

MOBILE WÄRMEVERSORGUNG MITTELS LATENTWÄRME

Die Kehrrichtverwertungsanlage erzo in Oftringen nutzt einen Teil ihrer Abwärme in Form eines Latentwärmespeichers und führt diese «mobile Wärme» in Containern zum Hallenbad Rothrist. Das Wärmetransportsystem deckt den Wärmebedarf des Hallenbades vollständig ab und erwirkt eine Reduktion des CO₂-Ausstosses, obwohl dabei ein Diesel-Lkw zum Einsatz kommt.

Michèle Vogelsanger*, InfraWatt

Alternative Heizmethoden sind gefragter denn je. Gründe dafür gibt's mehrere: sich unabhängig machen von fossilen Energieträgern und vom Ausland, Betriebskosten senken sowie einen schonenderen Umgang mit der Umwelt pflegen. Wärmepumpen, Holz und solare Einsatzmöglichkeiten sind längst verbreitet. Ein altes Konzept, das neu wieder mehr in den Fokus rückt, ist der Einsatz von sogenannten Latentwärmespeichern. Im kleinen Stil kennt man das Prinzip von regenerierbaren Handwärmern. Diese durchlaufen einen Phasenwechsel und geben dabei Wärme ab.

Seit rund einem Jahr wird solch ein Wärmespeicher im Kanton Aargau eingesetzt. Initiant des innovativen Projektes «Mobile Wärme» war Jacques Hartmann der Entsorgung Region Zofingen erzo. Von der Technologie hatte er von einem Kollegen erfahren. Dieser berichtet auch über den Einsatz von Latentwärme in Deutschland. Um umfassender informiert zu werden, gab Hartmann 2013 der Firma Rytec AG den Auftrag, verschiedene Lösungen für einen zusätzlichen Wärmeabsatz der KVA miteinander zu vergleichen, unter anderem auch die Variante Latentwärmespeicher. Zur selben Zeit etwa plante man den Ersatz der alten Ölheizung des Hallen- und Freibades «Stampfi» in der Nachbargemeinde Rothrist und liess eine Energiestudie erstellen. Angesprochen auf eine mögliche Zusammenarbeit, liess Be-

triebsleiter Samuel Tschirky zusätzlich die Möglichkeit eines latenten Wärmespeichers zur Beheizung des Hallenbades prüfen. Aufgrund des fortgeschrittenen Alters des Hallenbades wurde rasch klar, dass ein Neubau am sinnvollsten ist, was zudem für die Realisierung eines neuen Heizsystems von Vorteil war. Das Fazit des Planungsbüros Rytec AG, das eine erste Abschätzung machte [1], war vielversprechend: Die Wärmebereitstellung für das Hallenbad in Rothrist über eine Wärmepumpe oder mittels mobiler Latentwärme aus der KVA ist aus CO₂-Sicht etwa gleichwertig. Die Bereitstellung via mobile Latentwärmespeicher ist gegenüber dem Ausbau des Fernwärmenetzes unter Berücksichtigung der fossilen Spitzenabdeckung energetisch effizienter und vor allem kostengünstiger, da ohne teure Leitungsinfrastruktur punktuell Wärme geliefert werden kann. Bis die Idee umgesetzt werden konnte, mussten jedoch noch viele Hürden überwunden und Menschen überzeugt werden. Jacques Hartmann und Samuel Tschirky hielten jedoch hartnäckig an ihrer Idee fest und das Neubauprojekt des Hallenbades mit Latentwärme wurde schlussendlich mit hoher Zustimmung von den Stimmbürgerinnen und Stimmbürgern der Gemeinde angenommen. Seit Mai 2019 stammt nun die Wärme im neu gebauten Hallenbad für das Badewasser, das Brauchwasser sowie für die Lüftung monovalent aus Abwärme der KVA in Oftringen. Nach rund einem Jahr Betrieb – sommers wie winters – ist der richtige Zeitpunkt gekommen, nachzufragen, wie sich das Konzept bewährt, was die Herausforderungen waren oder noch sind und auf welchen Erfahrungen im Hinblick auf zukünftige Latentwärme-Projekte aufgebaut werden kann.

RÉSUMÉ

UN APPROVISIONNEMENT MOBILE EN CHALEUR GRÂCE À LA CHALEUR LATENTE

Unique en son genre en Suisse, le projet «Mobile Wärme» (chaleur mobile) développé par l'association Entsorgung Region Zofingen erzo et la piscine couverte Stampfi de Rothrist utilise les rejets de chaleur de l'UIOM au moyen d'un accumulateur thermique latent et mobile sous la forme de sel acétate de sodium trihydraté.

Un accumulateur thermique latent utilise un matériau à changement de phase (MCP) pour stocker l'énergie thermique. Lorsque ces matériaux sont soumis à un apport énergétique sous forme de chaleur, ils changent d'état physique dans un premier temps au lieu de modifier leur propre température. Cette chaleur stockée est «dissimulée»: tant que le changement d'état n'est pas totalement terminé, la température propre du matériau n'augmente pas malgré l'apport thermique. Cette particularité du matériau permet de stocker la chaleur sur une longue période avec une faible perte d'énergie et de réutiliser continuellement le matériau.

FUNKTIONSPRINZIP LATENTWÄRMESPEICHER

Ein Latentwärmespeicher nutzt zur Speicherung thermischer Energie einen Phasenübergang eines Materials. Solche Materialien, deren Phasenwechsel zwischen fest und flüssig zum Speichern thermischer Energie genutzt werden, bezeichnet man als *Phase Change Material* (PCM). Das Besondere an PCM ist, dass die Materialien bei Energiezufuhr in Form von Wärme vorerst nicht ihre Eigentemperatur wechseln, sondern stattdessen eine Phasenumwandlung durchlaufen. Die gespeicherte Wärme ist «verborgen»: Solange die Phasenumwandlung nicht ganz abgeschlossen ist, steigt die Eigentemperatur des Stoffes trotz Wär-

* Kontakt: info@infrawatt.ch

mezufuhr nicht an [2]. Durch diese Eigenschaft kann Wärme über einen längeren Zeitraum mit geringem Verlust gespeichert und das Speichermedium immer wieder neu genutzt werden. Je nach PCM kann sehr viel Energie in wenig Masse gespeichert werden und – gerade Salze – sind meist kostengünstig erhältlich, was sie marktwirtschaftlich interessant macht [3].

PIONIERPROJEKT «MOBILE WÄRME»

Dieses Funktionsprinzip macht sich nun die erzo zunutze. Die KVA verstromt einen Teil der entstehenden Energie aus dem Verbrennungsprozess und speist rund 42 Mio. kWh/a Strom ins Netz ein, vergleichbar mit dem Strombedarf von rund 10 000 Einfamilienhäusern. Ein weiterer Teil der Abwärme wird von der Turbine ausgekoppelt und mittels Fernwärme zur Versorgung umliegender Siedlungsgebiete genutzt (rund 20 Mio. kWh/a). Ferner wird ein Gewächshaus, das sich auf dem angrenzenden Grundstück befindet, mit Abwärme aus dem Rauchgaswäscher beliefert. Es verbleiben aber weiterhin grössere Mengen an Abwärme.

Neu wird ein Teil davon aus dem Kreislauf des Fernwärmeverbundes mittels Latentwärmespeicher zu Heizzwecken des Hallen- und Freibades «Stampfi» genutzt, das einen Wärmebedarf von etwa 1 Mio. kWh/a hat. Das durch die Abwärme aus der KVA erhitzte Wasser strömt dabei durch einen Wärmetauscher im Innern eines gedämmten und speziell für diesen Einsatzzweck konstruierten Containers (Fig. 1). Dabei wird das im Container befindliche Salz Natriumacetat-Trihydrat $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ erhitzt. Diese Substanz, gemeinhin auch als Pökelsalz bekannt und in Wurstwaren genutzt, ist ökologisch unbedenklich und nimmt Temperaturen bis zu 100 °C an. Ab 58 °C wird das Salz langsam fluid und dient als latenter Wärmespeicher. Nach dem Transport zum drei Kilometer entfernten Hallenbad, mit einem Diesel-Lkw der Euro-6-Norm, stellt der Chauffeur den Tank ab und schliesst ihn an die Kopplungsstation an. Dabei wird beim Leitsystem des Hallenbades ein Signal und bei Wärmebedarf die Wärmeentnahme ausgelöst. Die thermische Energie wird dann wieder mithilfe eines Wärmetauschers übertragen und in einem Pufferspeicher (Wassertank) gespeichert, der rund 11 000 Liter fasst. Das abgekühlte Natriumacetat kristallisiert dabei langsam wieder aus und ein neuer Speicherzyklus kann beginnen. Die Wärmeübertragung dauert acht bis zehn Stunden, das Salz verbleibt dabei immer im Container. Im Sommer wird alle ein bis eineinhalb Tage ein Container benötigt, im Winter sind es zwei Container pro Tag. Aktuell sind drei Container vorhanden, sodass in der Regel ein Container als Reserve dient (Fig. 2).



Fig. 1 Container mit dem Salz als Latentwärmespeicher.

(Bild: erzo)

Eine Containerladung, rund 17 m³, entspricht etwa 2,1 MWh, d.h. rund 250 Liter Heizöl. Verglichen mit 16 000 Liter Öl, die ein Tanklastwagen üblicherweise fassen kann, erscheint dies im ersten Moment kaum konkurrenzfähig. Abwärme aus KVA enthält jedoch keine Primärenergie und gilt als CO₂-neutral [4]. So reduziert das Hallenbad in Rothrist seine jährlichen CO₂-Emissionen im Vergleich zu einer Ölheizung um 164 t pro Jahr und die Abwärme der KVA wird sinnvoll genutzt. Der Wärmepreis mit Latentwärme würde voraussichtlich in zukünftigen Projekten bei rund 18 Rp./kWh liegen.

Die Verantwortlichkeiten und Kostenaufteilung waren dabei klar definiert: Die erzo plante das Projekt, finanzierte die Kopplungsstation auf ihrem Gelände und die Anbindung ans Leitsystem, kaufte die drei Container ein und organisierte die Transportleistung (extern). Auf das Konto des Hallenbades gingen die Kosten der Kopplungsstation auf ihrem Gelände, des Wasserspeichers und natürlich der Wärmebezug. Ein Container in der hier genutzten Grösse kostet dabei rund 150 000 Franken, eine Kopplungsstation etwa 50 000 Franken.

DAS SAGEN DIE INVOLVIERTEN PERSONEN

Die Technologie in diesem Umfang angewendet, ist schweizweit einzigartig. Umso spannender, was die einzelnen involvierten Personen zum Projekt sagen können. Der Wärmeabnehmer, in

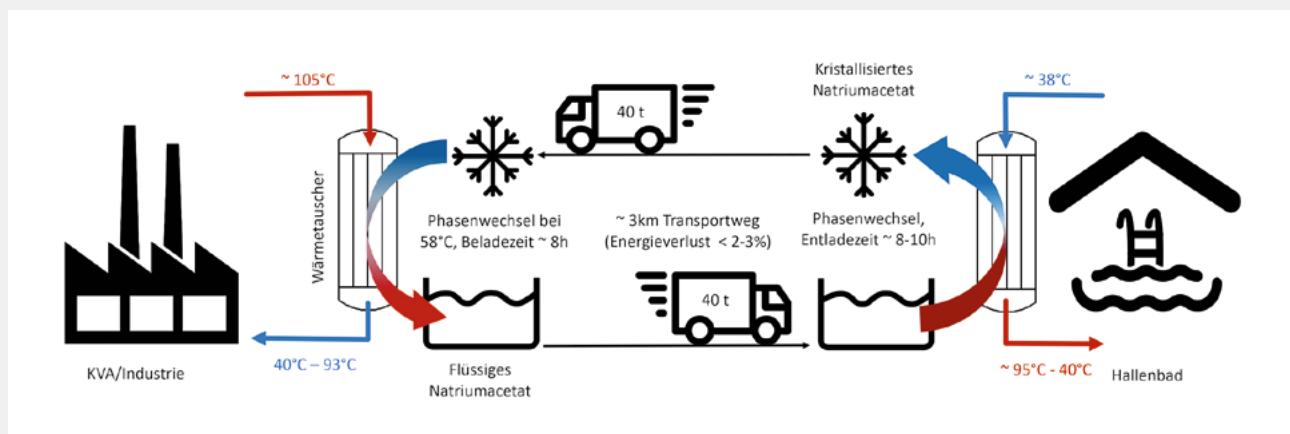


Fig. 2 Wirkungsprinzip eines Latentwärmespeichers am Beispiel der erzo/Badi Rothrist.

(Grafik: Rytec AG/InfraWatt)



Fig. 3 Von Infrastruktur zu Infrastruktur: Hallenbäder als potenzielle Abnehmer von Abwärme.

(Bild: Badi Rothrist)

diesem Fall die Gemeinde, respektive das Hallen- und Freibad Stampfi in Rothrist, ist die Schlüsselfigur in dem Ganzen. Luft, Badewasser- und Brauchwassertemperaturen sind in einem Hallenbad ganz sensible Faktoren, hier reagieren Badegäste bei Störungen sehr empfindlich.

Betriebs- und Projektleiter der Badi Stampfi

Samuel Tschirky ist überzeugt von dem Wärmesystem: «Ich kann diese Art der Wärmenutzung nur empfehlen, wir machen sehr gute Erfahrungen damit, auch im Winter hatten wir jederzeit genügend Wärme, sogar mit Reserven. Selbst ein kälterer Winter als die letzten wäre absolut kein Problem. Für uns liegen die Vorteile auf der Hand: Ausser der Kopplungsstation und der Zuleitung hatten wir keine Investitionskosten. Auf den Bau einer neuen Heizanlage konnten wir vollständig verzichten, ebenso entfallen für uns Wartungs- und Unterhaltsarbeiten. Den Wasserspeicher hätten wir so oder so benötigt und können erst noch CO₂ einsparen.»

Sein engagiertes Baditeam nutzte denn auch die Zeit der Corona-Schliessung und führte ein paar Experimente durch, um zu schauen, wo die Grenzen des Systems liegen. So wollten sie z. B. wissen, wie schnell sich die Becken nach einer Komplettleerung, zum Beispiel bei einer Revision und Grundreinigung, wieder auf Betriebstemperatur bringen lassen. Vom Resultat waren sie positiv überrascht: «Für eine rasche Beckenerwärmung wurde der Volumenstrom zwischen Container und Pufferspeicher von 8 auf 12 m³/h erhöht, damit mehr Wärme abgegeben werden kann. Dadurch konnten wir die Becken in kürzester Zeit von 14 °C auf die gewünschten Beckentemperaturen von 28 bis 34 °C bringen bei einem Gesamtvolumen von ca. 850 m³.» Als

grösste Herausforderung sieht *Samuel Tschirky* die richtige Dimensionierung des Wasserspeichers respektive die gezielte Wärmeentnahme und -speicherung: «In der sensiblen Phase der Umwandlung erhalten wir während rund ein bis zwei Stunden Hochtemperatur-Wärme zwischen 90 und 70 °C. Diese könnte man bei zwei Speichern von der Niedertemperatur-Wärme trennen und so effizienter für die höheren Temperaturanforderungen des Brauchwassers nutzen. Denn wir benötigen zur Hauptsache Temperaturen um 40 bis 45 °C im Wärmekreislauf, die wir erst in der latenten Phase erhalten. Aktuell gehen wir mit den unterschiedlichen Temperaturen in verschiedene Schichten beim Speicher und müssen aufpassen, dass der Speicher nicht zu heiss wird. Bei zwei Speichern wäre das kein Problem und man könnte flexibler reagieren. Wenn wir hingegen Entnahmetemperaturen aus dem Container unter 48 °C nutzen, riskieren wir kaltes Duschwasser. Da mussten wir uns zuerst einmal an die kritische Grenze herantasten, wie bei jedem neuen System. Nun läuft es aber problemlos.»

Projektleiterin des Ingenieurbüros

Elina Esau, die zuständige Projektleiterin des beteiligten Ingenieurbüros *Juffern AG*, erinnert sich: «Es war ein absolut spannendes Projekt und technisch anspruchsvoll. Die Be-

«Ich bin stolz, dieses bisher einzigartige Pionierprojekt, das in der Praxis hervorragend funktioniert, technisch begleitet zu haben – von der Planung bis zur Realisierung.»

Elina Esau, Projektleiterin Juffern AG

rechnungen zur Wärmeübernahme und Wärmeabgabe im Hinblick auf die Schnittstelle Verfahrenstechnik aufseiten KVA und Heizungstechnik aufseiten Hallenbad gestalteten sich nicht ganz einfach. Wir sind aber stolz, dass wir bei diesem schweizweit bisher einzigartigen Projekt zuverlässige Zahlen liefern und unser Know-how erweitern konnten.»

Leiter der KVA

Auch *Jacques Hartmann* der erzo hat Freude an dem Projekt, wenngleich es einige Herausforderungen gab: «Wir haben den Aufwand zu Beginn unterschätzt. Bei solch einem Projekt gibt es immer einige unbekannte Faktoren nebst der Einbindung ins Prozessleitsystem. Vom Einkauf der Container in Deutschland bis hin zu den Aufliegeanhängern beim Lkw, die an die Schweizer Vorgaben angepasst werden mussten. Unterdessen aber ist alles eingespielt und die Wärmeübergabe läuft reibungslos, sie ist praktisch zum Selbstläufer geworden. Wir freuen uns, einen zusätzlichen Teil unserer Abwärme verkaufen zu können, und hoffen, dass andere KVA oder Industrien von unseren Erfahrungen profitieren und ähnliche Projekte lancieren. Spannend für diese Art von Wärme sind neben Hallenbädern sicherlich Gewächshäuser [3], hier sehen wir eine grosse Chance und suchen weitere Wärmeabnehmer in der Umgebung.» Dennoch ist er sich bewusst, dass einer Anwendung von mobiler Wärme wirtschaftliche und ökologische (Transport-)Grenzen gesetzt sind. Es muss stets individuell geprüft werden, welche Wärmelösung am sinnvollsten ist. Hier seien ein gutes Ingenieurbüro sowie ein erfahrener HLK-Ingenieur Gold wert.

Projektleiter des Planungsbüros

Das Planungsbüro *Rytec AG*, respektive Projektleiter *Raphael Fasko*, der die Idee als Erster fachlich geprüft hat, spinnt den Faden denn auch bereits weiter: «Ich könnte mir vorstellen, dass die Technologie sehr kosteneffizient mittels Lastschiffen auf einem Fluss angewandt werden könnte. Das Speichermedium ist lebensmitteltauglich und wenn der Transport wirtschaftlicher und ökologischer werden würde, könnte dies spannend sein für eine breite Anwendung mit den entsprechenden Rahmenbedingungen.»

ÖKOLOGIE UND EFFIZIENZ

Der energetische Gesamtwirkungsgrad inklusive Wärmeverlust während des Transportes und des Kraftstoffverbrauches im vorliegenden Projekt beläuft sich auf sehr gute 90%. Der Wärmeverlust im gedämmten Container, ungefähr 4% in 24 Stunden, fällt praktisch nicht ins Gewicht, sondern v.a. der Transport mittels Diesel-Lkw. Nachhaltiger würde diese Art der Energienutzung dementsprechend werden, wenn der Transport ebenfalls mit erneuerbaren Energien stattfinden würde.

EINSATZBEREICHE

Ein Latentwärmespeicher kann mit bestehenden Heizsystemen verknüpft werden und muss nicht, wie im vorliegenden Projekt, monovalent erfolgen. Als Energiequellen sind KVA geeignet,

in der Schweiz verfügen aber auch EDV-Zentralen oder zahlreiche Industrie-/Gewerbebetriebe über grössere, ungenutzte Abwärmemengen. Sinnvollerweise konzentriert sich diese Technologie auf Gebäude mit einer möglichst ganzjährigen Wärmegrundlast, sprich Gewächshäuser, Sporthallen, Schwimmbäder, Spitäler, Altersheime oder Gewerbe mit tiefen Vorlauftemperaturen. Wirtschaftlich zentral ist dabei, wie der Transport bewerkstelligt wird. Denn die Transportkosten machen mit Abstand den grössten Anteil der laufenden Betriebskosten aus.

ZUKÜNFTIGE PROJEKTE

Aktuell ist nicht bekannt, dass andere KVA oder Industriebetriebe in der Schweiz Projekte mit Latentwärme in dieser Art planen. Die Voraussetzungen müssen passen, wie im Fall der erzo und

VORAUSSETZUNGEN FÜR LATENTWÄRME

- Transportdistanz in der Schweiz maximal 15 km – je näher, umso besser
- Rücklauf < 50 °C
- ab ca. 1 Mio. kWh/a interessant
- Wasserspeicher (Puffer), unbedingt gross genug dimensionieren, evtl. zwei Speicher um ein Temperatursplitting zu machen (Hochtemperatur/Niedertemperatur)
- Stellfläche für Container (9 × 3 m) und genügend Rangiermöglichkeit für einen 40-t-Lkw (grosszügige Räder bemessen => Pneuverbleiss)
- Platz für eine Kopplungsstation (Fig. 4)



Fig. 4 Übergabestation beim Hallenbad Rothrist, der Prozess der Wärmeabgabe dauert rund 8 bis 10 Stunden.

(Bild: erzo)



Nicht nur KVA-Abwärme wie hier im Bild, sondern auch Abwärme aus anderen Prozessen kann für einen Latentwärmespeicher genutzt werden.

(Bild: erzo)

des Hallen- und Freibades Stampfi in Rothrist. Und wie immer braucht es innovative und engagierte Personen, die eine Idee weiterspinnen und zur Umsetzung bringen. Man darf aber auf jeden Fall gespannt sein, wie sich die Anwendung dieser Technologie in Zukunft weiter entwickeln und verbreiten wird. Der erste Schritt in der Schweiz ist gemacht, Erfahrungswerte liegen nun vor, davon können zukünftige Projekteigner nur profitieren.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Fasko, R.; Frei, U. (2013): KVA-Wärmeabgabe mittels mobiler Latentwärmespeicher, Rytec AG, 2013, Download: http://www.rytec.com/docs/4.11_erzo_mobile_latentwrmespeicher_1.pdf
- [2] Komogowski, L. (2018): Hochtemperaturspeicherung mittels PCM. Fraunhofer Institut, Referat anlässlich Sommersymposium 2018
- [3] Hauer, A. et al. (2006): Simulation des Einsatzes von Latentwärmespeichern in Gewächshäusern, Schlussbericht, Bayrisches Zentrum für angewandte Energieforschung E.V.
- [4] Bundesamt für Energie BFE (2018): Faktenblatt Ab-

wärme für den Umgang mit energie- und klimapolitischen Instrumenten. Download: <http://www.infra->

[watt.ch/sites/default/files/8179-Faktenblatt%20Abw%C3%A4rme%20V1.2.pdf](http://www.infra-watt.ch/sites/default/files/8179-Faktenblatt%20Abw%C3%A4rme%20V1.2.pdf)

> SUITE DU RÉSUMÉ

Depuis mai 2019, l'eau de baignade, l'eau sanitaire ainsi que l'aération de la piscine de Rothrist sont intégralement chauffées à partir de rejets de chaleur de l'UIOM stockés dans des conteneurs de sel et transportés par camions. Le fournisseur ainsi que le consommateur de chaleur sont satisfaits du projet et recommandent ce type de valorisation des rejets de chaleur.

Incluant les pertes thermiques et la consommation de carburant, le rendement énergétique global du présent projet est très bon et s'élève à 90%. À cet égard, les pertes de chaleur au sein des conteneurs isolés, à savoir 4% en 24 h, sont pour ainsi dire négligeables, ce qui n'est pas le cas du transport. Ce dernier représente également la majeure partie des coûts d'exploitation. Le prix de la chaleur se situerait à env. 18 ct./kWh pour les futurs projets.

Il pourrait être judicieux pour les exploitants d'UIOM ou de chaleur à distance de considérer cette alternative lorsque le développement du réseau de chaleur à distance se révèle trop coûteux.