



ADELE – DER ADIABATE DRUCKLUFTSPEICHER FÜR DIE ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG

RWE POWER – MIT GANZER KRAFT

RWE Power ist der größte Stromerzeuger in Deutschland und ein führendes Unternehmen in der Energierohstoffgewinnung. Unser Kerngeschäft umfasst die Produktion von Strom und Wärme – kostengünstig, umweltschonend und sicher – sowie die Förderung fossiler Brennstoffe.

Dabei setzen wir auf einen breiten Primärenergiemix aus Braun- und Steinkohle, Kernkraft, Gas und Wasserkraft, mit dem wir Strom im Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastbereich produzieren.

RWE Power agiert in einem Markt, der durch einen intensiven Wettbewerb geprägt ist. Unser Ziel lautet, an der Spitze der führenden nationalen Stromerzeuger zu bleiben und unsere internationale Position auszubauen. So wollen wir die Zukunft der Energieversorgung maßgeblich mitgestalten. Eine auf dieses Ziel fokussierte Strategie, unterstützt durch ein effizientes Kostenmanagement, ist die Basis für unseren Erfolg. Dabei verlieren wir einen wichtigen Aspekt unserer Unternehmensphilosophie nie aus den Augen: den Umweltschutz. Der schonungsvolle Umgang mit der Natur und ihren Ressourcen ist bei RWE Power mehr als nur ein Lippenbekenntnis. Unsere gesunde wirtschaftliche Basis sowie die kompetente und engagierte Arbeit der rund 17.800 Beschäftigten unter dem Dach von RWE Power ermöglichen es uns, die Chancen im liberalisierten Energiemarkt konsequent zu nutzen.

Unser unternehmerisches Handeln ist dabei eingebettet in eine Unternehmenskultur, die von Teamgeist und interner wie externer Offenheit gekennzeichnet ist. Mit einem etwa dreißigprozentigen Anteil an der Stromerzeugung sind wir die Nummer eins in Deutschland und mit neun Prozent die Nummer drei in Europa. Das wollen wir auch zukünftig bleiben. Deshalb bringen wir uns konstruktiv ein in die Konzeption einer Energieversorgung der Zukunft. Unser Ziel: Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Klimaschutz miteinander in Einklang zu bringen. Wir geben Impulse – mit unserem Know-how, innovativen Technologien und erheblichen Investitionen.

Forschung und Entwicklung haben deshalb bei uns strategische Bedeutung. Unsere Wissenschaftler und Ingenieure verfolgen Visionen, erschließen Potenziale, setzen Ideen um. Diese Innovationskraft stärkt das Unternehmen im wachsenden Wettbewerb und auf dem Weg in die Zukunft. Sie schafft die Voraussetzung für eine hohe Sicherheit der Energieversorgung und für wirtschaftlichen Erfolg. Dafür arbeiten wir – mit ganzer Kraft.

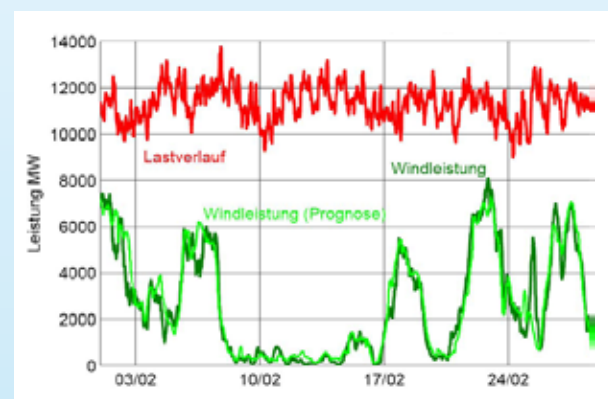


DRUCKLUFTSPEICHER ALS PUFFER FÜR STROM AUS WIND UND SONNE

Der Bedarf an flexibler elektrischer Ausgleichsleistung zum Erhalt der Netzstabilität wächst stark.

Bis 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien an der deutschen Stromerzeugung von heute rund 15 Prozent auf 30 Prozent steigen. Der größte Teil des Zubaus wird – neben der Biomasse – auf Windkraft und Photovoltaik entfallen: Allein die Erneuerung von Turbinen an Land und der Ausbau auf See werden die installierte Leistung der Windenergie auf fast 50.000 Megawatt (MW) verdoppeln. Die Einspeisung von Wind- und Solarstrom ist aber witterungsabhängig und kann stark schwanken – erfahrungsgemäß zwischen Null und 85 Prozent der installierten Maximalleistung. Damit das Stromnetz stabil bleibt, müssen diese Schwankungen ausgeglichen werden. Denn eingespeiste und verbrauchte Strommenge müssen zu jedem Zeitpunkt gleich sein. Heute werden dazu flexibel einsetzbare konventionelle Kraftwerke genutzt, in der Regel Pumpspeicher-, Erdgas- und Steinkohlekraftwerke.

Deren Kapazitäten sind heute bei bestimmten Witterungslagen schon nahezu ausgereizt. Sie werden



Stromverbrauch und Stromerzeugung aus Windenergie in der VET-Netzzone (Februar 2008) (Quelle: VDE Studie)

zudem durch den wachsenden Anteil von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) eher sinken als zunehmen. Und auch KWK-Anlagen richten sich nicht nach dem Strombedarf; ihr Betrieb folgt dem Wärmebedarf. Fazit: Der Bedarf an flexibler Kraftwerksleistung, also an kurzfristig verfügbaren Strommengen, wächst immens.

Hier liegt die Chance für Speichertechnologien: Übersteigt das Stromangebot zum Beispiel an einem windigen Tag die Nachfrage, kann der Strom gespeichert werden, um dann bei Windstille wieder ins Netz eingespeist zu werden. Gelingt das in großem Maßstab, kann das Zusammenspiel konventioneller Kraftwerke mit erneuerbaren Energien optimiert werden. Speichertechnologien werden kein Allheilmittel sein, können aber im Strommarkt der Zukunft erheblich an Bedeutung gewinnen.



STROMSPEICHERUNG HEUTE: BEWÄHRTE TECHNIK, NEUE ANSÄTZE

Technik der Wahl ist heute das Pumpspeicherkraftwerk. Bei einem Überangebot von Strom wird Wasser elektrisch in ein Speicherbecken auf einem Berg gepumpt, um es dann bei erhöhter Stromnachfrage abzulassen und damit eine Turbine im Tal anzutreiben.

Der Wirkungsgrad liegt zwischen 75 und 85 Prozent. Heute gibt es in Deutschland Pumpspeicherkraftwerke von zusammen etwa 7.000 MW. Das Ausbaupotenzial ist eng begrenzt, insbesondere in Norddeutschland, wo der Ausgleichsbedarf am größten ist.

Druckluftspeicher arbeiten im Prinzip ähnlich: Während der Phasen mit Stromüberangebot verdichten elektrisch angetriebene Kompressoren Luft in einer Kaverne auf etwa 70 bar. Zur Entladung der gespeicherten Energie wird die Luft über eine Luftturbine geleitet, die einen Generator antreibt.

Genau wie bei Pumpspeichern ist die Leistung sehr schnell abrufbar. Ein Vorteil gegenüber Pumpspeichern ist aber, dass der sichtbare Eingriff in die Landschaft gering ist. Zudem können sie gerade auch in Mittel- und Norddeutschland nahe an den Schwerpunkten der Windstromerzeugung errichtet werden. Heute gibt es zwei Druckluftspeicherkraftwerke: eines seit

1978 in Huntorf (Niedersachsen), ein zweites seit 1991 in McIntosh (Alabama, USA). Der Wirkungsgrad der 320-MW-Anlage in Huntorf liegt bei etwa 42, der von McIntosh bei 54 Prozent. Damit bleiben sie mehr als 20 Prozentpunkte unter dem Wirkungsgrad von Pumpspeicherkraftwerken.

Was den Wirkungsgrad schmälert: Erstens muss die Luft, die sich bei der Kompression aufheizt, wieder auf Umgebungstemperatur abgekühlt werden, damit sie in der Kaverne gespeichert werden kann. Zweitens muss die kalte Luft beim Entladen des Speichers wieder aufgeheizt werden, da sie sich beim Entspannen in einer Turbine zur Stromerzeugung stark abkühlt. Bei den beiden heutigen Anlagen wird hierfür Erdgas verfeuert.

Wertvolle Wirkungsgrad-Prozente gehen verloren.

Physikalischer Hintergrund: Bei der Kompression von Luft entsteht neben Druck auch Wärme. Man beobachtet das zum Beispiel beim Pumpen an der Fahrradpumpe. Umgekehrt entsteht Kälte, wenn ein komprimiertes Gas entweicht und Druck verliert: Man fühlt sie beispielsweise beim Nachfüllen eines Gasfeuerzeugs.



Pumpspeicherkraftwerk Herdecke



Turbinenhalle des Pumpspeicherkraftwerks Vianden

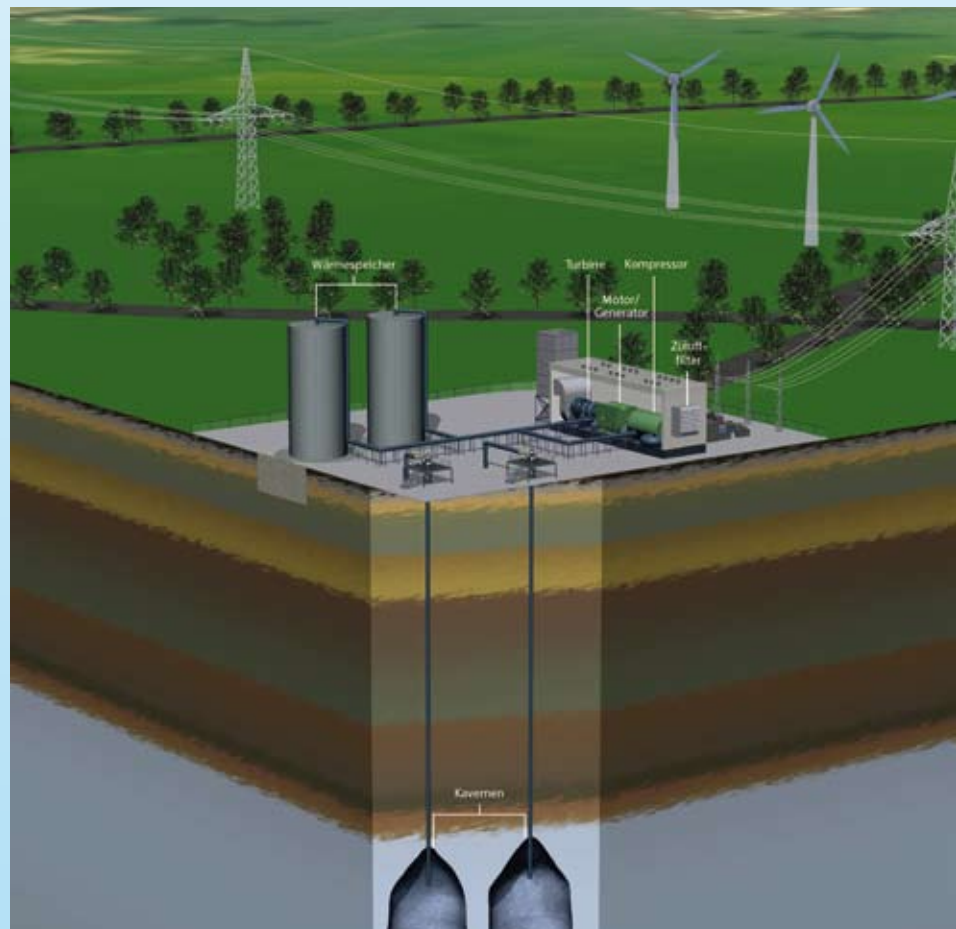
ADIABATER DRUCKLUFTSPEICHER MIT BESSEREM WIRKUNGSGRAD

RWE Power arbeitet mit Partnern am Projekt Adiabater Druckluftspeicher für die Elektrizitätsversorgung (ADELE). „Adiabat“ bedeutet hier: zusätzliche Nutzung der Verdichtungswärme zur Steigerung des Wirkungsgrades.

Die Wärme wird bei der Verdichtung der Luft nicht in die Umgebung abgeführt, sondern zum Großteil in einem Wärmespeicher aufgefangen. Bei der Ausspeicherung gibt der Wärmespeicher seine Energie dann wieder an die Druckluft ab, so dass sich die Erdgaszufuhr zur Aufheizung der Druckluft erübrigt. Das soll Wirkungsgrade von etwa 70 Prozent ermöglichen. Zudem wird der Einsatz fossiler Brennstoffe vermieden. Damit erlaubt diese Technik die CO₂-neutrale Bereitstellung von Spitzenlaststrom aus erneuerbaren Energien. Dass diese Technik machbar ist, haben das EU-Projekt AA-CAES (Advanced Adiabate Compressed Air Energy Storage) und eine Studie von General Electric und RWE 2008 nachgewiesen.

Ziel des neuen, im Januar 2010 offiziell besiegelten Gemeinschaftsprojekts des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V., der Ed. Züblin AG, der Erdgasspeicher Kalle GmbH, der GE Global Research, der Ooms-Ittner-

Hof GmbH und der RWE Power AG ist die Entwicklung des adiabaten Druckluftspeicherkraftwerks bis zur Angebotsreife für eine erste Demonstrationsanlage. Das Bundesministerium für Wirtschaft hat die Förderung des Projekts ADELE in Aussicht gestellt.



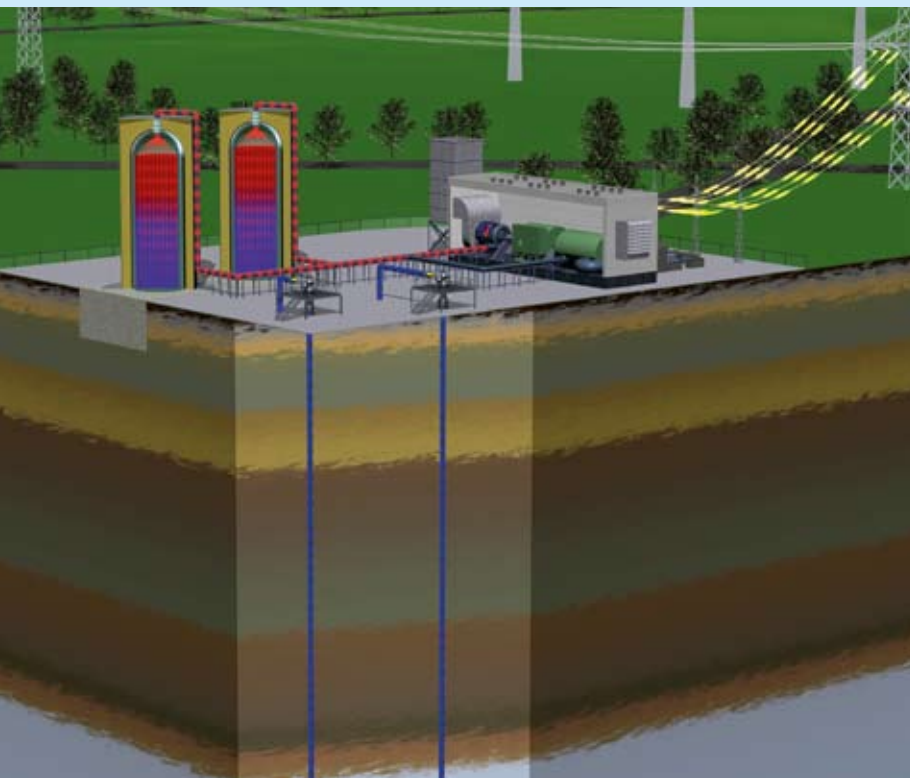
WELTWEIT OHNE BEISPIEL

Pionierarbeit: Die sechs Partner aus Industrie und Forschung wollen die adiabate Druckluftspeichertechnik zur großtechnischen Einsatzreife führen.

Eine kommerzielle Anlage soll im täglichen Ein- und Ausspeicherbetrieb etwa 1.000 Megawattstunden elektrischer Energie speichern und mehrere Stunden lang eine Leistung von etwa 300 MW_{el} ins Netz einspeisen. Die in der Entwicklungslinie hierzu als Vorstufe notwendige und naturgemäß kleinere Demonstrationsanlage könnte ihren Betrieb voraussichtlich frühestens 2016 aufnehmen. ADELE bündelt das Know-how und die Erfahrung eines Kraftwerkbetreibers, der Herstellerindustrie und der Forschung, um die offenen Fragen zur Technik zu klären.

RWE Power koordiniert das Projekt. Sie erstellt als zukünftige Betreiberin das Anforderungsprofil, das unter anderem die Einsatzstrategie, die Verfügbarkeit und Fragen zur Betriebssicherheit umfasst. Untersuchungen gehen von einem am Spotmarkt orientierten tageszyklischen Betrieb mit anteiliger Bereitstellung von Regelenergie aus. Auch die Prüfung denkbarer Standorte steht auf dem Arbeitsprogramm von RWE Power.

Das optimale Zusammenspiel aller technischen Komponenten, also die Systemauslegung, ist eine Kernaufgabe im Projekt. Unter Federführung von GE Global Research in Garching klären die Fachleute die übergreifenden maschinentechnischen und thermodynamischen Fragen und erarbeiten die bestmögliche Konfiguration für Kompressor, Turbine, Wärmespeicher, Kaverne und weitere Aggregate. Am Ende steht ein angebotsreifes Konzept für die gesamte Anlage.

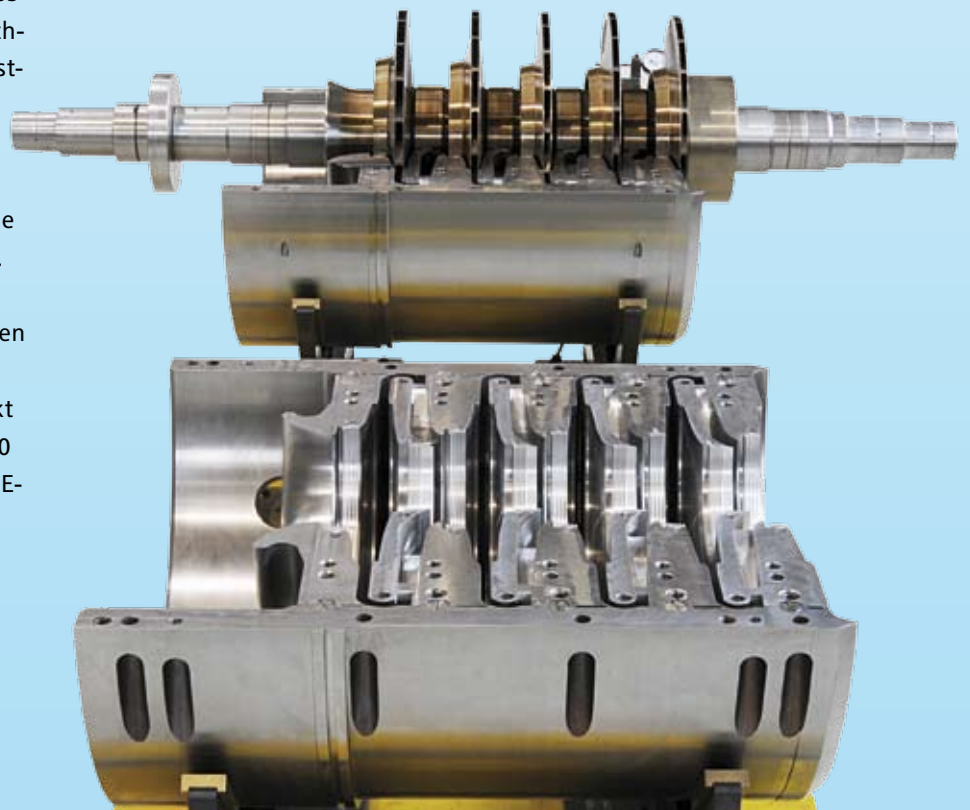


TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN BEI DER SPEICHERUNG: KOMPRESSOR UND WÄRMESPEICHER

Das ADELE-Konzept stellt extreme Anforderungen an die Technik: zyklische Belastung, Temperaturen über 600 Grad und ein Druck von bis zu 100 bar.

General Electric (GE) entwickelt den Kompressor, eine der Kernkomponenten von ADELE: Angetrieben von einem Elektromotor wird vom Kompressor Umgebungsluft angesaugt, auf bis zu 100 bar verdichtet und als heiße Druckluft dem Wärmespeicher zugeführt. Die Wechselwirkungen von hohem Druck und hohen Temperaturen am Kompressoraustritt sind aus einschlägigen großtechnischen Anforderungen nicht bekannt. GE muss innovative Lösungen für den gesamten Kompressorstrang finden, dabei die zyklische Betriebsweise berücksichtigen und gleichzeitig die Forderung nach Teillastfähigkeit bei weiterhin hohen Wirkungsgraden erfüllen. GE erstellt einen aerodynamischen Vorentwurf und die mechanische Vorauslegung des Kompressors. Detailfragen hierzu werden in einem zu ADELE parallel laufenden und von RWE und GE Oil & Gas finanzierten Entwicklungsprojekt geklärt. Die Wärme der über 600 Grad heißen Druckluft ist im ADELE-Konzept keine Abfallwärme. Sie wird gespeichert und beim

späteren Entladen zum Vorheizen der Druckluft wiederverwertet. Als Wärmespeicher dienen bis zu 40 Meter hohe Behälter mit Steinschüttungen oder keramischen Formsteinen, durch die die heiße Luft strömt. Welcher Typ von Wärmespeichersteinen hält die Hitze am besten und gibt sie bei Bedarf schnell wieder ab? Wie muss ein Wärmespeicher isoliert werden? Welche Baustoffe halten den Druckbehälter dicht? Wie müssen die Rohrleitungen an und in dem Druckbehälter aussehen? Zahlreiche material-, bau- und verfahrenstechnische Fragen stehen auf der Agenda der Projektpartner Ed. Züblin AG und ihrer Tochtergesellschaft Ooms-Ittner-Hof GmbH (OIH) sowie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR).



TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN BEI DER ENTLADUNG: TURBINE UND KAVERNE

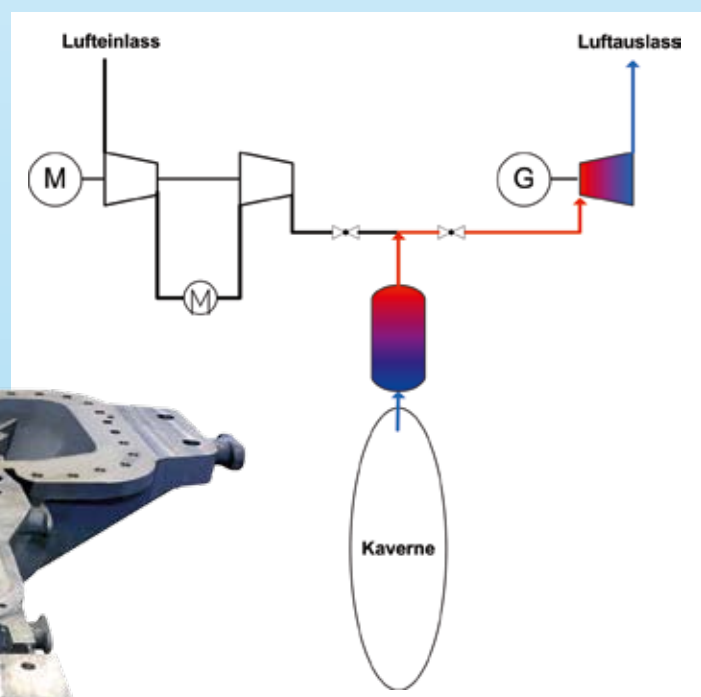
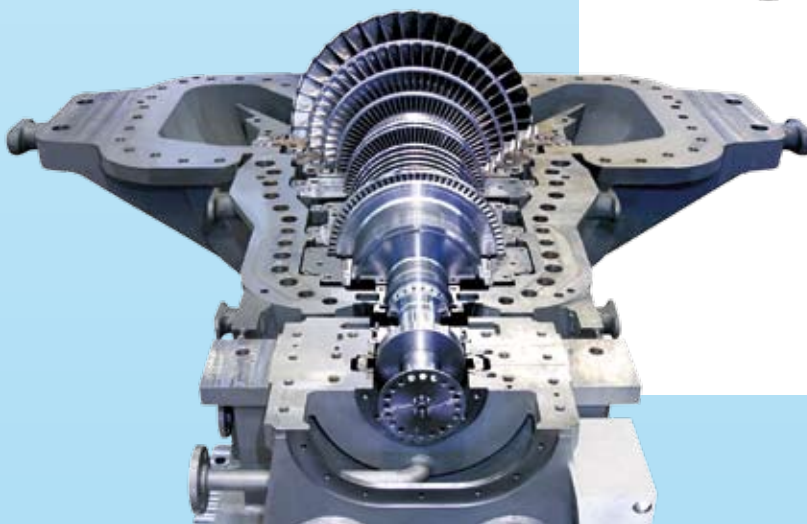
Turbinentechnologie und Kavernentechnik werden an die besonderen Anforderungen des adiabaten Druckluftspeicherkraftwerks angepasst.

Die Erdgasspeicher Kalle GmbH, ein RWE Konzernunternehmen, hat große Erfahrung in Planung, Bau und Betrieb von Untertage-speichern für Erdgas. Druckluft in einer unterirdischen Salzkaverne für ADELE zu speichern, bedeutet jedoch etwas anderes als Erd-gasspeicherung: Sie wird täglich und nicht langfristig ein- und ausgelagert; entspre-chend schnell schwankt der Druck. Dies hat Folgen für Größe und Auslegung möglicher Kavernen. Zudem kann die Luftfeuchtigkeit zu mehr Korrosion an der untertägigen Bohr-lochtechnik, an Kavernenköpfen, Rohren und Armaturen führen. Außerdem sind Geologie- und Standortfragen zu klären.

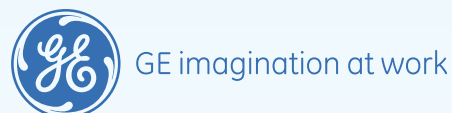
Die Luftturbine ist das Thema eines weite-ren Arbeitspakets von GE: In diese zentrale Komponente von ADELE wird später die Druckluft strömen, sie in Rotation versetzen und dadurch den angeschlossenen Genera-tor antreiben. Die Ingenieure von General Electric prüfen dabei, wie sie bestehende

Turbinentechnologie an den Einsatz im Druckluftspeicherkraft-werk anpassen können. So überschreiten die zu erwartenden Drücke die Eintrittsdrücke heutiger Gasturbinen deutlich. Zudem muss die Turbine stark schwankende Drücke und Durchfluss-mengen während des Entladens des Speichers bewältigen.

Die Turbine ist das letzte Glied in der Kette Ladung-Entladung. Der angestrebte Gesamtwirkungsgrad von rund 70 Prozent soll sich somit erstmals dem von Pumpspeicherkraftwerken nähern. ADELE wäre damit eine überzeugende Antwort auf die Fragen: Wohin mit dem Strom, wenn er gerade nicht gebraucht wird? Wer hilft den anfahren-den Spitzenlastkraftwerken, die Netzstabilität zu garantieren, wenn die Stromeinspeisung durch Wind und Sonne wegbricht?



GE – FOKUS KOMPRESSOR, TURBINE, INTEGRIERTE GESAMTANLAGE

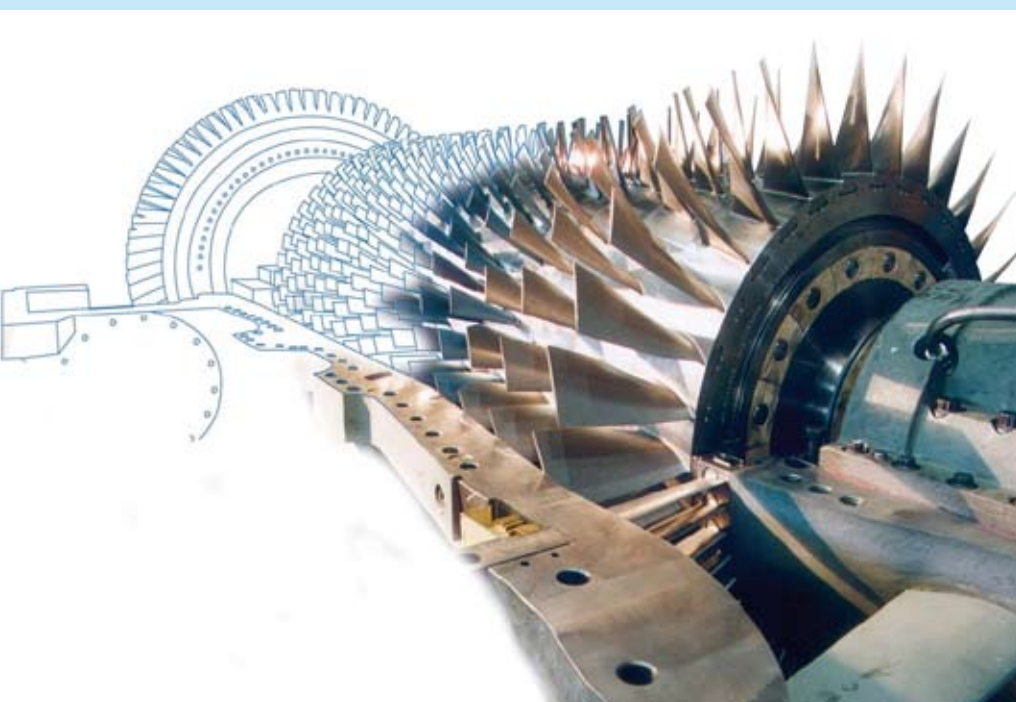


Aus der Entwicklung und dem Betrieb anspruchsvoller Energiesysteme und Turbomaschinen bringt GE umfangreiches Know-how für die Systemoptimierung und die Kompressor- und Turbinenentwicklung ein.

GE Global Research wurde 2004 in Garching bei München als europäisches Forschungszentrum des GE Konzerns eröffnet. Forschungsschwerpunkte sind die zukünftige Energieversorgung mit regenerativen und umweltverträglichen Energiekonzepten sowie Effizienzsteigerungen bei Kraftwerken und Turbomaschinen. Nach umfangreichen Vorarbeiten wird GE im Vorhaben ADELE und in einem parallel von RWE und GE Oil & Gas

finanzierten Projekt die Entwicklung der Druckluftspeichertechnologie mit Schwerpunkten in der Systemoptimierung sowie der Verdichter- und Turbinenentwicklung vorantreiben. Dies erfordert einen hohen Integrationsgrad aller Komponenten des Systems. Die technisch-ökonomische Optimierung des Gesamtsystems ist deshalb aus Anwendungssicht eine Schlüsselaufgabe, die in iterativer Form mit der Komponentenentwicklung

erfolgen muss. Neben der Systemoptimierung ist für den Erfolg des Gesamtkonzeptes ein effizienter und kostengünstiger Luftverdichter entscheidend. Die hohen Temperaturen und Drücke an seinem Austritt sind - bei gleichzeitig zyklischer Belastung - eine besondere technische Herausforderung, für die es noch keine kommerziellen Lösungen gibt. ADELE erfordert deshalb innovative Ansätze beim Entwurf des beteiligten Verdichterstranges und den Einsatz anspruchsvoller Fertigungsverfahren.



Um hohe Gesamtwirkungsgrade zu erzielen, ist auch eine geeignete Luftturbine erforderlich. Hier muss bestehende Technologie besonders an die hohen und zeitlich veränderlichen Turbineneintrittsdrücke und -volumenströme eines Druckluftspeicherkraftwerks angepasst werden. GE Global Research und GE Oil & Gas sind für die Entwicklung der Kernkomponenten Luftverdichter und Luftturbine verantwortlich.

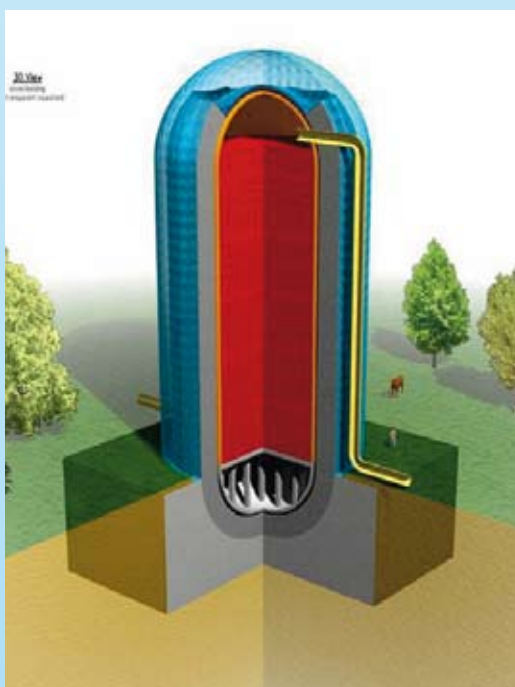
ZÜBLIN UND OOMS-ITTNER-HOF - FOKUS WÄRMESPEICHER



Wärmespeicherbehälter, Speichermaterial und Hochtemperaturisolierung sind Arbeitsschwerpunkte der Zentralen Technik der Ed. Züblin AG und deren Tochtergesellschaft Ooms-Ittner-Hof GmbH.

Die Ed. Züblin AG ist die Nummer eins im deutschen Hoch- und Ingenieurbau. Ihr Herzstück, das ihre technischen Kompetenzen vereint, ist die Zentrale Technik. Ein Schwerpunkt ihrer Arbeit ist die Energiespeicherung, in der die Ingenieure bereits für Solarkraftwerke umfangreiches Know-how und zahlreiche Patente erworben haben. Bei ADELE sind sie für die Entwicklung des Wärmespeicherdruckbehälters zuständig. Um eine große Wärmemenge auf dem hohem Temperaturniveau von über 600 Grad mit geringen Exergieverlusten ein- und ausspeichern zu können, wird der Wärmespeicher direkt durchströmt und die Wärme in Inventarsteinen gespeichert. Durch das hohe Druckniveau ist es notwendig, einen speziell an die Prozessanforderungen angepassten, druckfesten Speicherbehälter zu entwickeln und die von den Projektpartnern Ooms-Ittner-Hof und DLR zu entwickelnden Sub-Komponenten Hochtemperaturisolierung und Speicherinventar zu integrieren. Die zyklischen Temperatur- und Druckbeanspruchungen und die angestrebte Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit des Wärmespeichers stellen hohe Ansprüche an die Technik und erfordern innovative Lösungen und Materialien. Ooms-Ittner-Hof ist eines der leistungsfähigsten Unternehmen im Feuerfest- und Schornsteinbau und führt

Arbeiten sowohl im Engineering als auch die Montage weltweit aus. Das Unternehmen hat eine 150-jährige Tradition im Feuerfest- und Schornsteinbau für Industrieanlagen, wie Kraftwerke, Raffinerien, Glashütten und Stahlwerke. Im Feuerfestbau werden bewährte, über Jahrzehnte weiter entwickelte Materialien eingesetzt. ADELE stellt die Fachleute mit ihren Randbedingungen zyklischer Temperaturverlauf, Feuchtigkeit, hoher Druck und lange Standzeiten vor neue Herausforderungen. Das erfordert zum einen umfangreiche Materialtests. Zum andern werden wärmetechnische Berechnungen, konstruktive Auslegungen der Decken- und Wandelemente, Verankerungen, Montagekonzepte, Fertigungs- und Montageablaufpläne und die Dimensionierung der Speichersteine notwendig.



DLR – FOKUS WÄRMESPEICHER



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) blickt auf jahrelange Erfahrung zum Thema „Adiabate Druckluftspeicherkraftwerke“ zurück

Das DLR-Institut für Technische Thermodynamik in Stuttgart arbeitet an der Nutzbar-
machung von hocheffizienten Energiewand-
lungstechnologien und an technischen
Lösungen zur Einführung erneuerbarer Ener-
geträger. Das Spektrum der Arbeiten reicht
von grundlagenorientierten Laborarbeiten
bis zum Betrieb von Pilotanlagen.

Einer der Arbeitsschwerpunkte ist die Hoch-temperatur-Wärme-
speicherung für Kraftwerkstechnik und Industrieprozesse, für
den langjährige Erfahrung und eine intensive Einbindung in
zahlreiche nationale und europäische Entwicklungsprojekte
bestehen.

Das Thema „Adiabate Druckluftspeicherkraftwerke“ ist dabei
seit mehreren Jahren ein Betätigungsfeld des Instituts:
Bereits ab 2003 wurden im vierjährigen europäischen Projekt
„AA-CAES“ erste Konzepte zum Aufbau eines Hochtemperatur-
speichers für diesen Kraftwerkstyp mit Partnern ausgearbeitet
und bewertet. Weitergehende Beiträge wurden in einer späteren
Studie im Auftrag von RWE geleistet.

Im BMWi-Projekt ADELE wird der zum Wärmespeicher bestehen-
de Kenntnisstand arbeitsteilig mit den Partnern Ed. Züblin und
OIH bis zur Demonstrationsreife weiterentwickelt. Schwer-
punkte der DLR-Beiträge liegen bei der Konzeption und bei
Auslegungsfragen zur Gestaltung des Speicherinventars und
der Hochtemperaturisolierung, die als Kernkomponenten die
Leistungsfähigkeit und die Kosteneffizienz des Gesamtaufbaus
entscheidend prägen.

Ergänzt werden die Arbeiten durch experimentelle Untersu-
chungen: So sichern Funktionstests zu Speicherkomponenten
die Entwürfe ab. Dazu werden bestehende Technikumsein-
richtungen des DLR genutzt. Zyklische Materialtests werden
die zur Materialwahl bestehenden Fragen beantworten.

Teststand zur Untersuchung von
Hochtemperaturspeichern am DLR Stuttgart



