

Energiespeicherung

Das Angebot der regenerativen Energien schwankt in der Regel sehr stark. Dies ist neben Kosten und Technologiestand ihr größter Nachteil. Die Energie, die aus der Umwandlung regenerativer Energieträger stammt, muss also zur Abdeckung der z. T. gegenläufigen Nachfrage zwischengespeichert werden. Wie weit und wie schnell Wind und Sonne fossile Energieträger ersetzen können, hängt also ganz wesentlich von der Entwicklung geeigneter Speicher ab.

Energiespeicher kann man nach der gespeicherten Energieform klassifizieren. Es sind nachfolgend nur die Speicher aufgeführt, die bereits jetzt eine größere praktische Bedeutung oder ein hohes Potenzial für die Zukunft haben.

Speicher für thermische Energie

Temperaturspeicher

Sie verändern beim Lade- oder Entladevorgang ihre Temperatur. Als Wärmespeicher dient z. B. bei der Heizung und Warmwasserbereitung Wasser. Aber auch Stein, Beton und Ziegel können gute Wärmespeicher sein. Das ist Standard und wird für Sonnenwärme schon weitgehend genutzt.

Latentwärmespeicher

Sie verändern beim Lade- oder Entladevorgang ihren Aggregatzustand bzw. Phasenzustand. Am besten geeignet ist der Übergang fest/flüssig. Beim Schmelzen nimmt der Stoff Wärme auf, die er beim Erstarren wieder abgibt. Für niedere Temperaturen eignen sich Paraffine und spezielle Kunststoffe. So hat ein Chemieunternehmen eine Tapete mit eingebetteten Kunststoffkügelchen entwickelt, die an heißen Sommertagen durch Schmelzen Wärme aufnehmen und nachts durch Erstarren wieder abgeben, sozusagen eine Klimaanlage ohne Energieverbrauch. Ein anderes Verfahren nutzt dagegen nicht die Schmelzwärme, sondern die Lösungswärme. Ein Salz löst sich bei einer bestimmten Temperatur komplett im Wasser und gibt die so gespeicherte Wärme beim Kristallisieren wieder ab. Für hohe Temperaturen von bis zu mehreren hundert Grad eignet sich die Schmelzwärme von Salzen und Salzmischungen. Überschüssige Windenergie z. B. könnte so über elektrische Widerstandswärme in einer Salzschmelze gespeichert und bei Bedarf zur Dampferzeugung für eine Dampfturbine verwendet werden. Im großtechnischen Maßstab werden Salzschmelzen z. B. in Solarthermiekraftwerken genutzt. Im Parabolrinnenkraftwerk Andasol 1, 2 und 3 reicht die in der Salzschmelze gespeicherte Wärme für über 7 h sonnenlosen Betrieb der 3x50-MW-Anlage.

Speicher für mechanische Energie

Schwungrad

In der bewegten Masse eines Schwungrades kann Energie gespeichert werden. Allerdings ist der Energieinhalt nicht sehr hoch (~500 kJ/kg). Das Schwungrad muss extrem reibungsarm gelagert sein und läuft in der Regel im Vakuum. Typische Leistungsgrößen sind von 3 kWh bis >100 kWh. Inzwischen gibt es Versuche, Schwungräder bei Windrädern und Gasturbinen einzusetzen. Bei kleinen Gasturbinen zur Notstromversorgung von Krankenhäusern wird das Prinzip seit Jahren erfolgreich eingesetzt.

Pumpspeicherkraftwerk

Bei Stromüberfluss entnimmt das Kraftwerk dem Stromnetz elektrische Energie und pumpt damit Wasser in einen höher gelegenen Speichersee. Die elektrische Energie wurde also als potenzielle zwischengespeichert. Bei einer Nachfragespitze arbeitet das Kraftwerk „normal“ und verwandelt die gespeicherte Energie wieder zurück in Strom. In Deutschland wurden ab 1923 Pumpspeicherkraftwerke gebaut. Die deutschen Pumpspeicherkraftwerke Goldisthal 1,06 GW, Markersbach 1,05 GW und Schluchsee 0,95 GW gehören zu den weltweit größten. Heute ist eine Gesamtleistung von über 6 GW erreicht, d. h., der Ausfall mehrerer Kernkraftwerke oder Kohlegroßkraftwerke kann überbrückt werden. Das führt zu Stromausfallzeiten von durchschnittlich nur 20 min pro Jahr gegenüber fast 3 h in den USA. Die USA planen deshalb in Brumley Gap den Bau des größten Pumpspeicherkraftwerks der Welt mit 3,2 GW. Trotz dieser scheinbar großen Speicherkapazitäten reichen die vorhandenen Pumpspeicherkraftwerke derzeit kaum zur Zwischenspeicherung der Stromproduktion aus den herkömmlichen Energieträgern. Da ein weiterer Ausbau unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten in den meisten Ländern, darunter auch Deutschland, kaum mehr möglich ist, müssen andere Speicher für die regenerativen Energieträger entwickelt werden.

Druckluftspeicherkraftwerk

Diese Technologie wird in Kombination mit Gasturbinen bereits genutzt (zwei ausgeführte Anlagen). Da Gasturbinen ohnehin mit stark komprimierter Luft arbeiten, füllt das Gasturbinenkraftwerk vor dem Abschalten (bei Stromüberangebot) einen Druckluftspeicher auf. Dessen Entleerung beim Wiederanlassen des Kraftwerks (bei Nachfragespitze) ermöglicht schnellen Start der Gasturbine und bringt zusätzliche Leistung ohne Brennstoffverbrauch. Inzwischen wird darüber nachgedacht, Wind- und Solarenergie in Druckluftspeichern zwischenzuspeichern und bei Nachfrage mit reinen Druckluftturbinen ganz ohne Verbrennung Strom zu erzeugen. Wenn nicht natürliche Kavernen oder aufgelassene Bergwerksstollen als Speicher genutzt werden können, ist der Bau großer Speicher derzeit eher unwirtschaftlich. Und da sich reale Gase beim Komprimieren erwärmen, haben Druckluftspeicher durch Wärmeverluste nur ca. 60 % Wirkungsgrad. Wenn diese Abwärme nicht genutzt werden kann, ist die Wirtschaftlichkeit ebenfalls schlecht.

Chemische Energiespeicher

Festkörperakkus

Akkumulatoren und Batterien sind elektrochemische Zellen bzw. Arrays aus ihnen. Kombiniert man Festkörperelektroden aus Metallen (ggf. auch Nichtmetallen) mit unterschiedlichem elektrochemischem Potenzial, so wird die eine Atomsorte oxidiert und die andere reduziert. Die dabei ausgetauschten Elektronen fließen über einen äußeren Stromkreis, chemische Energie wird also in elektrische Energie umgewandelt: Die Zelle wird entladen. Legt man umgekehrt eine äußere Spannung an diese elektrochemische Zelle, wird die aufoxidierte Atomsorte wieder reduziert und die reduzierte Atomsorte wieder oxidiert. Bei dieser Aufladung des „Akkus“ wird also elektrische Energie durch Umwandlung in chemische Energie gespeichert. Gebräuchliche Akkus arbeiten mit Blei (Autobatterie), Nickel/Cadmium, Nickel/Metallhydrid oder Lithium. Doch sie sind teuer, ihre Speicherkapazität ist wenig variabel und ihre Lebensdauer ist relativ kurz. Die derzeit üblichen Festkörperakkus lassen sich je nach Typ nur einige 100- bis 1.000-mal aufladen. Das ist für die Speicherung von Wind- oder Solarstrom in Kraftwerken zu wenig.

Redox-Flow-Zelle

Dieser Akkutyp arbeitet sozusagen mit flüssigen Elektrodenmaterialien, z. B. aus Zink (Zn) und Brom (Br). Zn ist in Wasser aufgeschlämmt (Suspension), Br liegt in einer organowässrigen Emulsion vor. Zwei Grafitelektroden dienen als Stromabnehmer. Fließt nun das Zn-Pulver an seiner Elektrode vorbei, wird es oxidiert, d. h., es gibt Elektronen ab und geht ionisch (Zn^{2+}) in Lösung. Fließt das Br an seiner Elektrode vorbei, wird es reduziert, nimmt also Elektronen auf und geht ionisch als Bromid (Br^-) in Lösung. Beim Aufladen legt man Spannung an und pumpt die beiden Lösungen wieder an den Elektroden vorbei. Das Verfahren hat den Vorteil, dass die beiden aufgeladenen Suspensionen bzw. Emulsionen in beliebig großen Tanks gelagert werden können. Diese Flüssigelektroden zeigen praktisch keinen Alterungseffekt, es sind also theoretisch unbegrenzt viele Lade-Entlade-Zyklen möglich. Das technisch unaufwändige und deshalb kostengünstige Verfahren eignet sich prinzipiell bestens zur Speicherung großer Mengen an Wind- oder Solarstrom. Erfahrungen mit Großanlagen liegen allerdings derzeit noch nicht vor.

Wasserstoff

Überschüssiger Strom kann technisch unaufwändig zur Elektrolyse (elektrochemische Zersetzung) von Wasser (H_2O) zu Wasserstoffgas (H_2) und Sauerstoffgas (O_2) genutzt werden. Der so gebildete chemisch reine Sauerstoff kann sehr gut an die Industrie verkauft oder einfach in die Luft abgelassen werden. Das Wasserstoffgas wird dann verflüssigt und in Tanks gelagert. Tanks für flüssigen Wasserstoff sind für mobile Zwecke äußerst aufwändig und ineffizient, stationäre Großtanks lassen sich dagegen nach heutigem Stand der Technik relativ kostengünstig und explosions sicher realisieren. Bei Strombedarf kann dann der Wasserstoff durch Verbrennung zu Wasser über Gasturbinen, Diesel- oder Stirlingmotoren wieder in Strom zurückgewandelt werden. Der Wirkungsgrad ist allerdings nicht sehr gut, da die Wärmekraftmaschinen ja immer nur einen Teil (ca. 40 %) der Wärme in mechanische Energie umwandeln können. Es bietet sich deshalb die Brennstoffzellentechnik an. Hier wird die elektrische Energie direkt ohne Verbrennung mit Wirkungsgraden von bis zu 85 % gewonnen. Da letztlich nur wieder umweltneutrales Wasser entsteht, ist die Energiespeicherung mit Wasserstoff ein ökologisch optimales Verfahren, vor allem wenn das gespeicherte Wasserstoffgas aus einer mit Wind- oder Solarstrom durchgeführten Elektrolyse stammt. Eine Alternative zur reinen Wasserstofftechnologie wäre es, Wasserstoff mit CO_2 aus der Luft katalytisch (modifiziertes Fischer-Tropsch-Verfahren) in Methanol (CH_3OH) um zu wandeln. Damit stünde dann ein universeller, CO_2 -Emission freier, im Gegensatz zu Wasserstoff allerdings leicht lager- und verteilter Treib- und Brennstoff zur Verfügung, der auch Erdöl und Erdgas komplett ersetzen könnte.

Elektrische Energiespeicher – Kondensator

Kondensatoren sind die einzige Möglichkeit, elektrische Energie direkt zu speichern. (Spulen speichern streng genommen elektrische Energie als magnetische Energie!) Kondensatoren bestehen aus zwei großflächigen Polen, zwischen denen sich ein elektrischer Isolator befindet. Eine angelegte Gleichspannung verschiebt die Elektronen zwischen den Polen. Der Kondensator ist nun aufgeladen und kann die Energie jederzeit als Ladungsfluss über einen äußeren Stromkreis wieder abgeben. Kondensatoren sind praktisch verschleißfrei und haben fast unbegrenzte Lebensdauer. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eignen sie sich jedoch nur zur Speicherung relativ kleiner Energiemengen. Das beginnt bei Solaruhren und hört bei Kondensatorarrays zur Speicherung der Bremsenergie in S-Bahnen, U-Bahnen und Eisenbahnen auf. Als Speicher für größere Energiemengen in Wind- und Solarstromkraftwerken sind Kondensatoren nicht geeignet. Die Speicherkapazität eines Kondensators hängt nämlich von der Fläche seiner Elektroden ab, was ähnlich

wie bei Festkörperbatterien riesige und damit teure Konstruktionen erfordern würde.

Magnetische Energiespeicher – Magnetspule

Das Einschalten des Stromflusses durch eine Spule bewirkt den Aufbau eines magnetischen Felds. Die in diesem Feld gespeicherte magnetische Energie kann beim Abschalten des Stromflusses durch die Spule wieder als elektrische Energie entnommen werden. Gelingt es, den Stromfluss durch die Spule als widerstandsfreien Stromkreislauf einzurichten, eignet sich eine Spule als Speicher für elektrische Energie. Mithilfe von entsprechend gekühlten Supraleitern und moderner Steuerungselektronik werden solche supraleitenden Spulen heute bereits als Speicher eingesetzt. Doch sie sind extrem aufwändig und teuer und die Kühlung verbraucht relativ viel Energie. Deshalb sind Magnetspulen als „Massenspeicher“ für Energie kaum einsetzbar.