

Welche Störfallrisiken birgt die Speicherung größerer Mengen mechanischer oder elektrischer Energie?

Kurzfassung:

In dem Beitrag „Welche Bedeutung hat die Speicherung mechanischer oder elektrischer Energie für unsere Stromversorgung?“ wurden die erheblichen Schwierigkeiten der Energiespeicherung skizziert. Es ist sehr fraglich, ob die Speicherung unter akzeptablen Bedingungen überhaupt gelingen wird und wie gegebenenfalls die Speicher aussehen könnten. Trotzdem wird hier der Versuch gemacht, die Risiken der Energiespeicherung wenigstens in groben Zügen zu beschreiben.

Gerade die mechanischen Energiespeicher mit ihren meist hohen Wirkungsgraden von 70% bis 80% sind besonders problematisch. Auch bei Störfällen wird ein großer Teil der gespeicherten Energie als mechanische, d.h. Schaden erzeugende Energie freigesetzt. Bei Störfällen mit Brennstoffen wird dagegen zunächst nur Wärmeenergie frei, die aus naturgesetzlichen Gründen nur zu einem kleinen Bruchteil in mechanische, Schaden erzeugende Energie umgewandelt wird.

Bei Störfällen mit den bekannten Pumpspeicherkraftwerken spielen Staudammbrüche die wichtigste Rolle. Durch die austretenden Wassermassen können große Gebiete überschwemmt und durch die frei werdende mechanische Energie von Millionen Kilowattstunden riesige Zerstörungen angerichtet werden. Seit Beginn der Industrialisierung sind durch Staudammbrüche Tausende Menschen umgekommen.

Neuere Ideen zur Energiespeicherung haben ebenfalls ihre Tücken. Nach einem eher ausgefallenen Vorschlag soll ein gewaltiger Felszylinder mit den Abmessungen eines größeren Berges angehoben werden. Bei einem Absturz dieses Berges könnte sogar eine mechanische Energie von Milliarden Kilowattstunden schlagartig in die Erde eingeleitet werden mit überhaupt nicht absehbaren Folgen.

Bei einer eher dezentralen Energiespeicherung mit vielen großen Schwungrädern würde beim Bruch eines solchen Rades durch die weggeschleuderten Trümmer nur eine mechanische Energie von vielleicht hunderttausend Kilowattstunden freigesetzt werden. Im Vergleich mit einem schweren Eisenbahnunfall oder einem Flugzeugabsturz, bei dem tausend Kilowattstunden frei werden, ist das immer noch sehr viel und die Folgen sind vielleicht nur mit einem Meteoreinschlag vergleichbar.

Bei den bereits in der Erprobung befindlichen Druckluftspeicherkraftwerken könnten die großen, mit Druckluft beaufschlagten Erdkavernen nach oben durchbrechen mit ebenfalls schwer abschätzbaren Störfallfolgen.

Das häufig diskutierte Wind-zu-Gas-Konzept erlaubt nicht die Speicherung von mechanischer Energie, sondern nur von weniger wertvoller Wärmeenergie. Bei einem Störfall wird deswegen auch kaum Schaden erzeugende mechanische Energie, sondern vor allem Wärmeenergie frei. Die Auswirkungen sind deshalb vermutlich nicht ganz so dramatisch.

Nach den fragwürdigen Maßstäben der Ethik-Kommission, die nach der Tsunami-Katastrophe und den Reaktorunfällen in Japan von der Bundesregierung einberu-

fen wurde, wären die Störfallrisiken der Energiespeicher schwerlich hinnehmbar. Umfangreichere, realitätsnähere Risikoanalysen und Bewertungen könnten vielleicht zu einem anderen, für manche Speichertechniken nicht ganz so ablehnenden Ergebnis kommen. Dies wäre für die Nutzung erneuerbarer Energien sehr wichtig.

Langfassung:

Bei der Umstellung unserer Stromversorgung auf erneuerbare Energiequellen sind effektive Speichermöglichkeiten für größere Mengen mechanischer oder elektrischer Energie unverzichtbar. Nur so kann unsere Stromversorgung an wind- und sonnenarmen Tagen sichergestellt werden. Leider ist gegenwärtig noch nicht absehbar, inwieweit effektive Speichertechniken überhaupt realisierbar sind und wie diese ausgelegt sein werden. Diese offenen Fragen wurden kürzlich in dem Beitrag „Welche Bedeutung hat die Speicherung mechanischer oder elektrischer Energie für unsere Stromversorgung?“ diskutiert. Dort wurden auch einige denkbare Speichertechniken beschrieben. Auf sie wird nachfolgend Bezug genommen.

Die Störfallrisiken der Speichertechniken können wegen der noch offenen Fragen und wegen der hier gebotenen Kürze selbstverständlich nur in groben Zügen skizziert werden. Trotzdem sind diese Überlegungen sehr wichtig. Für die Akzeptanz der Speichertechniken und damit auch für die mögliche Nutzung der erneuerbaren Energien sind sie von erheblicher Bedeutung.

Da über mögliche Störfallabläufe und die dabei auftretenden physikalischen Phänomene nur sehr begrenzte Erfahrungen vorliegen, wird für die Risikobeschreibung ein so genanntes probabilistisches Konzept angewandt, d.h. zu verschiedenen, denkbaren Störfallabläufen werden die Auftretswahrscheinlichkeiten und die zu erwartenden Schadensausmaße abgeschätzt. Wegen der oben erwähnten offenen Fragen und Einschränkungen werden hier jedoch nur ganz wenige, wichtig erscheinende Störfallabläufe beachtet. Ihre Auftretswahrscheinlichkeiten werden zunächst nicht diskutiert. Die Schadensausmaße werden mit Hilfe der freisetzbaren mechanischen Energien beschrieben; denn bei der Erzeugung von Schäden sind mechanische Energien ausschlaggebend. Selbstverständlich ist dies nur ein sehr vereinfachender Ansatz. Tatsächlich spielt auch die Schnelligkeit der Vorgänge einschließlich explosionsartiger Phänomene eine Rolle. Vor allem aber kommt es darauf an, ob Menschen in der Nähe sind, die verletzt oder gar getötet werden könnten.

Mechanische Energiespeicher sind besonders problematisch. Im Normalbetrieb sind ihre meist hohen Wirkungsgrade von 70% bis 80% von Vorteil. Bei einem Störfall aber bedeuten die hohen Wirkungsgrade, dass große Mengen mechanischer, d.h. Schaden erzeugender Energien freigesetzt werden können. Im Vergleich dazu sind chemische Energiespeicher – das sind vor allem die bekannten Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas – weniger kritisch. Nur in aufwändigen Wärmekraftmaschinen lassen sich Wirkungsgrade von höchstens 50% erzielen. Unter Störfallbedingungen sind die Wirkungsgrade dagegen wesentlich niedriger. Nur ein kleiner Bruchteil der gespeicherten chemischen Energie wird als mechanische, Schaden erzeugende Energie freigesetzt.

Die heute fast ausschließlich genutzten mechanischen Energiespeicher sind **Pumpspeicherkraftwerke** mit Speicherkapazitäten von Millionen Kilowattstunden.

Der Bruch einer Staumauer eines oberen Wasserbeckens führt zu einem sehr gravierenden Störfallablauf. Eine Monster-Wasserwelle rollt über die tiefer liegende Umgebung hinweg. Je nach Füllstand des Beckens wird dabei mechanische Energie in der Größenordnung von **Millionen Kilowattstunden** freigesetzt.

Dazu liegen weltweit eine Menge leidvoller Erfahrungen vor. Vom Beginn der Industrialisierung an haben Staumauer- und Staudammbrüche viele tausend Todesopfer gefordert. Herausragende Fälle: 1864 England etwa 270 Tote, 1868 Japan mehr als 1000 Tote, 1874 USA 200 Tote, 1881 Algerien, 250 Tote, 1889 USA mehr als 2200 Tote, 1895 Frankreich bis 200 Tote, 1923 Italien bis 600 Tote, 1928 wieder USA 400 bis 500 Tote, 1943 Deutschland (Staudammbrüche durch Kriegseinwirkungen) 1600 Tote, 1959 Frankreich etwa 420 Tote, 1960 Brasilien etwa 1000 Tote, 1963 wieder Italien bis 3000 Tote, 1972 zweimal USA mit mehr als 350 Toten, 2005 Pakistan bis zu 500 Tote. In einigen dieser Fälle ist genau genommen nicht die Staumauer gebrochen, sondern bei einem gigantischen Erdbeben in den Stausee überspült worden. Die weitaus schlimmste Katastrophe ereignete sich 1975 in China als infolge eines Taifuns 62 Staudämme brachen und 231 000 Menschen ihr Leben verloren. Auch wenn man von dem besonderen Fall in China absieht, sind solche Störfallauswirkungen schwerlich hinnehmbar.

Ein eher ausgefallener Vorschlag für die Speicherung mechanische Energie ist das **Anheben eines gewaltigen Felszylinders**. Er soll aus einem felsigen Bereich der Erdoberfläche herausgeschnitten werden und einen Durchmesser und eine Höhe von 1000 m haben. Zum Anheben des Zylinders um bis zu 500 m und zur Speicherung von Energie bis zu einigen Milliarden Kilowattstunden soll Wasser in den kreisförmigen Hohlraum unterhalb des Zylinders gepumpt werden.

Bei der Spezifikation eines charakteristischen Störfallablaufs ist einiges Nachdenken erforderlich. Der angehobene Zylinder könnte sich im umgebenden Fels verkleben, so dass eine Abwärtsbewegung nicht mehr möglich ist. Gleichzeitig könnte das Wasser in dem scheibenförmigen Hohlraum unter dem Zylinder durch ein unkontrolliertes Leck entweichen. Später könnte dann beispielsweise durch eine Erschütterung die Verklebung aufgehoben werden so dass der Zylinder im freien Fall bis zu 500 m abstürzen würde. Beim Aufprall auf dem Boden könnte dann eine mechanische Energie von **Milliarden Kilowattstunden** in die Erde eingeleitet werden.

Ähnliche Ereignisse mit diesen Dimensionen haben sich in der von Menschen erlebten und dokumentierten Erdgeschichte noch nicht ereignet. Über die Auswirkungen kann deshalb nur spekuliert werden. Wenn diese proportional zur Energiefreisetzung wären, dann würde sich in Anlehnung an die obigen Stausee-Unfälle eine kaum vorstellbare Zahl von Todesopfern ergeben.

Ein anderer nicht ganz so utopischer Vorschlag war die Speicherung mechanischer Energie in **großen Schwungrädern**. Zehntausend solcher Räder sollten den mittleren deutschen Tagesbedarf decken. Daraus ergibt sich eine Speicherkapazität im Bereich von hunderttausend Kilowattstunden pro Rad.

Als charakteristischer Störfall wird der Bruch eines durch die Fliehkräfte hoch beanspruchten Rades angenommen. Durch die weggeschleuderten Bruchstücke würde dann eine mechanische Energie in der Größenordnung von **hunderttausend Kilowattstunden** schlagartig freigesetzt werden – Masse der Bruchstücke Hunderte von Tonnen, Geschwindigkeiten bis 1000 m/s. Zur Orientierung: Bei verunglückten Eisenbahnzügen oder abstürzenden Verkehrsflugzeugen werden mechanische Energien im Bereich von tausend Kilowattstunden freigesetzt. Am ehesten wäre der

Schwungradbruch mit einem Meteoreinschlag vergleichbar. Abhängig von der umgebenden Besiedlung könnte wie bei Stausee-Unfällen eine hohe Zahl von Todesopfern zu beklagen sein. Allerdings könnte die Beherrschung eines Schwungradbruches beispielsweise durch unterirdische Bauweise möglich sein.

Bereits in der Erprobung befindliche Speicher für mechanische Energie sind die so genannten **Druckluftspeicherkraftwerke**. Risikorelevant sind hier die großen unterirdischen Kavernen, in denen sich die Druckluft befindet.

Als Störfall wird der Durchbruch der Erdabdeckung über einer Kaverne angenommen. Dies ist auch bei sehr tief liegenden Kavernen denkbar, denn die Druckluft könnte durch die unteren Erdschichten diffundieren und die oberen dünneren Erdschichten direkt belasten. Zwar sind auch hier hohe Freisetzungen von mechanischer Energie in der Größenordnung von **Millionen Kilowattstunden** denkbar. Wahrscheinlich würde sich der Vorgang aber über längere Zeit erstrecken, so dass die zu befürchtenden Schäden nicht ganz so extrem wären.

Eine häufig diskutierte Speichermöglichkeit für chemische Energie ist das so genannte **Wind-zu-Gas-Konzept**. Kritisch ist hier das zu lagernde brennbare Gas.

Bei einem Störfall könnte das Gas explosionsartig verbrennen. Wie oben diskutiert ist zu vermuten, dass aus naturgesetzlichen Gründen nur ein kleiner Bruchteil der freigesetzten Wärmeenergie in nur **einige tausend Kilowattstunden** mechanische Energie umgewandelt werden würde. Dieser Anteil zusammen mit den zu erwartenden hohen Verbrennungstemperaturen könnte zwar immer noch zu erhebliche Schäden führen. Sie lägen aber in einem Bereich, der hin und wieder auch bei sonstigen Unfällen hingenommen wird.

Wie sind nun die beschriebenen Risiken zu bewerten? Hier ist es nahe liegend die Diskussionen der Ethik-Kommission zu beachten. Sie war von der Bundesregierung nach der Tsunami-Katastrophe und den dadurch ausgelösten Reaktorunfällen einberufen worden. Weitgehender Konsens in der Kommission: **Risiken, bei denen die Schadensausmaße eine gewisse Obergrenze überschreiten, so dass die Ereignisse Katastrophen-Charakter annehmen können, sind nicht hinnehmbar, wie klein die Auftretenswahrscheinlichkeit auch immer sein mag.**

Dieses Beurteilungskriterium erscheint zunächst sehr einleuchtend und es passt auch zu den vorangegangenen Risiko-Überlegungen, bei denen die Schadensausmaße im Vordergrund standen. Es hätte aber zur Folge, dass alle hier diskutierten Energiespeicher – insbesondere die mechanischen Energiespeicher mit hohem Wirkungsgrad – nicht akzeptabel sind. Die möglichen Schadensausmaße sind zu hoch!

Genau genommen sind auch Störfallabläufe mit noch höheren Schadensausmaßen denkbar: Bei Pumpspeicherkraftwerken führt das periodische Füllen und Entleeren der großen Wasserbecken zu häufigen Gewichtsverlagerungen auf der Erdoberfläche, die verheerende Erdbeben auslösen könnten. Bei den Schwungrädern gibt es eine kaum überschaubare Vielfalt denkbarer Bruchkonfigurationen. Die eine oder andere Konfiguration könnte zu einem besonders ungünstigen Störfallablauf führen, dem auch Sicherheitsvorkehrungen nicht gewachsen wären und der extreme Schäden verursachen würde. Ähnliche Überlegungen kann man auch für die übrigen Energiespeicher anstellen – ja solche Überlegungen sind für alle Techniken und alles menschliche Handeln möglich.

Mit anderen Worten: In vielen wichtigen Fällen gibt es für Störfallschäden gar keine Obergrenzen. Mit einiger Fantasie kann man sich immer noch etwas Schlim-

meres vorstellen. **Das Beurteilungskriterium der Ethik-Kommission geht ins Leere.**

Um zu einer verantwortungsvollen Risikobewertung zu gelangen, bleibt der bekannte steinige Weg nicht erspart: Bei Anwendung eines probabilistischen Konzepts müssen auch die schwer zu ermittelnden Auftrittswahrscheinlichkeiten beachtet werden. Die so erhaltenen Risiken – also Auftrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße – müssen nun mit den Risiken anderer Techniken und Handlungsoptionen verglichen werden, um zu einer positiven oder negativen Entscheidung zu kommen. Bei Anwendung eines so genannten deterministischen Konzepts müsste geprüft werden, ob aus naturgesetzlichen Gründen (oder basierend auf langen Erfahrungen) große Schadensauswirkungen ausgeschlossen werden können, was aber bei den hier anstehenden Problemen kaum möglich sein wird.

Schlussfolgerung für die hier diskutierten Energiespeicher: Nach den vorangegangenen Überlegungen sind die Risiken beachtlich. Ob sie für manche Speichertechniken vielleicht doch hinnehmbar sind, was der Nutzung der erneuerbaren Energien sehr zu Gute käme, kann nur nach einer detaillierten Risiko-Analyse entschieden werden. Der Zeit- und Arbeitsaufwand dafür ist aber erheblich.

Angaben zu den Quellen:

Für den obigen Beitrag wurden die folgenden Publikationen mit herangezogen:

- Energiespeicher – Stand und Perspektiven, aktualisiert am 28. 2. 2012, Büro für Technologiefolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Strom speichern, Renew's Spezial, Ausgabe 57, Feb. 2012-12-16.
- <http://eduard-heindl.de/energy-storage/Energiespeicher-Erneuerbare.htm>
- <http://klauseberhardwagner.wordpress.com/2012/07/02/warum-lasst-sich-strom-nicht-bzw-nicht-in-nennenwertem-umfang-speichern>
- <http://katastrophen.anabell.de> verantwortlich Anabell Heike, C/Romer, 21, 03778 Beniarbeig, Spanien

Hinweise auf verwandte Veröffentlichungen in den Energie-Fakten:

- [Welche Bedeutung hat die Speicherung mechanischer oder elektrischer Energie für unsere Stromversorgung? Welche Speichermöglichkeiten gibt es, was sind die Probleme?](#)
- [Energiespeicherung – die Achillesferse der Energiewende?](#)
- [Welchen Nutzen stiften Talsperren mit Staudämmen und welchen Vorbehalten begegnen sie?](#)
- [Warum haben Wärmekraftwerke einen relativ niedrigen Wirkungsgrad?](#)
- [Wie kann man Unfallrisiken bei der Energieerzeugung quantifizieren? Was sind die dabei auftretenden Probleme?](#)