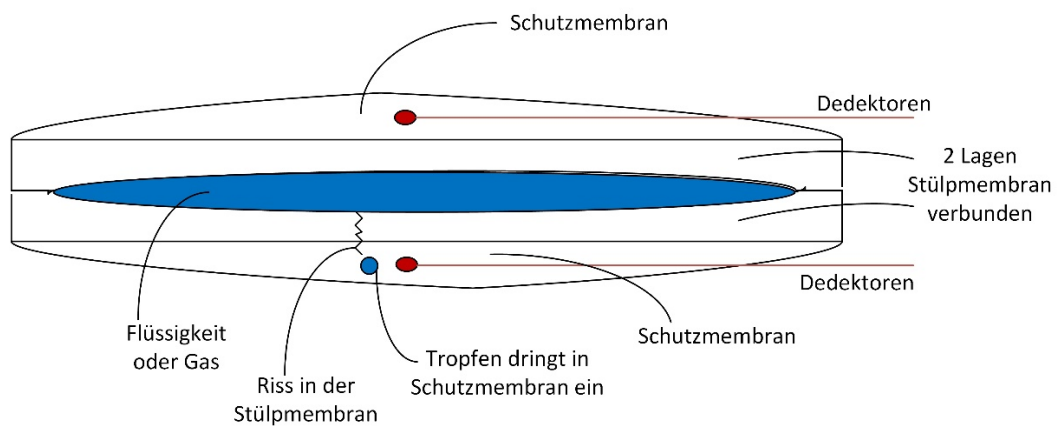


Abbildung 3: Aufbau Sicherheitsmembran.

3.2 Brechen des Erdwalls

Durch den Aushub eines Ringspalt es entsteht ein innerer Gesteinszylinder. Der Ringspalt hat eine Dicke von zirka zwei Metern. Dieser Aushub wird oberhalb des Stülpmembranspeichers als Erdwall angehäuft. Es besteht möglicherweise eine Gefahr durch einen erdrutschartigem herabgleiten dieses Erdwalls (Abbildung 4). Daraus ergeben sich mögliche Gefahren für die anwesenden Häuser. Eine mögliche Schutzmaßnahme ist die Errichtung einer Schutzmauer rund um den Stülpmembranspeicher. Welche Dimensionen müsste solch eine Schutzmauer haben?

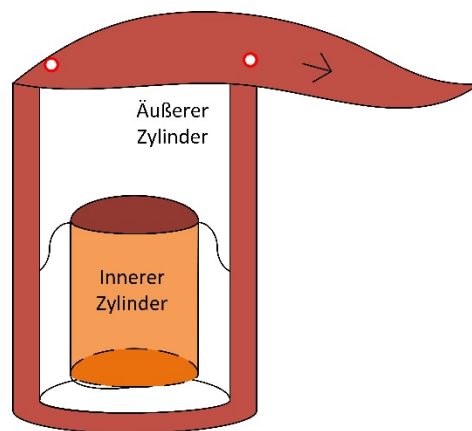


Abbildung 4: Brechen des Erdwalls.

Die Vorgabewerte für die Berechnung (Abbildung 5) sind:

Die Höhe des Zylinders beträgt 430 Meter, die des Kolbens beträgt 215 Meter, der Kolben hat einen Durchmesser von 215 Metern und der Abstand zwischen innerem und äußerem Zylinder beträgt zwei Meter.

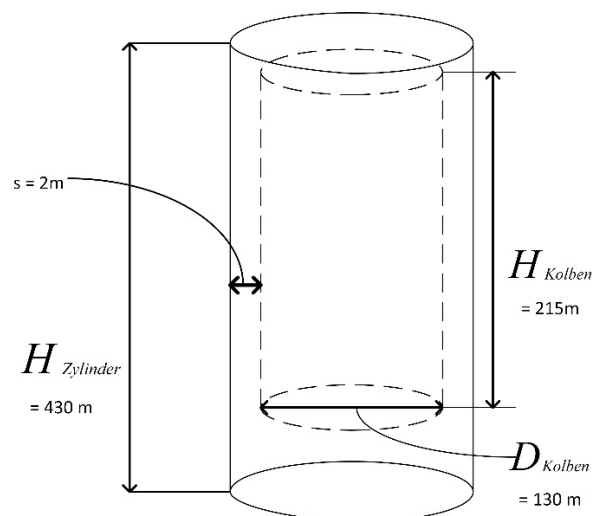


Abbildung 5: Vorgabewerte.

Berechnungen

$$V_{Kolben} = H \cdot \frac{d_i^2}{4} \cdot \pi$$

$$V_{Kolben} = 215m \cdot \pi \cdot \frac{(130m)^2}{4} \cdot \pi = 2853744,23 m^3$$

$$V_{Aushub} = (H_{Zylinder} - H_{Kolben}) \cdot \frac{d_a^2}{4} \cdot \pi + \frac{(d_a^2 - d_i^2)}{4} \cdot \pi \cdot H$$

$$V_{Aushub} = (430 m - 215 m) \cdot \frac{(4 m + 130 m)^2}{4} \cdot \pi + \frac{(134 m)^2 - (130 m)^2}{4} \cdot \pi \cdot 215 m = 3210377,83 m^3$$

$$m_{Kolben} = V_{Kolben} \cdot \rho_{Erdreich}$$

$$m_{Kolben} = 2853744,23 m^3 \cdot 2800 \frac{kg}{m^3} = 7990483835 kg$$

$$m_{Aushub} = V_{Aushub} \cdot \rho_{Erdreich}$$

$$m_{Aushub} = 3210377,83 m^3 \cdot 2800 \frac{kg}{m^3} = 8989057909 kg$$

Das Aufschütten zu einem Ringwall bzw. der Bau einer Mauer würde nur minimal Material verbrauchen.

Die größten Mienenfahrzeuge haben aktuell eine Zuladung von 450 Tonnen. Dies würde bedeuten, dass bei einem Aushub von 8989057909 kg, solch ein riesiges Mienenfahrzeug knapp 200000 Fahren fahren müsste um das Gestein und anderes Material aus der Grube abtransportieren zu können. Die Wirtschaftlichen Risiken sind dabei sehr erheblich. Diese genauer zu analysieren ist nicht Bestandteil dieser Arbeit ist aber im Zuge einer Bachelorarbeit sehr interessant.

3.3 Innerer Zylinder gerät in Schiefelage

Die beiden Bereiche, die mit Wasser gefüllt sind werden durch eine Stülpmembran abgetrennt. Es gibt zwei Betriebszustände beim Stülpmembranspeicher. Bei Energieüberschuss wird Wasser in die untere Kammer gepumpt, bei Strombedarf wird das Wasser des unteren Bereichs durch eine Turbine gelassen, die Strom über einen Generator erzeugt. Bei diesen Vorgängen hebt und senkt sich der Gesteinskolben. Beim Anheben und Ablassen des Kolbens kann es zu einer Verschiebung des Schwerpunktes des Kolbens kommen. Eine mögliche Auswirkung ist ein Kippen des Kolbens (Abbildung 6), der unter Umständen sogar verkeilt. Daraus ergeben sich mögliche Beschädigungen durch Reibungsstellen. Eine mögliche Lösung ist das Anbringen von Führungsschienen, um ein gefahrloses Heben und Senken des Kolbens zu Gewährleisten.



Abbildung 6: Innerer Zylinder gerät in Schiefelage.

3.4 Verunreinigung des Grundwassers

Eine Undichtigkeit der Äußeren Zylinderwand kann möglicherweise durch den ständigen Kontakt der Betonschicht mit Wasser undicht werden, was zu Rissen in der Betonschicht führen kann. Dies ermöglicht es unter Umständen, dass umweltschädigende Stoffe wie Schmierstoffe, Öle von der Pumpturbine in das Grundwasser gelangen und dieses verunreinigen (Abbildung 7). Eine wasserdichte Spezialabdichtung kann ein möglicher Lösungsansatz sein.

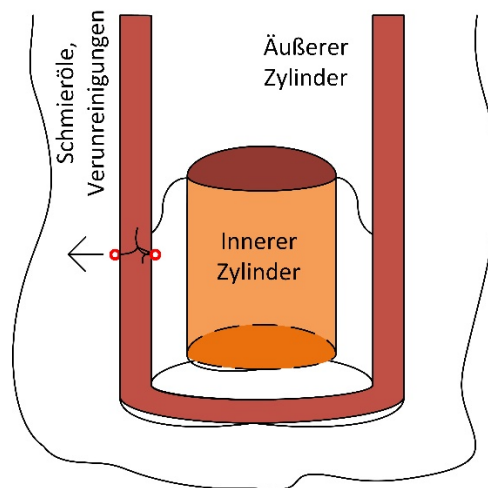


Abbildung 7: Verunreinigung des Grundwassers.

3.5 Wärmespeicher beeinflusst Temperaturniveau

Durch das Anbringen von Wärmeübertragern kann der Stülpmembranspeicher auch als Wärmespeicher genutzt werden. Eventuell kann die Nutzung des Systems als Wärmespeicher das Untergrundtemperaturniveau mit negativen Auswirkungen beeinträchtigen. Dies gilt es zu untersuchen. Die Anbringung einer Wärmeisolierschicht ist ratsam um die Wärme im Behälter konstant halten zu können.

3.6 Bau und Bodeninjektionen verunreinigen Grundwasser

Durch eine mögliche unsachgemäße Anbringung von Bodeninjektionen die das Erdreich stabilisieren sollen, kann es zu Rissen führen die eine Verunreinigung des Grundwassers zur Folge haben kann. Außerdem ist eine genaue Kenntnis des Bodens von Nöten um eine geeignete Auswahl an Injektionsmaterial zu wählen. Da es sich um sehr unterschiedliche Gesteinsschichten handeln kann, ist es denkbar bei ungenauer Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten Fehler bei der Injektion zu generieren.

Von dem Injektionsmittel gehen für den Menschen folgende Gefahren aus: Staub von pulverigen Injektionsmitteln, Dämpfe von flüssigen Injektionsmischungen sowie beim Mischen von Chemikalien die Explosionen verursachen können (DIN EN 12715).

Von dem Injektionsmittel gehen für die Umwelt folgende Gefahren aus: Auslösung von Baugrundbewegungen, Veränderung des Grundwassers, Ausbreiten von Injektionsgut (DIN EN 12715).

4. Gefahrenanalyse

Die Gefahrenanalyse umfasst die Teilbereiche Gefahren und Risiken.

In der ISO 31000 Risk Management wird der Umgang mit Risiken international geregelt. In Deutschland gilt die DIN EN 62198 für das Risikomanagement für Projekte als Anwendungsleitfaden oder im elektrischen/ Elektronischen Bereich gilt die DIN EN 61508 Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/ elektronischer/ programmierbarer elektronischer Speicher.

In DIN EN 61508 wird eine Sicherheitstechnische Funktion (SIF) und ein Sicherheitstechnische System (SIS) behandelt. Außerdem werden SIL-Klassen (Safety Integrity Level) klassifiziert, die die Verlässlichkeit einer Sicherheitstechnischen Funktion beschreiben.

Außerdem werden Gefährdungsanalysemethoden wie **HAZOP** (=Gefahren und Operabilitätsstudie), **PAAG** (Prognose, Auffinden von Ursachen, Abschätzung der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen), **FME(C)A** (Ausfallart und (Kritikalitäts) und Auswirkungsanalyse), **ETA** (Ereignisbaumanalyse) und **FTA** (Fehlerzustandsbaumanalyse)

Um diese Gefährdungsanalysemethoden verwenden zu können müssen die Wahrscheinlichkeiten für die Ereignisse bekannt sein. Bei neuen Anlagen sind diese Erfahrungswerte tendenziell noch nicht vorhanden. Für eine Firma die sich mit einem neuen Aufgabenfeld auseinandersetzt, sind diese Methoden eher schwer umsetzbar. Diese sind dann gut geeignet wenn, z.B. eine ähnliche Anlage gebaut wurde, bei der bereits Erfahrungswerte protokolliert wurden.

Eine praktikable Möglichkeit ist die Erstellung einer Risikomatrix. Diese gibt einen guten Überblick über Auswirkungen und Eintrittshäufigkeit. Auf diese Variante wird in dieser Arbeit näher eingegangen. Dies resultiert aus der Neuartigen Technik des Stülpmembranspeichers.

In der Tabelle 1 sieht man einen Ausschnitt einer Auswirkungsskala (Tabelle 1: DIN EN 62198). Diese definiert fünf Bereiche von 1 für geringfügige Verletzte bzw. geringfügige Auswirkungen für die Umwelt bis hin zu 5 mit mehreren Todesfällen bzw. bleibenden schweren Umweltschäden. Bei der Vorplanung kann diese Liste zur Abschätzung der Auswirkungen verwendet werden.

Tabelle 1: Einteilung in eine Auswirkungsskala (DIN EN 62198).

	1. Personen	2. Umwelt
5	Mehrere Todesfälle oder dauerhafte Erwerbsunfähigkeit	Massive Auswirkungen: bleibende schwere Umweltschäden
4	Einzelne Todesfälle	Größere Auswirkungen: schwere Umweltschäden
3	Größere Verletzungen	Lokale Auswirkungen: begrenzter Abgang
2	kleinere Verletzungen	Geringe Verunreinigung: Schaden hinreichend groß um Umwelt zu verunreinigen aber keine bleibenden Schäden
1	geringfügige Verletzungen	Geringfügige Auswirkung. Lokaler Umweltschaden innerhalb des Geländes

Im nächsten Schritt kann man eine Wahrscheinlichkeitstabelle (DIN EN 62198) erstellen in der zwischen der Kategorie A, die Auswirkung trifft höchstwahrscheinlich ein, bis Kategorie E die Auswirkungen treten höchst unwahrscheinlich ein, die passende Kategorie auswählt.

Tabelle 2: Einteilung in einer Wahrscheinlichkeitstabelle (DIN EN 62198).

Kategorie:	
A	Auswirkung trifft höchstwahrscheinlich ein
B	Auswirkung trifft mit gewisser Wahrscheinlichkeit ein
C	Auswirkungen treten mit neutraler Wahrscheinlichkeit ein
D	Auswirkungen treten unwahrscheinlich auf
E	Auswirkungen treten höchst unwahrscheinlich auf

Nun wird wie in Tabelle 3 (DIN EN 62198) ein Risikoniveau ermittelt, dabei werden horizontal die Auswirkungen aufgetragen und vertikal Eintrittswahrscheinlichkeit. Zum Beispiel besteht bei einer Auswirkung 3 und einer Eintrittswahrscheinlichkeit C ein mittleres Risikoniveau. Bei mittlerem und hohem Risikoniveau ist eine geeignete Lösungsstrategie zu wählen und eine Schutzmaßnahme zu konzipieren. Diese einfach strukturierte Vorgehensweise kann bereits in der Konstruktionsphase im Expertenkreis durchgeführt werden, wenn z. B. noch keine Erfahrungswerte von bestehenden Anlagen bestehen und somit keine Informationen über Wahrscheinlichkeiten vorhanden sind.

Tabelle 3: Matrix zur Ermittlung des Risikoniveaus (DIN EN 62198).

Einstufung der Eintrittswahrscheinlichkeit	A	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch
	B	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch
	C	niedrig	mittel	mittel	hoch	hoch
	D	niedrig	niedrig	mittel	mittel	hoch
	E	niedrig	niedrig	mittel	mittel	mittel
			1	2	3	4
Einstufung der Auswirkung						

Wie in der Tabelle 4 gezeigt, besteht ein relativ hohes Risikoniveau für Personen durch die Verunreinigung des Grundwassers. Ein eher mittleres Risikoniveau ergibt sich bei Brechen des Erdwalls, und bei Bau und Bodeninjektionen verunreinigtes Grundwasser. Für die Umwelt besteht mittleres Risikoniveau durch verunreinigtes Grundwasser bei Bau und Bodeninjektion, oder während des Betriebes.

Tabelle 4: Matrix ausgewertet für den Stülpmembranspeicher (DIN EN 62198).

	1. Personen			2. Umwelt		
	Auswirkung	Wahrscheinlichkeit	Risikoniveau	Auswirkung	Wahrscheinlichkeit	Risikoniveau
Reißen der Stülpmembran	1	C	niedrig	1	C	niedrig
Brechen des Erdwalls	3	E	mittel	1	E	niedrig
Innerer Zylinder gerät in Schiefelage	1	C	niedrig	1	C	niedrig
Verunreinigung des Grundwassers	2	D	niedrig	3	C	mittel
Wärmespeicher beeinflusst Temperaturniveau	0	E	kein	1	E	niedrig
Bau und Bodeninjektionen verunreinigen Grundwasser	1	D	niedrig	4	D	mittel

5. Havarieszenarien

Es gibt zwei verschiedene Bauweisen. Ist der Stülpmembranspeicher komplett unterirdisch angeordnet kann relativ wenig passieren.

Um möglichst nicht so tief bohren zu müssen, wird ein Teil des ausgetragenen Materials zum Bau einer Erhöhung, die kuppelförmig nach oben errichtet wird verwendet. Dies hat zur Folge, dass ein Teil des Wassers nun nicht mehr unterirdisch ist. Es wird stattdessen oberhalb des Bodens gelagert. Diese Anordnung führt zwar zu einer geringfügigen Einsparung im Bereich der Ringspaltgrabung, hat aber auch einige negative Auswirkungen.

Diese Baukonstruktion kann bei Beschädigung dieser Gesteinskuppel zu Undichtigkeit führen, was einen Wasseraustritt zur Folge haben kann. Dies kann zu einer Überschwemmung der naheliegenden Gemeinde von Forchheim führen. Um das Schlimmste zu vermeiden, muss unbedingt eine Schutzmauer um den Stülpmembranspeicher errichtet werden, damit eine gewisse Vorhaltezeit gewährleistet werden kann. Es müsste notfalls die Bevölkerung gewarnt werden.

Beim Reißen der Stülpmembran kracht schlimmstenfalls der Kolben nach unten. Da der Speicher unterirdisch gebaut wird, kann kein Wasser austreten, außer die Wasserfüllung ist noch bis oberhalb der Erdoberfläche gefüllt, dann könnte eventuell das hochsitzende Wasser in Kombination mit dem Erdwall eine Schlammlawine auslösen die sich in Richtung der Häuser schiebt.

Andernfalls ist eine Beschädigung der Wände wahrscheinlich, und bei Revision besteht Personengefahr wenn sich ein Wartungsmitarbeiter in der Nähe des Kolbens befindet.

Das reine Brechen des Erdwalls ist eher unproblematisch, da Erde und Gestein keine große Fließgeschwindigkeit, wie z.B. Wasser haben.

Wenn der innere Zylinder in Schiefelage gerät, führt dies zum Reißen der Stülpmembran und zum Verkeilen und Zerstören der Wand des äußeren Zylinders. Außerdem wird es schwierig so einen schweren Zylinder neu auszurichten. Da der Speicher unterirdisch angeordnet ist, wird es vermutlich zu keinen Toten kommen, da sich Personen eher selten im Bereich des Kolbens aufhalten. Viel wahrscheinlicher ist ein Betrieb über eine Leitwarte, und ein gut ausgeklügeltes Alarmsystem.

Die Verunreinigung des Grundwassers kann im schlimmsten Fall zu mehreren Toten führen die sich daran vergiften.

Dasselbe gilt bei durch Bau und Bodeninjektionen verunreinigen Grundwassers.

Bei der Bauphase kann es zu Verschüttungen durch einbrechendes Gestein kommen, welche durch schlechte Bodeninjektionen entstehen können, die wiederum eine Einschnürung der Felswand zur Folge haben können. Stehen dabei Baufahrzeuge zu nah an der Grube, könnten diese mitgerissen werden und es kann schlimmstenfalls zu Personenschäden, bis hin zum Tode führen.

6. Ökologische Auswirkungen

Die Hauptauswirkung auf Ökologie ist eine mögliche Verunreinigung des Grundwassers bzw. eine Gerölllawine, die Tieren ihr Habitat zerstört. Die kritischste Phase ist dabei die Bauphase, da durch schweres Gerät Risse erzeugt werden können. Außerdem können die Bodeninjektionen falsch angebracht werden, dass zu einem Zusammenbrechen der Wand führen kann.

Eine sehr unwahrscheinliche Auswirkung ist das Binden von Gipsspat in der Gesteinsschicht mit Wasser, dies würde eine Reaktion zu Gips bilden, was wiederum das Naturbild durch Wölbungen des Bodens verunstalten würde.

7. Schutzmaßnahmen

Um ein Reißen der Stülpmembran zu verhindern kann eine Doppelmembran installiert werden, die bei Ermüden der Membran ein elektronisches Signal ausgibt um vor Versagen zu warnen und eine Revision einleitet.

Um ein Brechen des Erdwalls zu verhindern, kann eine Schutzmauer um den Speicher errichtet werden.

Um zu verhindern dass, trotz geringer Wahrscheinlichkeit zum Kippen neigt, ist es sinnvoll Führungsschienen anzubringen die ein Verkanten verhindern. Dies eine einfache Maßnahme, da es denkbar schwierig erscheint den Kolben sonst in seine Ursprüngliche Lage zurückzubefördern.

Die Verunreinigung des Grundwassers im Betrieb durch den ständigen Kontakt des Betons mit Wasser, welcher zu Rissen führt ist durch eine wasserabweisende Spezialschicht zu verhindern. Diese kann in verschiedenen Intervallen bei der Revision erneuert werden.

Der Wärmespeicher kann eventuell das Temperaturniveau beeinflussen, dies kann über eine denkbare Wärmeisolierung des Speichers erfolgen.

Um beim Bau und den Bodeninjektionen eine Verunreinigung des Grundwassers zu verhindern, ist eine sehr genaue Kenntnis des Untergrunds notwendig, dies erfordert, je nach geologischer Schicht eventuell ein anderes Verfestigungsmaterial. In dem Fall ist eine Bodenanalyse unumgänglich. Außerdem sollte an den Eigenschaften des Verfestigungsmaterials geforscht werden.

In allen Bereichen in denen mit Injektionen gearbeitet wird, müssen Sicherheitsbrillen und Schutzkleidung und Handschuhe getragen werden (DIN EN 12715).

8. Auswertung der Gefährdung

Der Stülpmembranspeicher ist als eher Gefährdungsarm einzustufen, da das Prozessmedium Wasser nicht toxisch ist. Die größten Probleme können in der Bauphase auftreten.

Außerdem kann eine oberirdische Anordnung eher gefährvoll sein, als eine rein unterirdische, da bei letztgenannter Variante kein Wasser austreten kann.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Stülpmembranspeicher durchaus eine relativ risikoarme Alternative für die Energiewende ist. Durch die unterirdische Anordnung besteht keine Gefahr der Überflutung. Selbst wenn die Stülpmembran reißen würde, wäre es ungefährlich für das Personal, da der Kolben einfach nur in den Untergrund fällt. Was aber durchaus eine Rolle spielen kann sind die finanziellen Risiken. Die Massen an Erdschutt die aus der Grube gefördert werden müssen sind enorm. Die Fördertechnik und der Transport, können die wirtschaftliche Rentabilität des Stülpmembranspeichers enorm verschlechtern. Da das Prozessmedium Wasser ist, besteht keine Gefährdung durch Gefahrenstoffe. Der Speicher ist mit geeigneten Schutzmaßnahmen gut umsetzbar.

III. Anhang

Literaturverzeichnis

Becker, Erich (1998): Membranpumpen mit mechanischem Membranantrieb für Gase. Essen: Vulkan-Verlag.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017). EEG, vom 2017. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/___1.html, zuletzt geprüft am 29.05.2017.

Fox, Ulrich (1998): Sonnenkollektoren. thermische Solaranlagen. Stuttgart: 1998 Verlag W. Kohlhammer.

Grotzinger, John; Jordan, Thomas (1995): Press/Siever Allgemeine Geologie. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Mineralienatlas - Fossilienatlas. Deutschland/Bayern/Oberfranken, Bezirk/Forchheim, Landkreis (2017). Online verfügbar unter <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Deutschland/Bayern/Oberfranken%2C%20Bezirk/Forchheim%2C%20Landkreis>, zuletzt aktualisiert am 26.06.2017, zuletzt geprüft am 26.06.2017.

Normative Verweise

DIN EN 12715

DIN EN 61508

DIN EN 62198

ISO 31000