



## Projet

Améliorer le stockage d'énergie par air comprimé



## Stockage d'air comprimé et de chaleur dans une galerie alpine

La couverture de nos besoins en énergie à partir de sources renouvelables rend nécessaire une augmentation du nombre d'installations de stockage d'électricité. À l'avenir, les systèmes de stockage d'air comprimé pourront servir de batteries dans les Alpes, tout comme les installations de pompage-turbinage.



Le stockage d'énergie au moyen d'air comprimé devient efficace lorsque la chaleur de compression est également stockée. Tel est le cas dans cette installation pilote munie de réservoirs de stockage pour la chaleur latente (au premier plan) et la chaleur sensible (en arrière-plan). *Source : Viola Beccatini*





## En un coup d'œil

- Grâce à la récupération de chaleur, les installations de stockage par compression sont en mesure de stocker l'électricité avec un rendement de 65 à 75 pour cent.
- En termes d'efficacité et de capacité, le système de stockage par compression est la seule technologie comparable au stockage par pompage-turbinage.
- La première installation pilote au monde se trouve en Suisse et prouve que le principe fonctionne.

L'énergie nucléaire et les combustibles fossiles, toujours disponibles, se voient progressivement remplacés par de l'électricité produite à partir d'énergie solaire et éolienne. En conséquence, les systèmes de stockage de l'énergie gagnent en importance, car l'électricité verte est à la merci des caprices de la nature et sa production ne coïncide pas toujours avec la demande.

## Une alternative douce

À l'heure actuelle, les installations de pompage-turbinage sont la seule option offrant une grande capacité et un bon rendement. Cependant, ces centrales hydroélectriques sont associées à un impact majeur sur le paysage et le cycle hydrologique, et sont par conséquent controversées. Une technologie stockant l'énergie de manière invisible serait donc utile, une option étant le stockage d'air comprimé dans des galeries rocheuses. Dans ce processus, l'air ambiant est comprimé dans une cavité étanche de la roche, emmagasinant ainsi de l'énergie. La pression dans la galerie peut ensuite servir à entraîner une turbine et à produire à nouveau de l'électricité.

Andreas Haselbacher de l'Energy Science Center à l'ETH Zurich est convaincu que le système de stockage par compression est en mesure de stocker de l'électricité à grande échelle. Avec son équipe, il travaille au développement d'une installation de stockage d'énergie thermique ; élément clé susceptible de rendre le stockage d'air comprimé aussi efficace que les centrales à accumulation par pompage.

## Plus de puissance grâce aux systèmes de stockage d'énergie thermique

La chaleur est le sous-produit inévitable de la compression de l'air. Dans les systèmes de stockage par compression d'air actuellement en service à Huntorf (D) et à McIntosh (USA), cette chaleur de compression est dissipée, donc perdue. Lors de la production subséquente d'électricité, l'air doit être réchauffé afin qu'il ne soit pas trop froid pour la turbine. Ce principe de fonctionnement est peu économique et ne restitue qu'un peu moins de la moitié de l'électricité consommée au cours de l'étape de remplissage du réservoir de stockage. Il serait beaucoup plus efficace d'emmagasiner plutôt que de gaspiller cette chaleur. Dans le cadre du projet présenté ici, les chercheurs ont mis au point un réservoir de stockage absorbant la chaleur produite pendant la compression de l'air et la restituant à l'air comprimé avant son expansion dans la turbine. Grâce à cette récupération de la chaleur, l'efficacité du stockage de l'électricité augmente à 65-75 pour cent.

### Un couple inséparable



Les tubes en acier contiennent un mélange spécial de substances pour le stockage de la chaleur latente. Viola Beccatini

Une partie du système de stockage d'énergie thermique est constituée de pierres tout à fait ordinaires qui se réchauffent dans le flux d'air chaud. On parle de stockage de "chaleur sensible". Lorsque l'air circule entre les pierres, il passe de plus de 500 degrés Celsius à environ 20 degrés, ce qui réduit les contraintes sur la roche causées par la pression élevée.

En amont du système de stockage de la chaleur sensible se trouve un élément de stockage plus petit. Pendant le chargement, celui-ci emmagasine la chaleur de manière latente, c'est-à-dire invisiblement, par fusion d'un alliage métallique spécial composé à 68,5 % d'aluminium, 26,5 % de cuivre et 5 % de silicium. Lorsque la cavité est déchargée, le matériau se solidifie et libère la chaleur de fusion. Pendant le processus de solidification, la température de l'alliage reste proche de son point de fusion de 525 degrés Celsius, défini par sa composition. Le système de stockage de la chaleur latente fait office de thermostat empêchant que l'air comprimé se refroidisse trop rapidement. Ce procédé protège les turbines et favorise la production d'électricité avec un rendement constant.

## Un travail de pionnier ouvre de nouvelles perspectives

Les chercheurs ont pu démontrer que ce principe fonctionne en se servant de la première centrale pilote au monde, construite par la société ALACAES dans une galerie utilisée lors de la construction du tunnel de base du Saint-Gothard. Dans l'ensemble, le système de stockage d'énergie thermique s'est comporté en accord avec les calculs des scientifiques.

Malgré des tests réussis, il reste un grand nombre de points à améliorer. Ainsi, l'essai avec le système de stockage de chaleur latente a donné lieu à une fuite du matériau contenu dans les récipients. Selon Andreas Haselbacher, ce problème est cependant facile à résoudre. Une tâche plus intéressante consiste à déterminer comment la composition du matériau de stockage peut être optimisée, afin de maintenir l'air comprimé sortant à une température aussi stable que possible. À cette fin, les chercheurs ont mis au point une nouvelle méthode permettant d'identifier rapidement des mélanges de matériaux intéressants.



Les chercheurs ont testé différents types de pierres pour le système de stockage d'énergie thermique. Viola Becattini

Les tests ont toutefois permis d'identifier des types de pierre, notamment une serpentinite des Alpes italiennes, capables de résister au traitement thermique sans devenir cassant et semblant être adaptés à une utilisation à long terme.

Grâce à l'installation pilote et aux expériences complémentaires, les chercheurs en ont beaucoup appris sur les difficultés techniques des installations de stockage par compression d'air et de stockage de la chaleur. La faisabilité technique étant largement clarifiée, la question de l'efficacité économique de ces installations se pose de plus en plus clairement. De premières études ont démontré que le système de stockage par compression d'air, avec son faible impact environnemental, pourrait s'avérer économique, et qu'il mérite une plus grande attention en tant qu'option de stockage pour de grandes quantités d'électricité.

En ce qui concerne le stockage de la chaleur sensible, il convient d'identifier les types de pierres les mieux adaptés au stockage. Les scientifiques ont testé en laboratoire diverses pierres en les chauffant et les refroidissant à maintes reprises. Certaines pierres ne sortent pas indemnes de cette épreuve. Elles perdent leur capacité calorifique spécifique et par conséquent refroidissent moins efficacement l'air comprimé chaud. Cependant, cette perte n'influe pratiquement pas sur la performance du système.

La porosité et la friabilité des pierres causées par le stress représentent un souci bien plus important. De petites particules de pierre sont susceptibles de bloquer l'installation ou même de pénétrer dans la turbine avec le flux d'air et d'endommager les aubes de la turbine. Les

## Produkte aus diesem Projekt

- Experimental investigation of the thermal and mechanical stability of rocks for high-temperature thermal-energy storage  
Date de publication: 01.01.18
- Pilot-scale demonstration of advanced adiabatic compressed air energy storage, Part 1 : Plant description and tests with sensible thermal-energy storage  
Date de publication: 01.01.18
- Pilot-scale demonstration of advanced adiabatic compressed air energy storage, Part 2 : Tests with combined sensible/latent thermal-energy storage  
Date de publication: 01.01.18
- Toward a new method for the design of combined sensible/latent thermal-energy storage using non-dimensional analysis  
Date de publication: 01.01.18
- Constrained multi-objective optimization of thermocline packed-bed thermal-energy storage  
Date de publication: 01.01.18
- Combined sensible/latent thermal-energy storage : filler materials, feasibility at the pilot scale, and design method  
Date de publication: 01.01.18
- Electricity storage via adiabatic air compression  
Date de publication: 01.01.18
- Druckluftbatterie in den Alpen  
Date de publication: 01.01.18
- Stromspeicherung über adiabatische Luftkompression  
Date de publication: 01.01.18
- So wollen Forscher das ungelöste Energie-Problem lösen  
Date de publication: 01.01.18
- So wollen Forscher das ungelöste Problem lösen  
Date de publication: 01.01.18
- Energie speichern mit Druckluft  
Date de publication: 01.01.18
- Druckluftspeicher in den Schweizer Alpen  
Date de publication: 01.01.18
- Stromspeicherung über adiabatische Luftkompression  
Date de publication: 01.01.18
- Adiabatic compression : More than just hot air  
Date de publication: 01.01.18
- Experimental and Numerical Investigation of Thermal Storage in a Pilot-Scale AA-CAES Plant  
Date de publication: 01.01.18
- Speichertechnik – unverzichtbarer Bestandteil der Energiewende  
Date de publication: 01.01.18
- Strom als Druckluft speichern  
Date de publication: 01.01.18
- Stromspeicherung über adiabatische Luftkompression Dr. Andreas Haselbacher  
Date de publication: 01.01.18



## Energie

Programmes nationaux de recherche 70 et 71

- Eine unterirdische Batterie aus Druckluft  
Date de publication: 01.01.18
- Wie das Grundproblem der Energiewende gelöst werden könnte  
Date de publication: 01.01.18



## Team & Kontakt

Dr. Andreas Haselbacher

Department of Mechanical and Process Engineering

EPF Zürich

Sonneggstrasse 28

SOI C 5

8092 Zürich

+41 44 632 69 05 [haselbac@esc.ethz.ch](mailto:haselbac@esc.ethz.ch)



Andreas Haselbacher  
Direction de projet



Viola Becattini



Peter Burgherr



Lukas Geissbühler



Christopher Mutel



Warren Schenler



Giw Zanganeh



**Energie**

Programmes nationaux de recherche 70 et 71

Le contenu de ce site représente l'état des connaissances au  
12.06.2019.