World of Mining – Surface & Underground 70 (2018) No. 3

Flexible energy storage for a successful energy turnaround

Flexible Batteriespeicher für die Energiewende

WOLFGANG A. BENESCH, Germany

1 Background

In the early 70 of the last century the Club of Rome presented its study "Limits of Growth" [1]. There was a strong warning against the limited reserves and resources of our planet. This analysis has since been steadily continued and refined. Other influencing factors had been presented. In those days, the limits of world population had been estimated with 7 billion. Currently this limit is discussed as 10 billion. But for sure our planet cannot allow an unlimited population.

Precondition for a further grow of the number of human beings of about 10 billion people and more are two important items: a reliable, cheap energy supply in form of electricity and a sufficient supply of water. With the energy turnaround in Germany we are already on that way. Climate discussion is a part of the energy turnaround and by doing this a big driver in Germany. On long term perspective not the climate discussion is the dominating factor, but the limited reserves and resources of fossil fuels. Considering this background, we are asked to use all possibilities of regenerative energy supply but in an economic way. Only if a sufficient amount of electricity at an affordable price from renewable sources is available we will be able to reach the 10 billion population goal. Believing that a certain form of energy generation should be favored is not of help. Such kind of decision should be based on know-how and not on believing. In the public discussion felt figures and reality are not the same [2].

Beside the discussed limited resources of fuels also the limited resource of money has to be considered. The available money has to be allocated in a way that a maximum amount of electricity can be generated in an environmental friendly manner. An open technology discussion is here an important precondition. This is the only way that we can reach a new age with a maximum amount of people on this planet.

With this in mind, it is important to supply electricity and energy also in cases when the sun is not shining and the wind is not blowing. Beside at night there is a special relationship between no sunshine and the lack of wind. If the wind is not blowing, the clouds cannot be blown away and the solar energy could not contribute to the electricity supply. In January 2017 we had over a fortnight such a situation. Although in Germany nearly 100 GW of renewable energy are installed, this kind of energy could only deliver some 10 GW of the 70 GW which are typically needed in Germany. An industrial nation like Germany needs a secure

Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG A. BENESCH,
STEAG Energy Services GmbH, Rüttenscheider Straße 1-3,
45128 Essen, Germany
Tel. +49 (0) 201-801-0, Fax +49 (0) 201-801-2743

1 Hintergrund

In den 70er-Jahren wurde vom Clube of Rome die Studie „Grenzen des Wachstums" erstellt. Es wurde nachdrücklich vor der Endlichkeit natürlicher Ressourcen gewarnt [1]. Diese Analyse wurde seitdem weiter fortgeschrieben und verfeinert. Weitere Einflussgrößen wurden aufgezeigt. Wurde damals als Grenze für die Weltbevölkerung ca. 7 Milliarden Menschen diskutiert, sind es heute um die 10 Milliarden. Sicher werden aber auf unserem Planeten nicht unbegrenzt Menschen leben können. Voraussetzung für ein weiteres Wachstum der Menschheit auf vielleicht 10 Milliarden und mehr Menschen sind zwei wichtige Punkte: Eine belastbare, preiswerte Energieversorgung in Form von Strom und eine ausreichende Wasserversorgung. Mit der Energiewende sind wir auf diesem Weg. Die Klimafrage ist im Rahmen der Energiewende ein großer Treiber in Deutschland. Sieht man sich längerfristige Zeiträume an, dann wird jedoch nicht nur das Klimathema dominieren, sondern die Begrenztheit fossiler Energievorräte und sonstiger Bodenschätze. Vor diesem Hintergrund sind wir aufgefordert, alle Möglichkeiten regenerativer Energieerzeugung zu nutzen, doch insbesondere preiswerte Methoden anzuwenden. Nur wenn bezahlbarer Strom aus erneuerbaren Quellen in genügender Menge und Form zur Verfügung steht, wird es uns vielleicht gelingen, die 10-Milliarden-Bevölkerungsgrenze zu reißen. Glaubensbekenntnisse, die einzelne Energieformen favorisieren sind wenig hilfreich. In der Öffentlichkeit driften gefühlt Zahlen und Realität seit Jahren auseinander [2]. Neben anderen Ressourcen muss die ebenfalls begrenzte Ressource Geld so eingesetzt werden, dass bezogen auf die Energieversorgung eine möglichst große Strommenge umweltfreundlich produziert wird. Technikoffenheit ist hier eine notwendige Voraussetzung. Denn nur dann wird es uns gelingen, in eine wirklich neue Zeit zu gelangen und dies mit einer größtmöglichen Bevölkerungszahl auf diesem Planeten.

Vor dem Hintergrund ist es wichtig, Strom und Energie zur Verfügung zu stellen, auch wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht bläst, was sich, abgesehen von den Nachtzeiten, gegenseitig bedingt. Bei Windmangel werden Wolken nicht vertrieben und somit kann auch die Sonnenenergie keinen Beitrag zur Stromversorgung leisten. Im Januar 2017 hat sich über 14 Tage eine derartige Konstellation ergeben. Obwohl wir in Deutschland mittlerweile 100 GW an Erneuerbaren Energien installiert haben, war es zu der Zeit nur möglich, ca. 10 GW von den benötigten ca. 70 GW bereitzustellen. Eine Industrienation wie Deutschland ist auf eine sichere Stromversorgung angewiesen. D.h., auch zu Zeiten, in denen Erneuerbare nicht zur Verfügung stehen, müssen andere Energien einen Beitrag leisten. Mittelfristig werden hierzu nach wie vor nur konventionelle Kraftwerke in der Lage sein, allerdings bei extrem niedriger Beschäftigung. Vorzug der Kohlekraftwerke ist hier eindeutig, dass der notwendige Brennstoffvorrat dafür unabhängig von anderen Versorgungsengpässen direkt am Kraftwerkstandort gelagert werden kann. Gaskraftwerke

electricity supply also in times in which renewable energies are not sufficiently available. In these days it is of high importance that other kinds of energy could secure the supply around the clock. In the medium range, conventional power plants will still be needed for this security task but the overall operating hours a year are quite low. Advantage of a hard coal fired power plant is undoubtedly that the necessary fuel storage could be secured at the power plant location and is not disturbed by other supply shortages. Gas fired power stations are frequently favored for this task due to the lower CO_2 emissions. But in such bottle neck situations also the gas grid and the gas storages have no sufficient reserves. As well there is a certain political dependency which will increase in the coming years, when natural gas is typically from one region to Germany.

Under this background, beside conventional power stations, storage technologies will play a major role in the future. The more conventional power plants are shut down, the more storage capacity has to be build up. Here is a significant need of development. STEAG made a big step in that direction with an investment of 100 mill. € for a large battery storage in 2016.

As part of this paper the importance of storage technologies especially battery storage should be mirrored and the future development of storage technologies should be described.

2 STEAG

STEAG had been founded some 80 years ago. From history there was a focus on conventional power plant technology. In the meantime other alternatives of electricity generation are part of our business. Today the company is standing on three strong legs: Conventional electricity generation, generation based on renewables (especially wind, biomass and solar technologies) and the mentioned third leg storages. In difference to electricity generators, STEAG never decided to split this business, because we believe that only in this way we can face a secure energy future. Like this way STEAG contributes to a sustainable future or in my words: grandchild tolerable future, especially the before mentioned goal that a maximum amount of people could live in a livable environment with a sufficient amount of electricity and water on this planet.

STEAG Energy Services (SES) is a 100 % daughter company of STEAG GmbH. 1/3 of STEAG's 6000 employees are working for SES. Main business is to offer services like engineering, operation and maintenance and process optimization for conventional power plants, generation of renewable energies and storage technologies. The in this paper related engineering activities had been mainly done by SES.

3 General conditions

The German ministry of economics presented the electricity market 2030 [3]. The long-term trends and tasks for the coming years had been described. A special focus had been lying on the following ten items:

1. Fluctuating electricity generated from wind and sun will govern the system.
2. Sector coupling: district heating, traffic and industry will more and more use electricity from renewable instead of fossil fuels.
3. The use of fossil fuels in power plants is decreasing.
4. Electricity markets will become more European.
5. The national security of supply will be given within the European electricity market.
6. The use of electricity will become more and more efficient.
7. Modern CHP plants will generate the remaining amount of electricity and secure the heat supplier at the same time.
8. Biomass will be used increasingly for traffic and in industry.

werden aufgrund der noch geringeren Klimaauswirkungen häufig zur Wahrnehmung dieser Aufgabe diskutiert. Der geringere CO_2-Ausstoß ist hier sicher von Vorteil, in Engpasssituationen ergibt sich jedoch häufig die Situation, dass auch das Gasnetz ausgelastet ist und die Gasspeicher u.U. nicht in der notwendigen Menge gefüllt sind. Außerdem ergibt sich eine gewisse politische Abhängigkeit, die in den nächsten Jahren noch anwachsen wird, wenn Erdgas hauptsächlich aus einer Region nach Deutschland geliefert werden kann.

Somit werden neben konventionellen Kraftwerken Speichertechniken in Zukunft eine große Rolle spielen. In dem Maße, in dem konventionelle Kraftwerke stillgelegt werden, müssen Speicherkapazitäten geschaffen werden. Hier besteht noch ein erheblicher Entwicklungsbedarf. STEAG ging mit der Investition in Großbatteriespeicher im Umfang von 100 Mio. € im Jahr 2016 einen großen Schritt in diese Richtung.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung soll der Stellenwert von Speichertechniken, insbesondere Batteriespeichern, beleuchtet und die zukünftige Entwicklung von Speichertechniken skizziert werden.

2 STEAG

Das Unternehmen STEAG, das 2017 sein 80-jähriges Bestehen feierte, hat seine Wurzeln im Bereich der konventionellen Kraftwerkstechnik. Inzwischen hat sich STEAG auch mit anderen Alternativen der Stromerzeugung etabliert. Heute steht das Unternehmen sicher auf drei Standbeinen: Konventionelle Energieerzeugung, Erzeugung aus Erneuerbaren Energien (insbesondere Wind), Biomasse und Solare Anwendungen, sowie auf dem dritten Bein: Speicher. Anders als Marktbegleiter hat STEAG entschieden, diese Techniken parallel voranzutreiben und in eine sichere Zukunft zu führen. Hiermit leistet STEAG einen Beitrag zur nachhaltigen (Stichwort: enkelverträglichen) Gestaltung der Zukunft im Hinblick auf das zu Anfang skizzierte Ziel, möglichst viele Menschen in einer lebenswerten Umgebung mit ausreichend Strom und Wasser auf diesem Planeten unterzubringen.

STEAG Energy Services ist als 100%ige Tochter der STEAG im Bereich von Consultingleistungen tätig. Ein Drittel der 6000 Mitarbeiter der STEAG sind alleine in diesem Unternehmen weltweit tätig. Zielsetzung ist es hier, im Dreiklang von konventionellen Kraftwerken, Kraftwerken die Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugen und Speichern die Themen Engineering, Betriebsführung und Prozessoptimierung voranzutreiben.

3 Rahmenbedingungen

Vom BMWi wurden für den Strommarkt 2030 langfristige Trends und Aufgaben für die kommenden Jahre formuliert. Im Einzelnen sind dies die folgenden zehn Punkte:

1. Die fluktuierende Stromerzeugung aus Wind und Sonne prägt das System.
2. Sektorkopplung: Heizung, Autos und Industrie nutzen immer mehr Erneuerbaren Strom statt fossiler Brennstoffe.
3. Der Einsatz fossiler Brennstoffe im Kraftwerkspark geht deutlich zurück.
4. Die Strommärkte werden europäischer.
5. Die Nationale Versorgungssicherheit wird im Rahmen des Europäischen Strombinnenmarktes gewährleistet.
6. Strom wird deutlich effizienter genutzt.
7. Moderne KWK-Anlagen produzieren den residualen Strom und tragen zur Wärmewende bei.
8. Biomasse wird zunehmender für Verkehr und Industrie genutzt.
9. Gut ausgebaute Stromnetze schaffen kostengünstig Flexibilität.
10. Die Systemstabilität bleibt bei hohen Anteilen an Erneuerbaren Energien gewährleistet

9. Electricity grids with a sufficient capacity offer cheap flexibility.
10. The system stability is secured although the amount of renewables is increasing.

The achievement of these ten targets is differently sophisticated. The last target, the system stability with increasing renewables is kind of a problem due to the slow grid extension. This is urgently needed if the security of supply is ensured even under use of European solutions. As a consequence this target can only be achieved if both, still fossil energy and storage technologies, plays a role. In this scenario the possibilities of the use of biomass in Germany should not be overestimated. The limits touching the food chains will be reached soon if no biomass imports are considered. The sector coupling and the combined heat and power technology will for sure play a bigger role in future. Here also environmental friendly power plants are asked for offering the needed security of supply.

4 Some basic statements

Beside all controversial public discussion on questions of energy supply it has to be stated that electricity is becoming more and more attractive for the consumer. But at the same time any kind of generation and electricity distribution are queried. These affects no longer only conventional electricity generation but also electricity generation from renewables – Banana (build absolutely nothing anywhere near anyone). This contradiction will increase if one is considering that the amount of electricity needed is growing. Looking back to the last ten years the electricity consumption in Germany had been quite stable between 550 and 600 TWh/year. The increasing amount of e-mobility will change this picture in future. Approx. 1200 TWh of the primary energy consumption in Germany are based on liquid fuels. A conservative calculation under consideration of different efficiency effects of classical otto- and diesel-cars compared to electrical driven cars will come to another 250 to 300 TWh of electricity needed in addition.

The size of this challenge for the future becomes clear, if one compares the old consumption of 600 TWh electricity/year with the future consumption of 900 TWh. Today we are proud to generate 30 % of our electricity by renewables. This share will decrease to 20 % under this increased consumption. As background information we have to have in mind that for this 30 % renewable generation we have installed in total 200 GW, which is three times as much as we need.

What else is significant for today's electricity generation?

- Electricity is easy to control but difficult to store,
- flexible conventional generation is cheaper than storage,
- renewables are part of the trend but easy to control residual power is needed, from conventional power plants or if decreasing by increasing storage systems (this is even more important in case of missing grid extension).

Storage systems will for sure be part of the complex system of electricity supply in future. It has to be differentiated between mass-storage and short-term-dynamic storage. As well it has to be pointed out that in complex systems not the components itself are of highest importance, but the communication and interaction between the different elements.

These considerations lead to the result, that renewable energies and the use of coal and gas for electricity generation is more a partnership than a contradiction. So it is possible that fossil fired power stations with its flexible generation could team up with the fluctuating power from wind and sun. This statement is valid as long as sufficient storage capacity is not available. STEAG positioned itself according to this challenge and accompanies the energy turnaround in a positive manner. STAG is able to follow that route of making conventional power plants extremely flexible and to use this power station instead of mass-storages. A part of this approach is the marketing of primary, secondary and minute reserves.

Das Erreichen dieser zehn Zielgrößen ist unterschiedlich anspruchsvoll. Das Ergebnis der letzten Zielgröße, die Systemstabilität selbst bei hohen Anteilen Erneuerbaren Energien zu gewährleisten, ist sicherlich nicht einfach. Insbesondere der in Deutschland kontrovers diskutierte und deswegen viel zu schleppende Stromnetzausbau steht dem entgegen. Der ist allerdings dringend notwendig, wenn postuliert wird, dass im Rahmen von europäischen Lösungen Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann. In Konsequenz heißt das, dass bis dieses Ziel erreicht wird, wenn es überhaupt erreichbar ist, fossile Energien und Speicher eine Rolle spielen müssen. In diesem Zusammenhang dürfen die Möglichkeiten der Biomassenutzung in unserem Land nicht überschätzt werden. Die Grenzen sind ohne Import erreicht, wenn wir die Nahrungsmittelkette nicht beeinflussen wollen. Die Sektorkopplung und die Kraft-Wärme-Kopplung werden in Zukunft sicher große Rollen spielen und auch hier ist es gefragt, dass umweltfreundliche Kraftwerke entsprechende Versorgungslösungen anbieten können.

4 Ein paar grundsätzliche Statements

Bei aller kontroversen Diskussionen über Energiefragen in der Öffentlichkeit kann klar herausgestellt werden, dass Strom für den Verbraucher eine äußerst beliebte Energieform ist, die in Zukunft noch weiter an Attraktivität gewinnen wird. Allerding wird jegliche Art der Erzeugung und der Übertragung immer mehr in Frage gestellt. Das betrifft inzwischen nicht nur die konventionelle Stromerzeugung, sondern auch die Erneuerbaren. Dieser Widerspruch wird noch größer werden, wenn man berücksichtigt, dass der Strombedarf in Deutschland in Zukunft voraussichtlich noch weiterwachsen wird. Betrachtet man die letzten zehn Jahre, so ist der Stromverbrauch in Deutschland, auch bedingt durch Effizienzsteigerungen, relativ konstant in Höhe von ca. 550 bis 600 TWh pro Jahr geblieben. Wachsende E-Mobilität wird in den kommenden Jahren zu einem deutlichen Anstieg des Stromverbrauchs führen. Eine grobe Abschätzung kann dies verdeutlichen. Ca. 1200 TWh des Primärenergieverbrauchs sind mineralölbedingt. Eine konservative Abschätzung geht davon aus, dass 50 % im Verkehr für Otto- und Dieselkraftstoffe genutzt werden. Berücksichtigt man die Wirkungsgradunterschiede zwischen Elektromotor und Verbrennungsmotor, dann kommen durch die Umsetzung der E-Mobilität weitere 250 bis 300 TWh zu den derzeitigen 600 TWh Stromverbrauch hinzukommen.

Damit wird die Dimension der Herausforderung deutlich, in Zukunft vielleicht eine Strommenge von 900 TWh durch Erneuerbare Energien darstellen zu können. Heute sind wir stolz darauf, ca. 30 % unseres Strombedarfs durch Erneuerbare Energien decken zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass wir dazu mehr als das 3-fache der notwendigen Stromkapazität installiert haben, d.h., wir sind heute bei fast 200 GW, obwohl wir in der Regel nur zwischen 60 bis 80 GW in Deutschland benötigen. Daraus ist abzuleiten, dass das Erreichen einer 100-%-Versorgung erheblich schwieriger werden wird, wenn man dann auch noch berücksichtigt, dass wir nicht nur 600 TWh, sondern 900 TWh liefern müssen.

Was kennzeichnet unsere heutige Stromerzeugung noch?

- Die leichte Regelbarkeit, aber aufwendige Speicherbarkeit.
- Flexibilität der konventionellen Erzeugung erweist sich als preiswerter als Speicherung.
- Erneuerbare sind zwar im Trend, doch es wird deutlich, dass eine steuerbare Ausgleichsenergie notwendig ist, in Form von konventioneller Kraftwerkstechnik und bei sinkendem Anteil, zunehmend in Form von Stromspeichern. Dies gilt umso mehr, wenn Stromübertragungswege nur begrenzt ausgebaut werden.

Speicher werden ein Teil des komplexen Stromversorgungssystems der Zukunft sein. Dabei ist zwischen Massenspeichern und kurzzeitigen dynamischen Speichern zu unterscheiden. Zudem ist

5 Characteristics of the current German electricity market

In public, it is difficult for people to distinguish between capacity and energy in the field of electricity generation. As mentioned above, Germany needs a capacity of 60 to 80 GW typically. But the installed capacity reaches now some 200 GW (Figure 1). The renewables have a share of more than 100 GW installed capacity which is 150 % of the needed capacity. The generated energy is quite stable between 550 to 600 TWh/year, of which, however, only 1/3 is coming from renewables.

The problem of this characteristic of generation is that regionally the structure of consumption deviates heavily from the structure of generation. A significant part of renewable energy is coming in form of wind, especially from the north. Since the power is needed in the south, we have a regional problem. The other part of the renewable generation is coming from PV. Here we have a time problem. The sun is only shining during day-time with a peak at noon, but the peak consumption occurred in the morning and in the evening. Especially in winter time, this kind of solar energy could be covered by storage systems.

The worst case of electricity supply which is mentioned frequently in public is a so called "black-out". This extreme situation, the shut-down of the entire electricity supply would have extreme consequences because we are deeply depended on a proper electricity supply today. The related horror scenarios are described in the novella "Blackout" from Marc Elsberg. We should ensure that something like that would never happen. In public discussion one can hear frequently the statement everything is working well, don't paint things black. An indicator to show how ill our electricity supply system is can be given by a look to the so called re-dispatch volume and the re-dispatch costs. While the dispatch describes the schedule of the power plant operation, re-dispatch is correcting on short-term-bases this schedule by calls of the TSO.

Figure 2 shows how dramatically costs and volume of this re-dispatch measure have increased. Here, one can talk about the fever-curve of the energy turn-around. This figure shows clearly, that our energy supply system is no longer at good health. This statement is valid although at certain times, Germany became an electricity export country. But at least, it is not the task of the electricity supply system to generate integral surpluses over the year. Even more, it is necessary, that in every minute supply and demand are well balanced. Also in this case, in future only storage systems can be of help.

6 Storage overview

Figure 3 gives a general overview about storage technologies. Is has to be differentiated between electrical, chemical and thermal

zu berücksichtigen, dass bei komplexen Systemen weniger die einzelnen Komponenten als die Kommunikation und Interaktion der einzelnen Elemente untereinander von Bedeutung ist.

Aus diesen Betrachtungen wird deutlich, dass Erneuerbare Energien und die Nutzung von Kohle und Gas zur Stromerzeugung keine Gegensätze sind, sondern dass Kohle- und Gaskraftwerke mit ihrer Flexibilität über einen entsprechenden Zeitraum Partner der schwankenden Stromerzeugung aus Wind und Sonne sind. Dies gilt, solange Speicher nicht in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. STEAG hat diese Herausforderung angenommen und begleitet die Energiewende konstruktiv dadurch, dass zum einen Erneuerbare Energien auch durch STEAG signifikant ausgebaut werden, dass konventionelle Energieerzeugungsanlagen extrem flexibel gemacht werden und dass zum anderen Regelenergien sowohl durch Großkraftwerke als auch dezentrale Anlagen und Speicher geliefert werden. Dazu gehört dann die Vermarktung von Primärregelenergie, Sekundärregelenergie sowie auch Minutenreserve.

5 Charakteristik des derzeitigen deutschen Strommarktes

In der Öffentlichkeit fällt es schwer, zwischen Leistung und Arbeit im Bereich der Stromerzeugung zu unterscheiden. Wie oben bereits erwähnt, steht in Deutschland einer benötigten Leistung von 60 bis 80 GW eine installierte Leistung von fast 200 GW gegenüber (Abbildung 1). Die Erneuerbaren haben mit über 100 GW installierter Leistung also 150 % der benötigten Kapazität. Die erbrachte Arbeit liegt heute in einer Größenordnung von 600 TWh, wovon allerdings nur ein Drittel aus Erneuerbaren Energien erbracht wird.

Das Problem dieser Erzeugung ist, dass es regional nicht mehr zu der Verbrauchsstruktur passt, d.h. ein erheblicher Teil der Erneuerbaren Energien wird in Form von Windenergie erbracht, die hauptsächlich im Norden erzeugt, jedoch im Süden benötigt wird. Somit haben wir ein regionales Problem. Des Weiteren wird der andere Teil durch Photovoltaik erbracht. Hier haben wir ein zeitliches Problem, da dies nur tagsüber erbracht wird, mit der Spitze um die Mittagszeit, Verbrauchsspitzen jedoch morgens und abends auftreten, die insbesondere im Winter dann durch andere Energieformen oder Speicher gedeckt werden müssen.

Der worst-case der Stromversorgung, der in der Öffentlichkeit häufig zitiert wird, ist der sog. „black-out". Diese Extremsituation eines Ausfalls der gesamten Stromversorgung in Deutschland hätte ganz erhebliche Folgen, da wir heute alle extrem auf elektrische Energie angewiesen sind. Die entsprechenden „Horrorszenarien" werden im Roman „Black Out" von Marc Elsberg beschrieben.

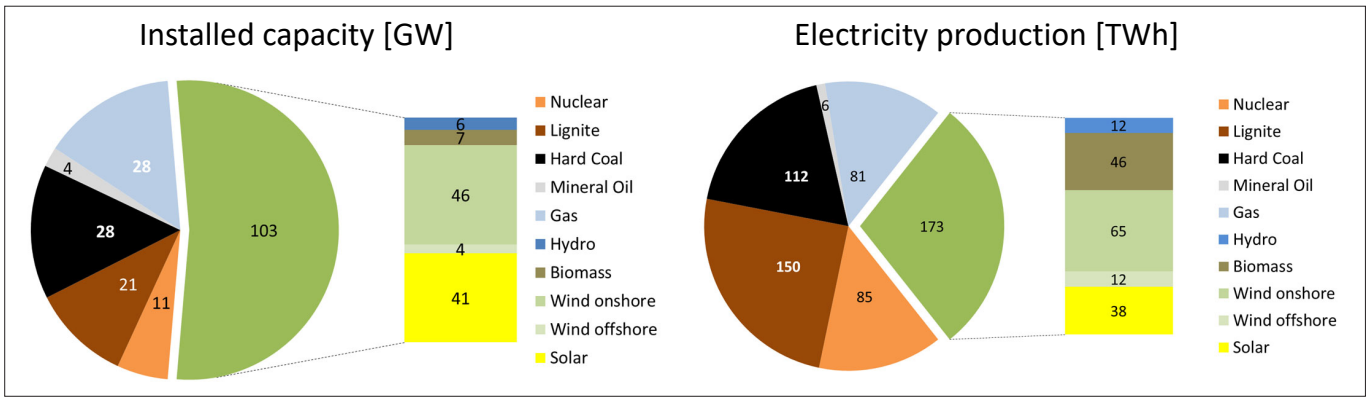

Fig. 1: Installed capacity and electricity production in Germany 2016 all in all and part of renewables (source: http://www.geglobalresearch.com/media/RicardoPereira_ElectricalPower, BNetzA, AG Energiebilanzen, BMWi, Statistisches Bundesamt, Fraunhofer ISE)

Abb. 1: Installierte Leistung und erzeugte Strommenge in Deutschland 2016 gesamt und Erneuerbarenanteil (Quelle: http://www.geglobalresearch.com/media/RicardoPereira_ElectricalPowe, BNetzA, AG Energiebilanzen, BMWi, Statistisches Bundesamt, Fraunhofer ISE)

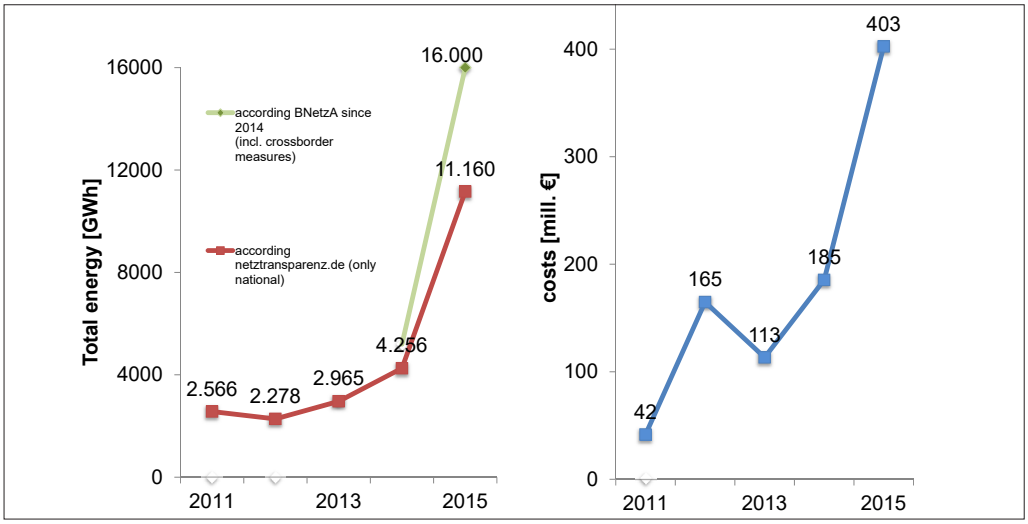

Fig. 2:
Fever chart of the "Energy Turnaround" annual "Redispatch" volumina and costs (Source: BDEW 2016, Basis BNetzA, netztransparenz.de)
Abb. 2:
Die Fieberkurve der Energiewende – Jährliche Re-Dispatch-Volumina und -Kosten (Quelle: BNetzA, netztransparenz.de)

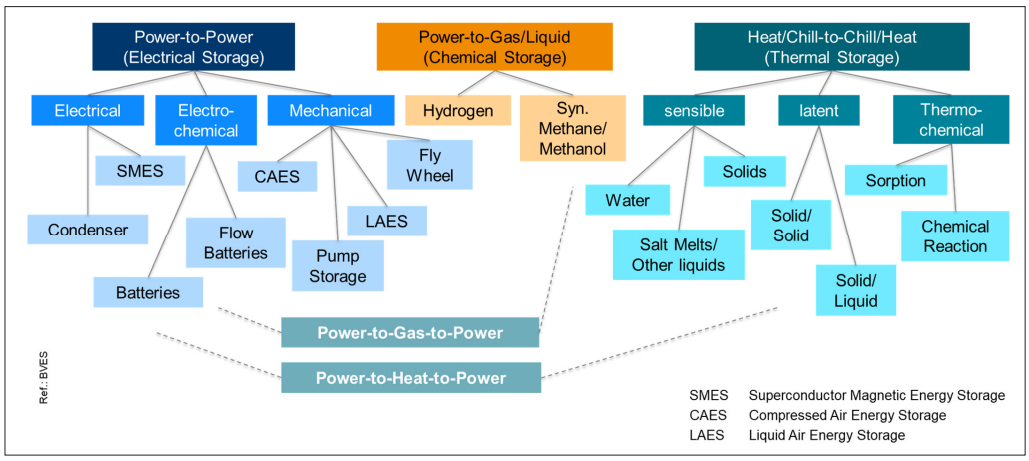

Fig. 3:
Overview of storage technologies
Abb. 3:
Übersicht Speichertechniken

storage. While in case of electrical storage input and output are electricity, in case of chemical and thermal storage, a more or less complex conversion process is needed. Typically, this is accompanied with additional efficiency losses. This has to be considered when doing cost-calculations even when electricity for this storage should be supplied free of charge.

Figure 4 gives an idea of unloading time and capacity of storage systems. As already mentioned, there is a difference between

Table 1: Typical storage in comparison to bridge a 14-day-"Dunkelflaute"
Tab. 1: Gebräuchliche Speicher im Vergleich zur Überbrückung einer 14-tägigen Dunkelflaute

	Storage capacity [Wh]	Number to bridge the "Dunkelflaute"
Mobile phone battery	10	2,300,000,000,000
Powerbank	13	1,769,230,769,231
Computer battery	55	415,132,481,405
Car battery	660	34,848,484,848
STEAG 15 MWh	15,000,000	1,533,333
STEAG 240 MWh	240,000,000	95,833
Pump storage Goldisthal	8,400,000,000	2,738
"Dunkelflaute" D 14 days	23,000,000,000,000	1

Wir sollten dafür sorgen, dass es nie dazu kommt. Häufig wird in dem Zusammenhang behauptet, es funktioniert doch alles, alles sei nur Schwarzmalerei. Ein Indikator für die Krankheit unseres Energieversorgungssystems ist das sog. Re-Dispatchvolumen und die Re-Dispatchkosten (Abbildung 2). Der Begriff „Dispatch" bezeichnet die Einsatzplanung von Kraftwerken durch den Kraftwerksbetreiber. Der Begriff „re-dispatch" bezeichnet die kurzfristige Änderung des Kraftwerkseinsatzes auf Geheiß des Übertragungsnetzbetreibers zur Vermeidung von Engpässen.

Abbildung 2 zeigt, wie dramatisch in den letzten Jahren die Kosten und das Volumen dieser Re-Dispatch-Maßnahmen angestiegen sind. Hier kann man von der Fieberkurve der Energiewende sprechen, die zeigt, dass unser Energieversorgungssystem ganz bestimmt nicht mehr gesund ist. Das gilt, obwohl wir zeitweise zum Stromexportland geworden sind. Aufgabe der Stromversorgung ist es nicht, „integrale" Überschüsse über das Jahr zu erzeugen, sondern zu jedem Zeitpunkt Angebot und Nachfrage von Strom im Gleichgewicht zu halten. Dabei können in Zukunft Speicher helfen.

6 Übersicht Speichertechniken

Abbildung 3 gibt einen generellen Überblick über Speichertechniken. Zu unterscheiden sind in dieser Abbildung elektrische, chemische und thermische Speicher. Während bei elektrischen Speichern In- und Output Strom sind, ist dies bei den chemischen und thermischen Speichern nicht automatisch der Fall. Vielmehr sind ggf. zusätzliche Umwandlungsschritte notwendig, um aus der chemischen bzw. thermischen Energie wieder Strom zu machen. Erfahrungsgemäß ist dies mit zum Teil erheblichen Wirkungsgradverlusten verbunden. Dies ist bei der Kostenbetrachtung zu

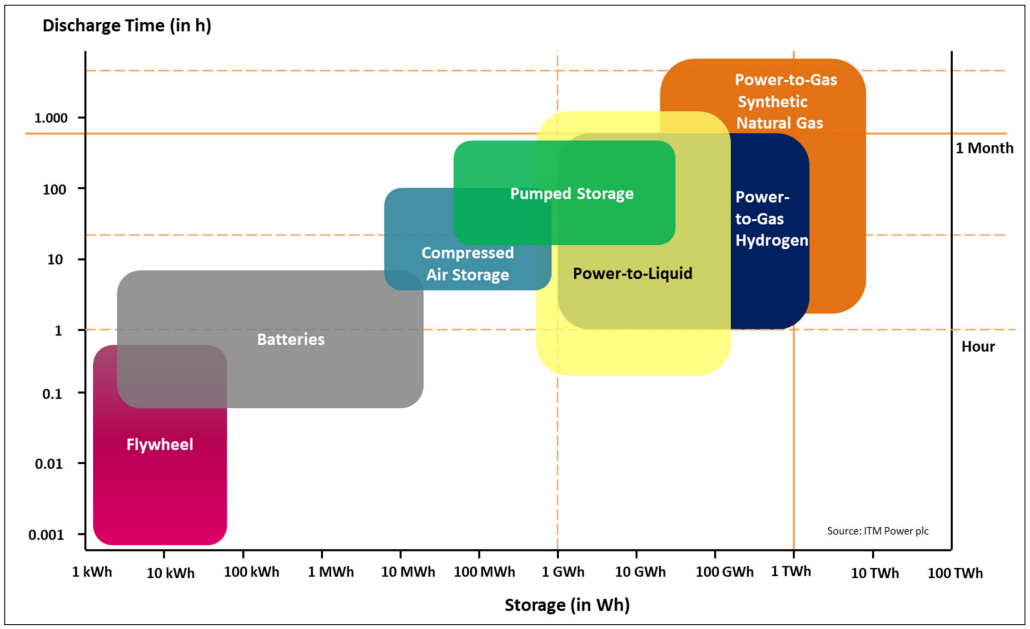

Fig. 4:
Energy storage technologies
Abb. 4:
Speichertechniken – Entladezeit und Kapazität

mass-storage systems, which can store a huge capacity over a long time, and short-term-storage, like for example fly-wheels and batteries. There are needs for both kinds of technologies. The short-term-storages are needed to stabilize the grid by stabilization of the frequency. Only in that way, the extreme fluctuations of electricity input by renewables on one hand and fluctuations by consumptions on the other hand, could be balanced.

The needed storage duration of long-term-storages can be derived by bridging a typical "Dunkelflaute". This German word describes clearly a situation when the sun is not shining and the wind is not blowing. The typical size to cover the "Dunkelflaute" could reach in Germany even two weeks. Table 1 compares capacities of typical battery and pump storage plants compares with this demand.

Considering long-term mass storage systems, power to gas technologies are favored. In the discussion the capacity of the existing gas storages and, as well, the storage capacity of the gas distribution, net itself, are sometimes overestimated. From our point of view, it is risky to use the needed gas storage systems for electricity purposes. Under this consideration power to liquid technologies are coming on the stage. At least, they are not more efficient, but they have the big advantage, that storage in form of tanks could be erected and used independently.

Considering the well-known conventional storage systems and here especially the pump storage plants, we are looking to a proof technology but extensions are not accepted same like for new high-voltage over headlines. Self-understanding is that extension of onshore-wind parks is not accepted as well.

7 Dynamic storage – battery technology

As dynamic storage, batteries have proofed as quite flexible technology. This coupled with the experience, that STEAG collected with partners in the so called R&D-project "LESSY" (Lithium Ion-Electricity-Storage-System), was the background for STEAG in further development of this kind of battery technology. STEAG had been a part of the in 2007 founded company Evonik. In the field of common R&D activities, batteries had been developed. The goal of the chemical part of Evonik Degussa was to develop a special separator for lithium-ion-batteries. Later on, the lithium-ion-battery had been developed itself. Primary, they should be used for automotive services. Figure 5 shows the design and the main figures of the containerized system LESSY. The further

berücksichtigen, auch wenn Überschussstrom teilweise kostenlos zur Verfügung steht.

Abbildung 4 beleuchtet die Aspekte Entladezeit und Kapazität von Speichern. Wie bereits erwähnt, ist zwischen Massenspeichern, die langfristig elektrische Energie speichern, und Kurzfristspeichern, wie z.B. Schwungrad oder Batterietechniken, zu unterscheiden. Einsatznotwendigkeiten ergeben sich für beide Techniken. Die kurzfristigen Speicher sind notwendig, um das Netz zu stabilisieren: sprich, die Frequenz konstant zu halten. Die zum Teil extrem schwankenden Einspeisungen der Erneuerbaren Energien auf der einen Seite und Schwankungen, die sich durch die Verbrauchsstruktur auf der anderen Seite ergeben.

Die Speicherdauer von Langfristspeichern ergibt sich zum Beispiel aus dem Zeitraum, der zur Überbrückung einer Dunkelflaute notwendig ist. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit, z.T. erhebliche Speichergrößen zu erreichen. Tabelle 1 vergleicht Kapazitäten, von denen wir zum Teil täglich Gebrauch machen.

Betrachtet man Langfristspeicher, so werden aufgrund ihrer Kapazität Power-to-Gas-Techniken vielfach diskutiert. Hierbei werden häufig die erheblichen Gasspeichermengen in Höhe von 25 Mrd. m^3 in Deutschland betrachtet. Vergessen wird dabei, dass diese Gasspeicher nicht ohne Kosten entstanden sind, sondern dass sie gezielt unter Einsatz von Kapital zur Speicherung von Gas errichtet wurden. Es ist fahrlässig, diese Speichermengen jetzt von Gasspeicherung einfach auf Stromspeicherung umzuwidmen. Vor dem Hintergrund dieser Betrachtung sind Power-to-Liquid-Techniken sicherlich nicht weniger aufwendig oder durch höhere Effizienz gekennzeichnet, allerdings bieten sie den riesigen Vorteil, dass Speicher in Form von Tanks unabhängig relativ problemlos errichtet werden können.

Betrachtet man die bekannten konventionellen Massenspeicher (hier sind insbesondere die Pumpspeicher zu nennen), so handelt es sich um eine bewährte Technik, deren Ausbau allerdings genauso wenig Akzeptanz findet wie der Bau von Hochspannungstrassen oder die Errichtung von Windparks oder konventioneller Kraftwerke.

7 Dynamische Stromspeicher – Batterietechniken

Unter den dynamischen Speichern stellen sich Batteriesysteme als sehr flexible Techniken dar. Dies, gepaart mit der Erfahrung, die mit Partnern gemeinsam im Rahmen des Forschungsvorhabens

Fig. 5:
Dynamic Storage History: LESSY (Lithium Ion-Electricity-Storage-System) experience in system support, Start 2009
Abb. 5:
Dynamischer Speicher Historie – LESSY (Lithium Ion-Electricity-Storage-System), Start 2009

Fig. 6: Large battery system, STEAG Lünen site
Abb. 6: Bau der Großbatteriesysteme, Beispiel Standort Lünen

development of the STEAG dynamic storage had been done battery supplier independent. But STEAG collected its experience in the primary control market, collected from its virtual power plants and the dynamisation of conventional power plants. Under consideration of the market opportunity this led to invest in six large storage systems with 15 MW capacities each. The purpose of this system was to offer primary control energy, securing grid stability and system safety. To use synergies, all of the six LBS (large-scale battery systems) had been located close to existing power stations. The cells as well as a packaging had been sourced without subsidies under market conditions. Electrical and civil

Main design data of the large battery system at each site

- 10 all-in-container each 1.5 MW
- 1 container for the control system
- Battery capacity fulfilling the rule for PC provision of 30 min

Dimension of the containers

- Length app. 12.8 m
- Width app. 2.6 m
- Height app. 2.8 m
- Weight app. 45 t

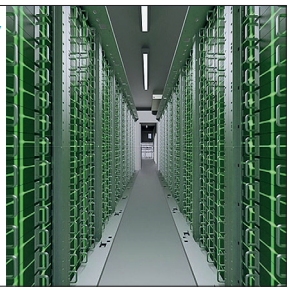

Fig. 7: Large battery systems – Technical data
Abb. 7: Große Batteriesysteme – Technische Eckdaten

LESSY gesammelt wurden, waren Beweggründe, dass STEAG bei der dynamischen Stromspeicherung auf die Batterietechnik gesetzt hat. STEAG war damals Bestandteil des EVONIK-Konzerns. Im Rahmen der gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten wurden dort Batterietechniken entwickelt. Hintergrund war der im Degussa-Bereich entwickelte keramische Separator für die Lithium-Ionen-Batterie-Technik und die darauf basierende Produktion von Lithium-Ionen-Batterien. Diese sollten primär im Automobilbereich Anwendung finden. Im Zuge der Forschungsarbeiten wurde zu klären versucht, inwieweit dieser Batterietyp in der Kraftwirtschaft eingesetzt werden kann. Hierzu wurde 2009 gemeinsam mit verschiedenen Partnern ein Forschungsvorhaben begonnen, das zum Inhalt hatte, Primärregelenergie am Standort Fenne zu erbringen (Abbildung 5).

Die wesentlichen charakteristischen Daten und Partner können dieser Abbildung entnommen werden. Nach Abschluss des Vorha-

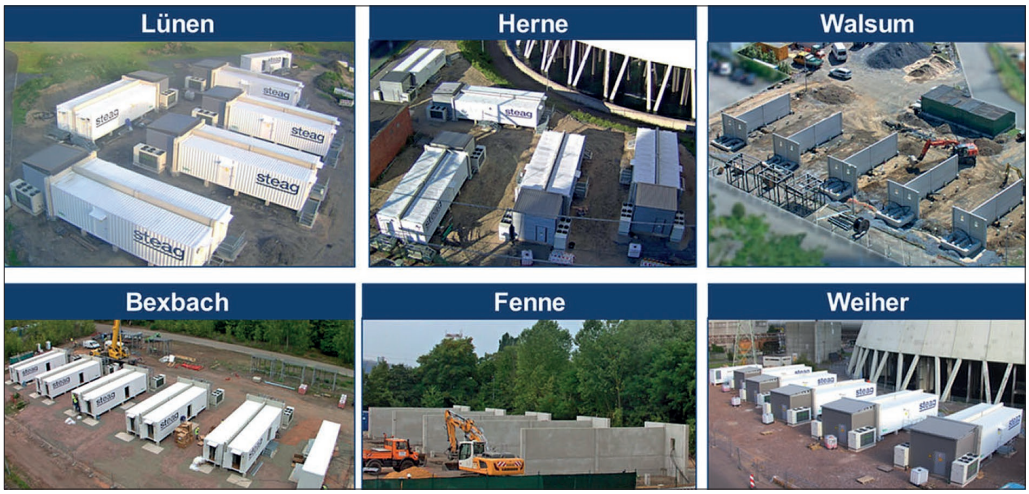

Fig. 8:
Large battery system STEAG sites
Abb. 8:
Große Batteriesysteme – STEAG Standorte

integration had been designed by STEAG daughter company STEAG Energy Services GmbH. The electrical connections had been delivered by STEAG Technischer Service (Figure 6). Figure 7 gives some information about the technical data of the LBS and shows a look into the storage container. Figure 8 shows the six large-scale battery systems during the construction phase.

8 Requirements and tasks of a large battery system

Figure 9 shows schematically how to define primary energy control, secondary energy control and minute and hourly reserve. For the use of primary energy control, a pre-qualification is compulsory needed. There is a weekly tendering from the transmission grid operator of about ±780 MW for the controlled area D-A-NL-CH. The tendering period is about one week and the minimum market lot ±1 MW and above this in 1 MW-steps. Because a 100 % technical availability has to be assured a back-up is needed. The minimum conditions for battery storage capacity are 30 minutes. If they are not replaced by other equipment from a pool, the payment is based on capacity.

Battery systems can offer besides delivering primary control energy other products which are of help in the energy turn-around:

- provision of control power and/or control capacity,
- supply of back-up power,
- peak shaving,
- black-start of power plants,
- provision of reactive power,
- homogenization of fluctuation generation,
- control of grid voltage,
- increase of short cut current.

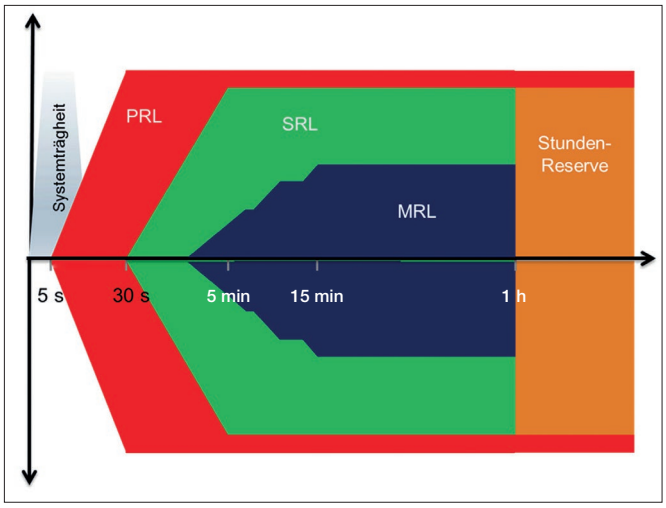

Fig. 9: Scheme of system services (PRL – primary control, SRL – secondary control, MRL – minute control, Stundenreserve – hourly reserve, Systemträgheit – system inertia)

Abb. 9: Schema Systemdienstleistungen

9 Other activities of STEAG in the field of storage technology and control energy

In the past, STEAG has hosted a plant for power to methanol in its power plant Lünen. This had been an EU-founded R&D project with different partners [4]. As a result of the energy turnaround, this project could not be finalized, because the CO_2 needed for synthesizing the methanol could no longer be made available due to the coming shut-down of the power station as a consequence

bens entwickelte STEAG die Idee, die gewonnenen Erkenntnisse im größeren Maßstab zu nutzen. Im Primärregelmarkt hat STEAG Erfahrung im Zusammenhang mit virtuellen Kraftwerken und mit der Dynamisierung von konventionellen Kraftwerken gesammelt. Unter Berücksichtigung der Marktmöglichkeiten führte dies zu der Investition in sechs Großbatteriesysteme mit je 15 MW zur Bereitstellung von Primärregelenergie zur Sicherung der Netzstabilität und der Systemsicherheit. Um Synergievorteile zu nutzen wurden sechs Kraftwerkstandorte der STEAG als Standorte für diese Großbatteriesysteme festgelegt. Es wurde die Verwendung der etablierten Lithium-Ionen-Technologie für die Zellen ausgewählt. Die Zellen und das Packaging wurden unter Marktbedingungen ohne Fördermittel beschafft. Die Planung der elektro- und bautechnischen Integration wurde durch die STEAG-Tochter STEAG Energy Services GmbH geplant (Abbildung 6). Die elektrotechnische Anbindung erfolgte durch STEAG Technischer Service.

Abbildung 7 gibt Auskunft über die technischen Daten der Großbatteriesysteme und ermöglicht einen Einblick in die Dimension der Speichercontainer.

Abbildung 8 zeigt die sechs Großbatteriesystemspeicher in der Bauphase [3].

8 Anforderungen und Aufgaben der Großbatteriesysteme

Abbildung 9 zeigt die Einordnung von Primärregeleistung, Sekundärregelleistung, Minuten und Stundenreserve in schematischer Form. Für die Nutzung als Primärregelleistung ist die Präqualifikation der Anlagen vom Übertragungsnetzbetreiber zwingend erforderlich. Wöchentlich erfolgt eine Ausschreibung für den Regelverbund D-A-NL-CH über ein Volumen von ±780 MW. Der Ausschreibungszeitraum beträgt eine Woche und die Mindestlosgröße für die Vermarktung ±1 MW und danach in 1 MW-Schritten. Da eine 100%ige technische Verfügbarkeit für Batterie und Netzanschluss gewährleistet sein muss, ist eine entsprechende Besicherung notwendig. Die Vergütung erfolgt auf Leistungspreisbasis.

Batteriesysteme können jedoch neben dieser Erbringung von Primärregelleistung auch weitere Aufgaben im Rahmen der Energiewende im Stromnetz erbringen. Dazu gehören:

- Unterbrechungsfreie Stromversorgung,
- Schwarzstartfähigkeit von Kraftwerken,
- Bereitstellung von Primärregelleistung,
- Verteilung von Lastspitzen,
- Bereitstellung von Blindleistung,
- Vergleichmäßigung fluktuierender Erzeuger,
- Erhöhung von Kurzschlussströmen.

9 Sonstige Aktivitäten der STEAG im Bereich der Speichertechnik und Regelenergie

STEAG hat in der Vergangenheit für ein EU-gefördertes Forschungsvorhaben seinen Standort Lünen zur Verfügung gestellt, um die Methanolerzeugung, d.h. das Thema Power-to-Liquid näher zu untersuchen [4]. Als Folge der Energiewende konnte dieses Vorhaben nicht in der geplanten Form zu Ende geführt werden, da die für die Synthetisierung des Kraftstoffs, also des Methanols, notwendige CO_2-Menge bedingt durch die Energiewende und die als Folge geplante Stilllegung von Kraftwerksstandorten nicht mehr zur Verfügung gestellt werden konnte. Es ist aber für die Zukunft geplant, an anderen Standorten des Unternehmens das Thema Power-to-Liquid bzw. Power-to-Fuel in Verbindung mit dem Thema CO_2-arme Fernwärme aus Steinkohle- oder Gaskraftwerken näher zu untersuchen.

of the energy turnaround. But in future, it is our aim, at another location of the company to continue the power to liquid activities. It makes sense to investigate the power to fuel technology together as a part of STEAG CLHC (CO_2 lean heat from hard coal) initiative. This should be in future also being adopted to gas field CCPP. It is the main goal, to use the CO_2 from the power station and hydrogen from electrolysis to synthesize fuels which can be easily stored. In this case, the power plant produces beside electricity, district heat and a chemical product or fuel in an environmental friendly manner.

In a joined R&D project, which is founded by the German ministry of Economics (BMWI) as part of the so called SINTEG initiative, 43 partners are engaged in the project Designetz. Main focus of the STEAG part "Sektorkopplung Flex 20+" it is to develop measures and components as well as strategies which ensure in future the safe operation of connected grids with a higher number of players in an economic way (Figure 10).

Fig. 10: Designetz
Abb. 10: Designetz Vorhaben

As well the question has to be answered how flexibilities could be used regional independent. With at least different technologies in different regions, it should be shown how an optimum grid could be established in total. STEAG has two big demonstrators: A district heating storage and a 20 MW electrical boiler. Both had been installed and intensive 24/7 tests are planned. As part of this R&D project, sector coupling will not only be part of the electricity and district heating grid, but also of the local mine gas grid which is operated by STEAG in the Saar area. Such dynamic elements could replace or extend electrical storages partly. In another step STEAG will investigate medium size storage systems with a volume of approx. 240 MWh and here not only lithium ion batteries are considered, but also NAS and Redox-flow-batteries. Another opportunity is the use of thermal storages in combination with existing power stations.

10 Conclusion

The energy turnaround is speeding up. Nevertheless or because of that: electricity becomes more and more popularly. On the other hand, the opposition against all kinds of electricity generation and distribution technologies is growing. The challenge is to design a sustainable, economical, flexible and at least accepted generation and distribution of electricity. The know-how about the individual technologies must be coming along with a system overview. For such kind of system overview independency of any technology is precondition. Battery systems and other storage technologies are a basic element of the energy turnaround. Against this background, it should be emphasized, that STEAG is standing for the entire energy mix consisting of conventional, renewable and storage technologies.

Ziel ist es, aus CO_2 des Kraftwerks und H_2 aus Elektrolyse synthetische Kraftstoffe zu erzeugen, die sich, wie oben beschrieben, leicht zwischenlagern lassen. Damit wird im Kraftwerksprozess mittels Kraft-Wärme-Kopplung zum einen Wärme, zum anderen aber auch ein chemisches Produkt oder Treibstoff in Verbindung mit der Stromerzeugung umweltfreundlich erzeugt.

In einem anderen Gemeinschaftsvorhaben wird im Rahmen der SINTEG-Initiative des BMWi gemeinsam mit 47 Partnern das Schaufensterprojekt Designetz (Abbildung 10) vorangetrieben. Zielstellung des STEAG-Teilvorhabens „Sektorkopplung Flex20+" ist es, Maßnahmen, Bauteile und Strategien zu ermitteln, die in Zukunft dazu führen, dass große verbundene Netze mit zahlreichen Akteuren stabil, zuverlässig und wirtschaftlich zugleich betrieben werden können.

Des Weiteren ist die Frage zu beantworten, wie Flexibilitäten unabhängig von lokalen Erzeugungsstandorten eingesetzt werden können. Ziel ist es dabei, großflächig und im Austausch mit einer großen Anzahl von Verbrauchern und Erzeugern zu einem Optimum im Gesamtnetz zu kommen. STEAG wird anhand zweier Großdemonstratoren, Fernwärmespeicher und Elektrodenkessel erarbeiten, wie dezentrale Flexibilitätspotenziale in komplexen und verbundenen Netzen sinnvoll eingebunden werden können. Dazu sind intensive 24/7-Tests geplant. Im Rahmen dieses Vorhabens wird die Sektorkopplung nicht nur zwischen Strom- und Wärmenetz, sondern auch mit dem lokalen Grubengasnetz, das STEAG im Bereich der Saar-Kraftwerke betreibt, erprobt. Derartige Dynamiken können elektrische Speicher zum Teil ersetzen bzw. ergänzen.

In einem weiteren Schritt wird STEAG untersuchen, Mittelfristspeicher mit einer Kapazität von ca. 240 MWh zu untersuchen. Insbesondere sollen hier weitere Techniken neben der Lithium-Ionen-Technik z.B. Natrium-Schwefel oder sog. Flow-Batterien einzusetzen. Auch die Möglichkeiten thermischer Speicher im Zusammenhang mit vorhandenen Kraftwerken werden untersucht.

10 Fazit

Die Energiewende nimmt an Fahrt auf. Trotzdem, oder grade deswegen wird, wie aufgezeigt, Strom immer begehrter. Auf der anderen Seite wächst der Widerstand gegen alle Stromerzeugungs- und Übertragungstechniken. Herausforderung ist es, die nachhaltige, preiswerte, akzeptierte und flexible Erzeugung und Verteilung von Strom zukunftssicher zu gestalten. Das Wissen um Einzeltechniken muss gepaart werden mit Systemüberblick und System-Know-how. Toleranz für den Einsatz unterschiedlicher Techniken muss dazu natürlich vorhanden sein. Batteriesysteme und andere Speichertechniken sind ein elementarer Bestandteil der Energiewende. Vor diesem Hintergrund ist noch einmal zu betonen, dass STEAG für den gesamten Energiemix, bestehend aus konventionellen, Erneuerbaren und Speichern steht.

References / Literatur

[1] Mesarovic, M. & Pestel, E. (1974): Menschheit am Wendepunkt. 2. Bericht an den Club of Rome zur Weltlage. – DVA, Stuttgart, 184 S.; Taschenbuch.

[2] Benesch, W.A. & Pasini, S. (2011): New fossil fired power stations in Europe – Status and perspectives. – VGB PowerTech 4/2011: 28-31.

[3] Benesch, W.A. & Karalis, C. (20XX ?): Large-scale storage options under special consideration of 6x15 MW battery example. – VGB Power Tech 4/2017.

[4] Benesch, W.A. & Kakaras, E. (2016): Energy storage and grid for electricity, gas, fuel and heat – a system wide approach. – VGB Power Tech 4/2016.