

Welche Bedeutung hat die Speicherung mechanischer oder elektrischer Energie für unsere Stromversorgung? Welche Speichermöglichkeiten gibt es, was sind die Probleme?

von [Rolf Krieg](#)
Email Rolf.Krieg@energie-fakten.de

Hier die Fakten – vereinfachte Kurzfassung

Unsere heutigen, gegenüber früheren Zeiten sehr viel besseren Lebensbedingungen verdanken wir zu einem Teil der vielfältigen Nutzung von Wärmekraftmaschinen. Sie erlauben es, bis zu 50 % der Wärmeenergie in die für uns so hilfreiche mechanische Energie umzuwandeln. Aus naturgesetzlichen Gründen geht die restliche Wärmeenergie als Abwärme der mechanischen Nutzung verloren. Die mechanische Energie ist deshalb mindestens doppelt so wertvoll wie die Wärmeenergie.

Unsere heutigen Lebensbedingungen verdanken wir zum anderen Teil der Nutzung des elektrischen Stroms zur Übertragung der mechanischen Energie an die Verbraucher. Da bei der Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie und bei der Rückwandlung nur geringe Verluste auftreten, sind beide Energieformen etwa gleich wertvoll.

Bei der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien wäre ein weiterer technischer Fortschritt, nämlich eine gute Speichermöglichkeit für mechanische oder elektrische Energie von großer Bedeutung. Nur so könnte an wind- und sonnenar-

men Tagen unsere Stromversorgung ohne die Nutzung anderer Energiequellen aufrechterhalten werden. Leider ist die Energiespeicherung sehr viel problematischer, als viele erfolgswöhnte Menschen es heute wahrhaben wollen.

Die am meisten genutzten mechanischen Energiespeicher, nämlich die Pumpspeicherkraftwerke mit Wirkungsgraden zwischen 70 % und 80 % haben riesige Dimensionen. Ihre Kapazität müsste bei weitgehender Abstützung auf erneuerbare Energiequellen vervielfacht werden, was aber in Deutschland mangels geeigneter Standorte unmöglich ist. Andere mechanische Energiespeicher mit ähnlich hohen Wirkungsgraden stellen andere extreme Anforderungen und existieren bisher nur als Ideen. Druckluftspeicherkraftwerke haben wegen kaum vermeidbarer Wärmeverluste einen geringeren Wirkungsgrad von nur etwa 40 %. Sie wären aber eher realisierbar.

Chemoelektrische Energiespeicher wie die bekannten Akkumulatoren sind trotz langjähriger intensiver Forschungsbemühungen viel zu aufwendig.

Chemische Energiespeicher wandeln während der Speicherprozedur mechanische bzw. elektrische Energie in weniger wertvolle chemische bzw. Wärmeenergie um. So wird bei dem so genannten Wind-zu-Gas-Konzept beispielsweise mit Hilfe überschüssigen Windstroms durch Elektrolyse Wasserstoff erzeugt und gespeichert. Bei Energiebedarf wird der Wasserstoff dann wieder verbrannt und über Wärmekraftmaschinen und Generatoren wird elektrischer Strom zurückgewonnen. Wegen der oben erwähnten aus naturgesetzlichen Gründen nicht vermeidbaren Abwärme erreicht der Wirkungsgrad nur etwa 40 %. Das Konzept scheint allerdings realisierbar.

Schlussfolgerung: Durch die Energiespeicherung werden die hohen Kosten der erneuerbaren Energien nochmals deutlich erhöht. Es ist deswegen zu befürchten, dass die Energiewende auf halbem Weg stecken bleibt und die weitere Nutzung fossiler Kraftwerke unser Klima weiter gefährdet. Trotz intensiver Forschungsbemühungen sind technologische Durchbrüche, die das Problem grundlegend ändern könnten, nicht zu erwarten.

Welche Bedeutung hat die Speicherung mechanischer oder elektrischer Energie für unsere Stromversorgung? Welche Speichermöglichkeiten gibt es, was sind die Probleme?

von [Rolf Krieg](#)
Email Rolf.Krieg@energie-fakten.de

Hier die Fakten – Langfassung

Mit zunehmendem Einsatz erneuerbarer Energien und weitgehendem Verzicht auf andere Energieträger sind effektive Speichermöglichkeiten unverzichtbar.

Von der Mitte des 19. Jahrhunderts an führte die fortschreitende Industrialisierung zu einer rasanten Verbesserung unserer Lebensbedingungen. Schlüssel für diesen Fortschritt waren die neuen **Wärme­kraft­maschinen** (Dampfmaschinen, Verbrennungsmotoren, usw.). Mit ihnen gelang die so schwierige Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie. Zwar lagen anfangs die Wirkungsgrade oft unter 10 %. Dennoch waren die neuen Wärme­kraft­maschinen den bis dahin genutzten mechanischen Energiequellen wie den Muskelkräften von Mensch und Tier und der Energie des Windes haushoch überlegen. Segelschiffe und Windmühlen wurden vollständig verdrängt. Nur die Wasserkraft war – soweit verfügbar – konkurrenzfähig.

Doch schon Ende des 19. Jahrhunderts sahen maßgebende Ingenieure auch die Probleme eines massiven Einsatzes

der neuen Wärme­kraft­maschinen. Der exzessive Verbrauch fossiler Energierohstoffe droht den gegenwärtigen Gleichgewichtszustand auf unserer Erde nachteilig und unumkehrbar zu verändern - ein früher Fingerzeig auf die heute so heiß diskutierte Klimaproblematik.

Heute werden in modernen Wärme­kraft­werken schon Wirkungsgrade um die 50 % erreicht. Doch weitere Verbesserungen werden zunehmend schwieriger. Aus naturgesetzlichen Gründen geht nämlich immer ein Teil der Wärmeenergie als Abwärme verloren. Der obere Grenzwert des Wirkungsgrades ist deshalb nicht 100 %, sondern nur wenig mehr als 50 %. Techniken, die diese Einschränkung ignorieren wollen, nennt man in der Naturwissenschaft Perpetuum Mobile zweiter Art. Sie sind nicht möglich. Aus diesem Grund ist die **mechanische Energie mindestens doppelt so wertvoll wie die Wärmeenergie** oder wie die in den fossilen Energierohstoffen enthaltene chemische Energie, aus der durch Verbrennung Wärmeenergie entsteht. Die Rückwandlung mechanischer Energie in Wär-

meenergie ist dagegen recht einfach. Jeder Reibungsprozess bewirkt dies. Selbstverständlich versucht man eine solche Rückwandlung in weniger wertvolle Wärmeenergie zu vermeiden.

Ein zweiter Schlüssel für den weiteren Fortschritt war die **Nutzung des elektrischen Stromes** zur Übertragung der mechanischen Energie von großen, wirtschaftlich arbeitenden Kraftwerken zu Millionen von Verbrauchern. Die Umwandlung der mechanischen Energie in elektrischen Strom mit Generatoren und die Rückgewinnung der mechanischen Energie aus dem Strom mit Elektromotoren ist vergleichsweise problemlos. Die Wirkungsgrade erreichen heute Werte von mehr als 95 %. Elektrische Energie ist deswegen ähnlich wertvoll wie mechanische Energie.

Ein dritter, wichtiger Schlüssel für den weiteren Fortschritt wäre eine **effektive Speichermöglichkeit für mechanische oder elektrische Energie**. Damit könnten die unterschiedlichen zeitlichen Schwankungen von Energieerzeugung und Verbrauch besser beherrscht werden. Ganz besondere Bedeutung

LANGFASSUNG

gewinnt die Energiespeicherung mit zunehmendem Einsatz erneuerbarer Energien aus Wind und Sonne. Ohne eine effektive Energiespeicherung wäre man in wind- und sonnenarmen Zeiten weiterhin auf fossile Kraftwerke angewiesen; Kernkraftwerke sollen ja aus anderen hier nicht zu diskutierenden Gründen abgeschaltet werden. Die aus fossilen Kraftwerken stammende Gefahr für unser Klima würde so nur zeitlich gestreckt, aber nicht beseitigt werden. Die Kostensteigerungen aber wären erheblich. Die Kilowattstunde aus erneuerbaren Energien ist ohnehin teurer als bei unserer bisherigen Energieversorgung. Aber auch die Kilowattstunde für die bei ungünstiger Wetterlage noch erforderliche fossile Energie wäre teurer, denn nur zeitweilig eingesetzte Kraftwerke arbeiten weniger wirtschaftlich als bei einem Rund-um-die-Uhr-Betrieb.

Leider gibt es bei der dritten Schlüsseltechnologie, der Speicherung mechanischer oder elektrischer Energie, erhebliche naturgesetzliche Einschränkungen. Doch in der Politik wird dies kaum zur Kenntnis genommen. Der bisherige in der Menschheitsgeschichte so beispiellose Fortschritt bei der Energienutzung hat uns blind gemacht für die von der Natur gesetzten Grenzen.

Mechanische Energiespeicher haben gewaltige Dimensionen.

Eine nahe liegende Methode zur Speicherung mechanischer Energie ist das Anheben einer Last. Dabei wird beispielsweise von einem Elektromotor elektrische Energie aufgenommen. Später beim Absenken dieser Last kann mit Hilfe eines Gene-

rators wieder eine etwa gleich große Energiemenge abgegeben werden. Sie berechnet sich aus dem Produkt von Hublast und Hubweg.

Um die Dimensionen solcher Speichereinrichtungen zu veranschaulichen, wird angenommen, dass der tägliche elektrische Energieverbrauch eines Familienhaushalts von 10 Kilowattstunden gedeckt werden soll. Damit könnte ein Tag ohne Wind und Sonne und ohne andere elektrische Energiequellen überstanden werden. Aus obiger Formel folgt, dass dazu beispielsweise eine Last von 200 Tonnen um 18 m abgesenkt werden müsste. Eine solche Anlage wäre zwar technisch realisierbar, doch der Aufwand wäre für einen Familienhaushalt utopisch. Der Traum einer dezentralen Energiespeicherung mit Hilfe mechanischer Speicher ist damit ausgeträumt.

In der Energiewirtschaft wird aber eine ähnliche Art der Energiespeicherung in größerem Maßstab angewandt. In einem **Pumpspeicherkraftwerk** wird Wasser von einem unteren in ein oberes Becken gepumpt (Energiespeicherung) und bei Bedarf über eine Wasserturbine wieder in das untere Becken zurückgeleitet (Energierückgewinnung). Man braucht dazu gebirgiges Gelände, das einen möglichst großen Höhenunterschied zwischen beiden Becken erlaubt. Wichtigstes und teuerstes Bauwerk ist meist eine große Stauwand, mitunter 100 m hoch, um das obere Becken abzuschließen. Von der in den Speicher eingeleiteten Energie werden **70 % bis 80 %** zurück gewonnen. Derzeit ist in Deutschland eine Pumpspeicherkapazität

von etwa 40 Millionen Kilowattstunden vorhanden.

Der mittlere tägliche Verbrauch an elektrischer Energie beträgt dagegen in Deutschland derzeit etwa 1,4 Milliarden Kilowattstunden. Wollte man bei ungünstiger Wetterlage diese Energie allein aus Pumpspeicherkraftwerken decken, so müsste die gegenwärtige Speicherkapazität ver fünfunddreißigfach werden. Bei einem Höhenunterschied von 360 m zwischen den oberen und unteren Becken ergibt sich, dass beide Beckenarten ein Fassungsvermögen von jeweils 1,6 Milliarden Kubikmeter haben müssten. Tatsächlich kann ungünstiges Wetter länger als einen Tag andauern. Das Fassungsvermögen der Beckenarten müsste deswegen nach manchen Schätzungen jeweils etwa 10 Milliarden Kubikmeter betragen. Man bedenke, dass beispielsweise in einem Gebirgstal ein Stausee von 10 km Länge, 200 m Breite und 50 m mittlerer Tiefe nur ein Fassungsvermögen von 100 Millionen Kubikmeter besitzt. Daraus wird deutlich, dass die für Deutschland nötige Speicherkapazität durch Pumpspeicherkraftwerke in unserem Lande schwerlich erbracht werden kann.

Als Ausweg wird der Bau von großen Pumpspeicherkraftwerken in den ausgedehnten Fjorden von Norwegen vorgeschlagen. Natürlich müssten diese massiven Eingriffe in die Natur von Norwegen gestattet und entsprechend vergütet werden und der Strom müsste mit aufwendigen Tiefseekabeln durch die Ostsee hin und zurück geleitet werden – ein sehr fragliches und bestimmt auch sehr teures Unterfangen!

LANGFASSUNG

Not macht bekanntlich erfindisch. So wurde von E. Heindl eine **Energiespeicherung durch Anheben eines gewaltigen Felszylinders** vorgeschlagen. Er soll aus einem geeigneten felsigen Bereich der Erdoberfläche herausgeschnitten werden und einen Durchmesser und eine Höhe von 1000 m haben. Zum Anheben des Zylinders wird Wasser in den kreisscheibenförmigen Hohlraum unterhalb des Zylinders gepumpt (Energiespeicherung). Beim maximalen Hub von 500 m würde der Zylinder dann 500 m aus der Erdoberfläche herausragen. Zum Absenken des Zylinders wird das Wasser über Turbinen aus dem Hohlraum gepresst (Energierückgewinnung). Damit könnte tatsächlich der mittlere deutsche Tagesverbrauch an elektrischer Energie gespeichert werden. Die verwendeten Techniken wären eigentlich kein Neuland. Der Wirkungsgrad würde vermutlich wie bei Pumpspeicherkraftwerken bei 70 % bis 80 % liegen. Aber die Dimensionen - sie gingen weit über alles Bisherige hinaus. Das wäre absolutes Neuland! Noch problematischer wären die psychologischen Aspekte. Man stelle sich vor, innerhalb von Stunden wächst ein zylindrischer Berg senkrecht aus dem Boden heraus, höher als die höchsten Hochhäuser! Das wäre geradezu eine Inkarnation des Unnatürlichen! Bei einer Verkleinerung des Längenmaßstabs um den Faktor 10 wären die Abmessungen immer noch gewaltig. Aber man bräuchte dann 10 000 solcher Zylinder für einen Tagesverbrauch.

Ein anderer Vorschlag ist die Energiespeicherung mit Hilfe bewegter Massen. Technisch am

einfachsten: **Energiespeicherung mit Hilfe von Schwungrädern**. Abschätzungen zeigen, dass mit 10.000 Schwungrädern mit einem Durchmesser von etwa 20 m und einer Höhe von etwa 5 m, Gewicht je nach Werkstoff also einige tausend Tonnen, der deutsche Tagesverbrauch gespeichert werden könnte. Auf etwa 10 Windräder käme dann ein hausgroßer Energiespeicher. Das scheint zunächst noch machbar. Das Problem ist die weitgehende Vermeidung von Reibungsverlusten; dann könnte der Wirkungsgrad **75 % oder mehr** erreichen. Das Schwungrad müsste aber in einem Vakuumgehäuse laufen und die Lager müssten vermutlich gasgeschmiert sein - fast ein Widerspruch, auf jeden Fall aber eine große technische Herausforderung. Wohl deshalb wird diese Energiespeicherung wenig diskutiert.

Eine andere Methode zur Speicherung mechanischer Energie ist das Spannen von Federn. Man kennt dies von Kinderspielzeugen mit Uhrwerksmotoren. Einfache Abschätzungen zeigen sofort, dass für größere Energiemengen diese Methode absolut unrealistisch großen Materialaufwand und riesige Dimensionen erfordern würde.

Eine ganz ähnliche Methode zur Speicherung mechanischer Energie ist das Komprimieren von Luft, bekannt unter dem Begriff **Druckluftspeicherkraftwerk**. Die Dimensionen sind zwar ebenfalls riesig, aber der Materialaufwand ist mäßig, da als Druckluftbehälter in der Erde vorhandene Kavernen verwendet werden. Wichtige Effekte sind jedoch die Wärmeentwicklung beim Komprimieren der

Luft (Energiespeicherung) und die Abkühlung beim Entspannen der Luft (Energierückgewinnung). Könnte man die Ableitung der Wärme in die Umgebung unterbinden, so hätten diese Effekte keinen negativen Einfluss auf den Wirkungsgrad. Bei den riesigen weit verzweigten Hohlräumen in der Erde ist jedoch eine thermische Isolierung kaum möglich und mit Rücksicht auf die Funktion der Kompressoren und Turbinen auch gar nicht erwünscht. Die in die Umgebung abgeführte Wärme stellt aber einen Energieverlust dar, der den Wirkungsgrad erheblich reduziert. In einer Prototyp-Anlage wurde ein Wirkungsgrad von etwa 40 % ermittelt. Gewisse Verbesserungen könnten durch eine - nicht ganz einfache - Speicherung und Rückführung der Wärme möglich zu sein.

Elektrische und elektrochemische Energiespeicher sind nur bei kleinen und mittleren Energiemengen von Bedeutung.

Kondensatoren und Spulen speichern elektrische Energie unmittelbar. Die Speicherkapazität ist jedoch sehr gering. Deswegen finden diese Speicher meist nur in elektronischen Geräten mit Speicherzeiten im Millisekundenbereich Verwendung.

Akkumulatoren speichern elektrische Energie basierend auf reversiblen elektrochemischen Prozessen. Größere Akkumulatoren werden seit mehr als 100 Jahren in beschränktem Umfang zum Antrieb von Schienen- und Straßenfahrzeugen eingesetzt. Die Forschungsbemühungen waren und sind hier enorm, denn Fortschritte wären von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Man denke nur an

LANGFASSUNG

den Bahnverkehr, der auf umfangreiche und störanfällige Oberleitungssysteme verzichten könnte. Doch technische Durchbrüche bei größeren Akkumulatoren, stehen immer noch aus.

Chemische Energiespeicher haben einen nur mäßigen Wirkungsgrad.

Chemische Energiespeicher sind wohlbekannt. Alle brennbaren Stoffe, insbesondere die fossilen Energierohstoffe stellen solche Speicher dar. Zuerst aber müssen brennbare Stoffe erzeugt werden. Das bekannteste Verfahren: Mit Hilfe von überschüssigem elektrischem Strom aus Windrädern wird Wasser durch Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Wasserstoff kann nun in Behältern gespeichert werden. Kurzbezeichnung: **Wind-zu-Gas**. Bei Strombedarf wird dann der Wasserstoff in Wärmekraftmaschinen zuerst in mechanische und dann mit Generatoren in elektrische Energie umgewandelt. Vorteil: Die einzelnen Techniken sind weitgehend erprobt und das entstehende Abgas ist Wasserdampf. Wesentlicher Nachteil: Durch die Elektrolyse wird wertvolle elektrische Energie in weniger wertvolle chemische Energie umgewandelt; denn – wie eingangs hervorgehoben – kann die durch Verbrennen des Wasserstoffs gewonnene Wärme aus naturgesetzlichen Gründen nur teilweise in elektrische Energie zurückverwandelt werden. Folge: Der Wirkungsgrad dieser Energiespeicherung liegt nur bei etwa **40 %**. Für unsere Stromversorgung ist dies ein mageres Ergebnis. (Für die Energieversorgung von Fahrzeugen dagegen mögen sogar

noch geringere Wirkungsgrade hinnehmbar sein.)

Zusammenfassung

Die Energiespeicherung wird vermutlich so teuer, dass die erneuerbaren Energien nicht in dem gewünschten Umfang einsetzbar sind.

Energiespeicher mit gutem Wirkungsgrad von 70 % bis 80 % haben riesige Dimensionen. Sie erfordern große Investitionen und stellen erhebliche Eingriffe in unsere Umwelt dar. Die zu dieser Kategorie gehörenden Pumpspeicherkraftwerke, können wegen fehlender Standorte kaum noch ausgebaut werden. Andere Energiespeicher mit gutem Wirkungsgrad existieren bisher nur als Idee. Ob die noch anstehenden Probleme gelöst und solche Anlagen je gebaut werden, ist sehr fraglich.

Energiespeicher mit einem Wirkungsgrad von 40 %, wie Druckluftspeicherkraftwerke und das Wind-zu-Gas-Konzept sind nach weiteren Erprobungen vermutlich realisierbar. Der mäßige Wirkungsgrad ist jedoch eine schwere Hypothek. Die hohen Preise für erneuerbare Energien würden sich nochmals deutlich erhöhen.

Es ist deshalb zu befürchten, dass die Energiewende auf halbem Weg stecken bleibt und fossile Kraftwerke weiterhin einen Teil der Last zu tragen haben.

Doch selbst wenn in Deutschland der Kraftakt mit der Energiespeicherung gelingen sollte, ist immer noch zweifelhaft, ob andere Länder unserem teuren Beispiel folgen werden. Halten sich große Länder aber zurück, dann war unser Engagement nur ein Tropfen auf dem heißen Stein. Die Befürchtungen um

unser Klima bleiben bestehen.

Manche hoffen, dass neue Erfindungen die Probleme lösen werden. Sie vergessen dabei, dass weltweit schon viele solche Bemühungen gestartet wurden. Das ist etwa so, wie wenn jemand durch Schatzsuchen seiner finanziellen Misere entkommen möchte, obwohl der Acker, auf dem er sucht, schon oft umgepflügt wurde.

Die ebenfalls sehr problematischen Unfallrisiken von Energiespeichern sollen demnächst in einem weiteren Beitrag diskutiert werden. ■

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.html>
- <http://klauseberhardwagner.wordpress.com/2012/07/02/warum-lasst-sich-strom-nicht-bzw-nicht-in-nennenswertem-umfang-speichern>

Siehe auch:

- Energiespeicherung – die Achillesferse der Energiewende?
- Welchen Nutzen stiften Talsperren mit Staudämmen und welchen Vorbehalten begegnen sie?
- Warum haben Wärmekraftwerke einen relativ niedrigen Wirkungsgrad?