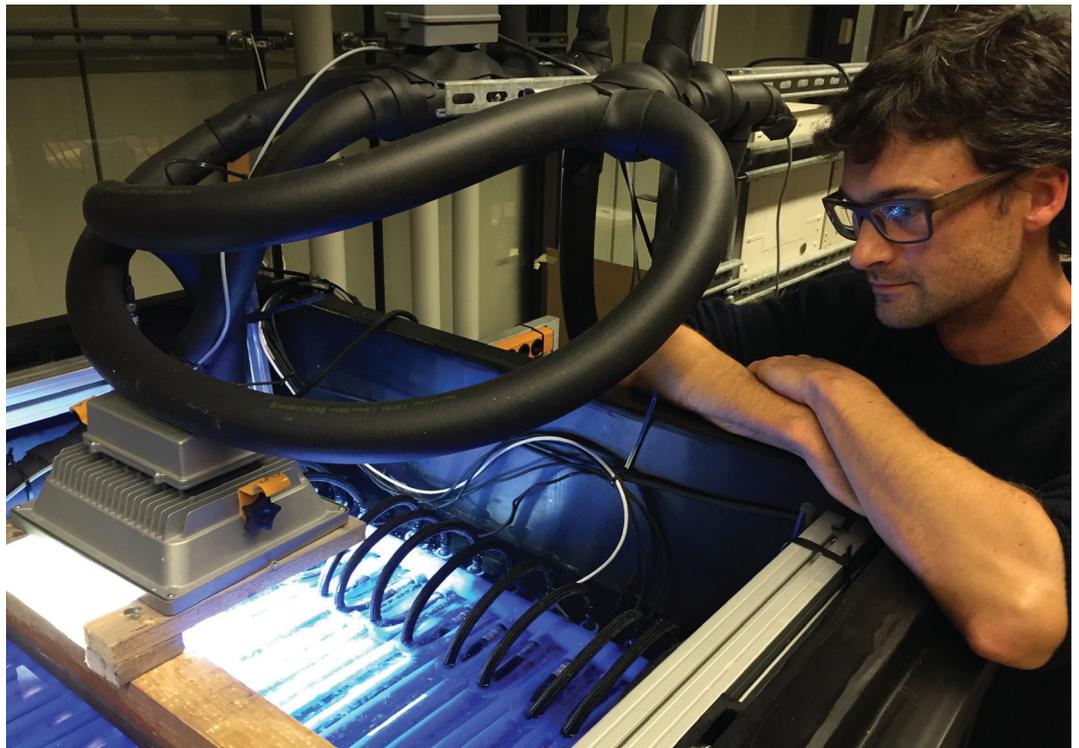


Eiskalt geheizt

Eisspeicher sind im Grunde nichts weiter als mit Wasser gefüllte Wannen. So einfach ihr Aufbau, so leistungsfähig sind Eisspeicher als Wärmespeicher. In Rapperswil-Jona (SG) testet das lokale Elektrizitätswerk die Technologie seit drei Jahren auf ihre Alltagstauglichkeit. Das Institut für Solartechnik der Hochschule für Technik Rapperswil liefert die wissenschaftlichen Grundlagen.



Daniel Philippen mit dem Eisspeicher im Labor des Instituts für Solartechnik der Hochschule für Technik Rapperswil. Im Wasser sichtbar: die Rohre des Wärmetauschers. Foto: B. Vogel

Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Rapperswil-Jona ist mit 26 000 Einwohnerinnen und Einwohnern die zweitgrösste Stadt des Kantons St. Gallen. Lokaler Energieversorger ist die Elektrizitätswerk Jona-Rapperswil AG (EWJR). Die Aktiengesellschaft, an der die Stadt mit 20 Prozent beteiligt ist, liefert nicht nur Strom, sie stellt als Generalunternehmerin auch schlüsselfertige Wärmepumpensysteme bereit. Über 600 solcher Anlagen sind unterdessen in Betrieb. Um den Strombedarf der

Wärmepumpen-Heizsysteme zu senken, hat EWJR-Geschäftsführer Ernst Gossweiler ein neues Ziel vor Augen: „Die heute eingesetzten Wärmepumpen arbeiten je nach Typ mit einer Jahresarbeitszahl von ca. 3 bis 4 – sie erzeugen aus dem eingesetzten Strom also das 3- bis 4-fache an Wärme. Dieser Wert ist gut, aber noch besser wäre ein Wert von 6 und mehr“, sagt Gossweiler.

Um dieses Ziel zu erreichen, setzt Ernst Gossweiler auf Heizsysteme, bei denen die Wärmepumpe mit Sonnenkollektoren und

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem Forschungsprojekt im Bereich Solarwärme und Wärmespeicherung, das vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt wird. Der Beitrag wurde unter anderem im Fachmagazin HK Gebäudetechnik (Ausgabe Februar 2016) publiziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

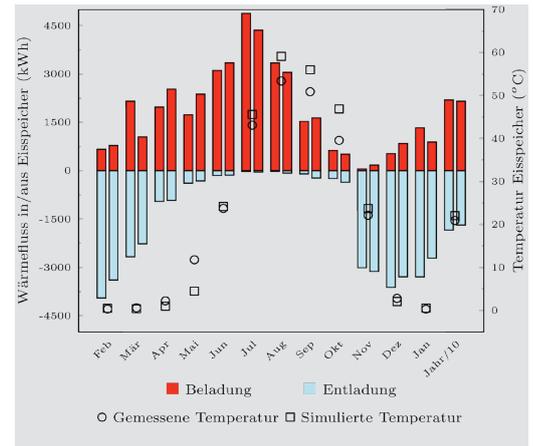
Bundesamt für Energie BFE

2 Eiskalt geheizt

einem Eisspeicher kombiniert wird. Die Wärmepumpe nutzt hier als Wärmequelle nicht Umgebungsluft oder Erdwärme, sondern die Wärme aus den Kollektoren oder die im Eisspeicher deponierte Solarwärme. Scheint die Sonne, ruht die Wärmepumpe meistens: Dann erreichen die Kollektoren hohe Temperaturen von über 50 °C und Warmwasser kann direkt erzeugt werden; bei Temperaturen von über 30 °C kann noch immer die Heizung direkt versorgt werden. Ist das Wasser aus den Kollektoren weniger warm als ca. 30 °C, wird es von der Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht – oder im Eisspeicher deponiert. Die Solarwärme wird auch immer dann in den Eisspeicher geleitet, wenn sie gerade im Gebäude nicht benötigt wird und der Warmwasserboiler durchgeladen ist. Im Eisspeicher kann die Wärme über Tage, Wochen und Monate gespeichert und so auch vom Sommer in den Winter übertragen werden. „Der Eisspeicher hilft uns zusammen mit den Kollektoren, die Wärmepumpe immer sehr effizient einzusetzen“, so Gossweiler.

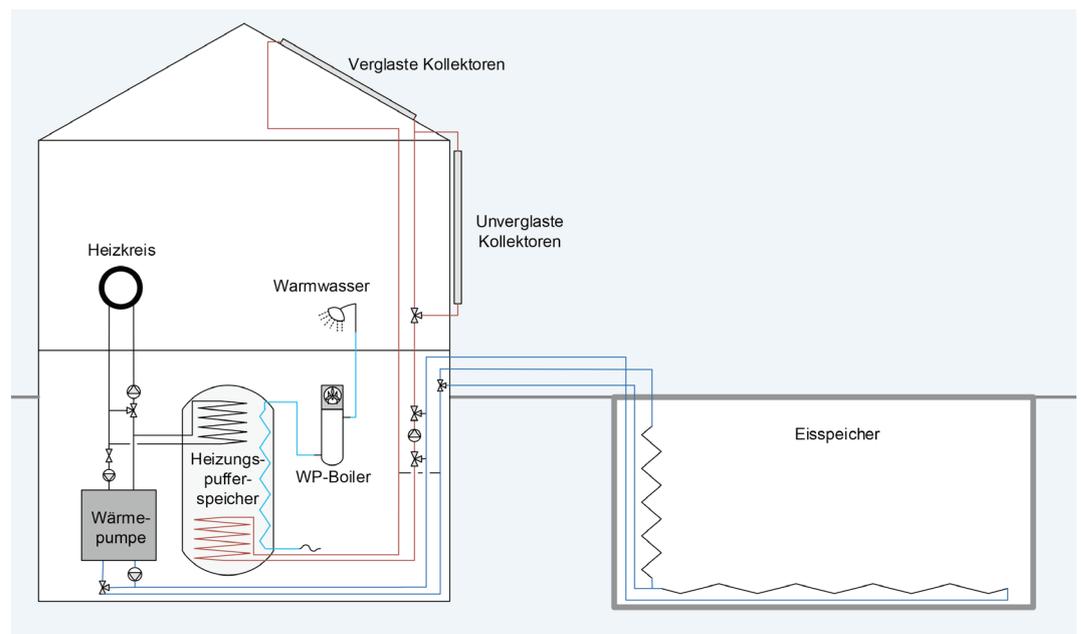
Rapperswil-Jona erprobt den Eisspeicher

Die Elektrizitätswerk Jona-Rapperswil AG hat mit dem Eisspeicher-System schon Erfahrung gesammelt. Seit Februar 2013 versorgt



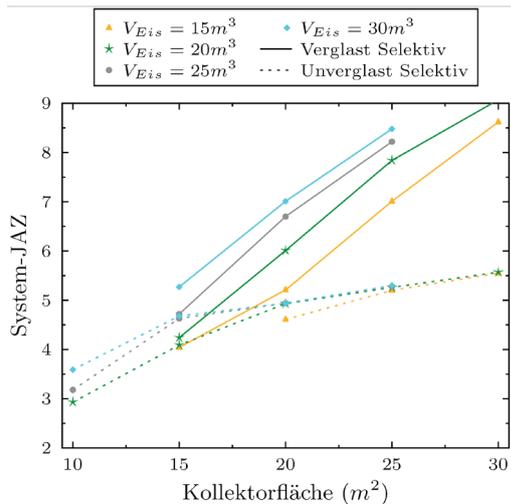
Der Eisspeicher wird hauptsächlich im Frühjahr und Sommer beladen. Aber auch im Winter wird mit Solarwärme immer wieder Wärme eingetragen, um Eis zu schmelzen. In den Monaten Dezember bis April ist der Speicher vereist und seine Temperatur liegt bei 0°C. Grafik: SPF

eine Sole-Wasser-Wärmepumpe (17 kW) in Rapperswil-Jona einen Kindergarten (360 m² Energiebezugsfläche) mit Heizwärme und Warmwasser (Warmwasser wird nur relativ wenig benötigt). Als Wärmequelle dienen 64 m² Sonnenkollektoren, davon 14 m² unverglast. Letztere nutzen nicht nur Strahlungsenergie, sondern können auch aus der



Schematische Darstellung eines Heizsystems aus Wärmepumpe, Sonnenkollektoren (verglast/unverglast) und Eisspeicher. Grafik: SPF

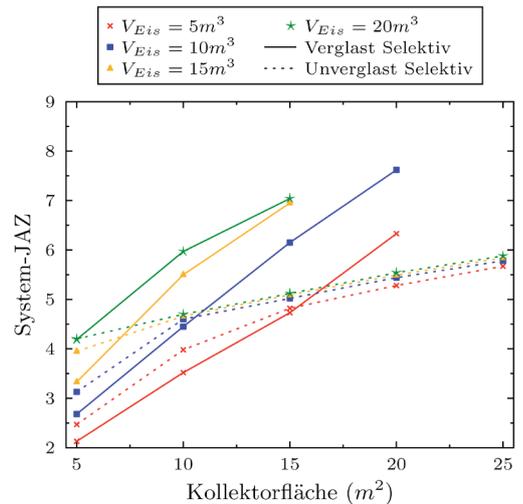
3 Eiskalt geheizt



Die Simulation zeigt für eines der untersuchten Modellhäuser mit Standort Davos, wie sich die Grösse des Eisspeichers (15 bis 30 m³) auf die Systemjahresarbeitszahl auswirkt: Mit dem Einsatz von verglasten Kollektoren und einem grossen Eisspeicher können hier sehr hohe Systemjahresarbeitszahlen erreicht werden. Grafik: SPF

Umgebungsluft Wärme entziehen und sind damit auf Erträge im Niedertemperaturbereich ausgelegt. Der zugehörige Eisspeicher (75 m³) besteht aus einer unterirdischen Betonwanne. Das System in dem (relativ schlecht isolierten) Bestandsbau arbeitet mit einer Jahresarbeitszahl von 5. Wäre der Warmwasserbedarf höher, z.B. wie in Wohngebäuden, könnte eine noch höhere Jahresarbeitszahl erreicht werden, da das Warmwasser im Sommerhalbjahr überwiegend von den Kollektoren und damit mit geringem Elektrizitätseinsatz bereitgestellt werden kann.

Ein zweites, grösser dimensioniertes Eisspeicher-System geht Ende 2016 in einem dreistöckigen Neubau mit Gewerbenutzung und sieben Wohnungen (2050 m² Energiebezugsfläche) in Betrieb: Die Wärmepumpe (50 kW) nutzt 120 m² unverglaste Kollektorfläche als Wärmequelle – oder den Eisspeicher, welcher ein Volumen von 200 m³ hat. Hier wird das EWJR dann Erfahrungen sammeln können mit einem Gebäude, das einen gängigen Heiz- und Warmwasserbedarf hat. „Für eine Stadt wie Rapperswil-Jona sind solche Systeme



Diese Simulation veranschaulicht für eines der herangezogenen Modellhäuser mit Standort Locarno, welchen Einfluss die Grösse des Eisspeichers (5 bis 20 m³) auf die Systemjahresarbeitszahl hat: Mit dem Einsatz von unverglasten Kollektoren können hier vergleichsweise hohe Systemjahresarbeitszahlen erreicht werden. Grafik: SPF

me interessant“, betont EWJR-Geschäftsführer Gossweiler. Die Verlegung von Erdsonden stosse in dicht bebauten Gebieten nämlich an Grenzen. Auch könnten in Rapperswil-Jona auf einem Drittel des Gemeindegebiets mit Rücksicht auf das Grundwasser keine Erdsonden verlegt werden.

Simulation für Auslegung von Heiz-Systemen

Ganz neu ist die Nutzung von Eisspeichern nicht. Seit längerem werden solche Anlagen in industriellen Kühlhallen für die Kälteerzeugung mit billigem Nachtstrom verwendet. Erst seit wenigen Jahren kommen Eisspeicher aber als Komponenten von Heizungssystemen zum Einsatz. In Genf wurden 2014 zwei 30 m²-Eisspeicher der Firma Fafco SA (Biel) in zwei achtstöckigen Wohnblocks eingebaut. Heizungsfirmen wie Viessmann-Isocal sehen für Heizsysteme aus Wärmepumpe, Sonnenkollektoren und Eisspeicher einen wachsenden Markt. Gleichzeitig besteht für die Optimierung der jungen und vergleichsweise teuren Technologie noch weiterer Forschungsbedarf.

Einen wichtigen Beitrag in dieser Hinsicht leistet das Institut für Solartechnik (SPF) der Hochschule für Technik Rapperswil. Die Forscher haben in einem kürzlich abgeschlossenen Projekt ('High Ice') eine Simulationsumgebung entwickelt, mit dem sich das Zusammenspiel der Systemkomponenten – Wärmepumpe, Sonnenkollektoren, Eisspeicher – darstellen und optimieren lässt. Die Simulation wurde anhand von drei (fiktiven) Modell-Einfamilienhäusern – Bestandsbauten mit einem Wärmebedarf von 59 kWh/m²a, 124 kWh/m²a und 128 kWh/m²a – entwickelt. Mit den erstellten Algorithmen können Planer zum Beispiel feststellen, wie gross die Komponenten für eine bestimmte Liegenschaft dimensioniert werden müssen, um ohne Zusatzheizung (z.B. Elektroheizstab oder Gasheizung) über den Winter zu kommen. Das Projekt wurde im Auftrag des Bundesamts für Energie durchgeführt.

Viel Wärme mit wenig Strom

Die Berechnungen im Rahmen von 'High Ice' bestätigen: Wärmepumpen-Heizsysteme mit Sonnenkollektoren und Eisspeicher erzielen Wärmeerträge, die 6 mal höher liegen als die eingesetzte Strommenge. Als Messgrösse dient dabei die sogenannte Systemjahresarbeitszahl, welche die gesamte Wärmelieferung (Heizung, Warmwasser) in Bezug setzt zu der Summe des eingesetzten Stroms (für die Wärmepumpe, aber auch für Umwälzpumpen von Kollektorfeld und Heizkreislauf sowie für Regelungstechnik). Zum Vergleich: Die Systemarbeitszahl einer durchschnittlichen Luft-Wasser-Wärmepumpe liegt nach Angaben der Rapperswiler Forscher bei 2,8, jene eines gängigen Erdsonden-Heizsystems bei 3,7.

Die Wissenschaftler des SPF zeigen in ihren Berechnungen, dass das dargestellte Heizsystem unter Einbezug der grauen Energie eine gute Ökobilanz aufweist, dies allerdings nur bis zu einer bestimmten Grösse des Eisspeichers bzw. der Kollektorfläche. Die ökonomische Betrachtung schliesslich zeigt, dass das Heizsystem mit Gestehungskosten von 30 Rp./kWh Wärme vergleichsweise teuer

ist. „Heute sind Wärmepumpen mit Sonnenkollektoren und Eisspeicher noch teurer als Erdsonden-Systeme, aber wir sehen Wege, mittelfristig auf die gleichen Kosten zu kommen“, sagt SPF-Forscher und 'High Ice'-Projektleiter Daniel Philippen. So führe der Einsatz unverglaster Kollektoren zu einer besseren Wärmeausbeute und erlaube, die Eisspeicher kleiner und damit kostengünstiger zu bauen.

Kostensenkung durch Standardisierung

Die Kosten beschäftigen auch die Nutzer der Eisspeicher-Technologie. Ernst Gossweiler veranschlagt für das innovative Heizsystem, das EWJR Ende 2016 in einem Rapperswiler Neubau in Betrieb nehmen wird, Investitionskosten von rund 420 000 Fr. und damit etwa doppelt so viel wie eine Erdsonden-Heizung kosten würde. Die Mehrkosten entstehen auch dadurch, dass die Projektbeteiligten hier Neuland betreten und der Aufwand für die Erstellung entsprechend grösser ist. Von solchen Hürden lässt sich der Promoter der Eisspeicher-Technologie aber nicht entmutigen. Standardisierung werde in Zukunft deutliche Kostensenkungen ermöglichen, sagt Gossweiler. Er entwickelt denn auch schon Ideen, um die Technologie für die Anwendung in Einfamilienhäusern zu adaptieren.

- » Der Schlussbericht zum Projekt 'High-Ice – System development for high solar thermal gains with ice storage and heat pump' abrufbar unter: <http://www.spf.ch/HighIce>
- » Auskünfte zum Projekt erteilt Jean-Christophe Hadorn, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Solarwärme und Wärmespeicherung: jchadorn@baseconsultants.ch
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Solarwärme und Wärmespeicherung finden Sie unter dem Link: www.bfe.admin.ch/CT/solar
- » Technologiestudie „Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren“ im Auftrag von EnergieSchweiz unter: http://www.energieschweiz.ch/_ws/publicationDetails.aspx?id=p7589&lang=de-ch

Wie Eis Wärme speichert

Eisspeicher machen sich das physikalische Phänomen zu Nutze, dass bei der Umwandlung von Wasser in Eis bzw. von Eis in Wasser relativ grosse Wärmemengen im Spiel sind. Ein Eisspeicher mit 75 m³ Volumen, wie er in einem Kindergarten in Rapperswil-Jona im Einsatz ist, kann durch den Vereisungsvorgang – also bei der Umwandlung von 0-gradigem Wasser in 0-gradiges Eis – Kristallisationswärme im Umfang von 5'200 kWh abgeben, wenn man annimmt, dass 75% des Speicherwassers vereist werden können. Diese Wärmemenge entspricht dem Heizwärmebedarf des Kindergartens in rund einem Wintermonat. Der Vergleich zeigt: Der Eisspeicher hält ein grosses Wärmereservoir bereit, das von der Wärmepumpe genutzt werden kann, zu Zeiten in denen die Sonnenkollektoren wetterbedingt als Wärmequelle nicht zur Verfügung stehen.

Liefern die Sonnenkollektoren mehr Wärme, als im Kindergarten gerade gebraucht wird, kann diese Energie im Eisspeicher zum Schmelzen von Eis eingesetzt werden. Wird das Wasser im Eisspeicher noch zusätzlich aufgewärmt, in der Pilotanlage bis Ende Sommer typischerweise bis auf 55 °C, kann dort nochmals Wärme in erheblichem Umfang gespeichert werden. Ausserdem steht der Eisspeicher im Austausch mit dem Erdreich, das ihn umgibt, sodass seine Wärmeverluste aus dem Sommer im Winter teilweise wieder zurückfließen und zum Schmelzen des Eises und zum Heizen des Gebäudes eingesetzt werden. Das Rapperswiler Forschungsprojekt hat sich auf Sole-Wasser-Wärmepumpen fokussiert; Eisspeichersysteme sind im Prinzip aber auch mit Luft-Wasser-Wärmepumpen möglich. BV

Wärmetauscher mechanisch enteisen

In Eisspeichern wird normales Leitungswasser als Speichermedium eingesetzt; für den Wärmetransport zwischen den Sonnenkollektoren, dem Eisspeicher und der Wärmepumpe hingegen wird eine Sole (Frostschutzmittel aus Wasser und Glykol) verwendet. Der Energieaustausch im Eisspeicher erfolgt mittels Wärmetauschern, welche im Wasser des Eisspeichers eingetaucht sind und von der Sole durchströmt werden. Ist die Sole kühler als 0 °C, bildet sich an der Oberfläche der Wärmetauscher eine Eisschicht. Dieser Effekt ist erwünscht, da dem Speicherwasser auf diese Weise seine latente Wärme (Schmelzwärme) entzogen werden kann. Wird das Eis auf den Wärmetauschern jedoch zu dick, senkt sich die Quelltemperatur für die Wärmepumpe zu stark ab, was aus Gründen der Effizienz der Wärmepumpe vermieden werden sollte. Im Eisspeicher, den das SPF für die Elektrizitätswerke Jona-Rapperswil AG entwickelt hat, wird das Eis deswegen periodisch entfernt. Das wird erreicht, indem warme Sole aus den Sonnenkollektoren durch die Wärmetauscher geleitet wird. Diese Erwärmung löst die Eisschichten ab, worauf sie im Speicherwasser auftreiben.

Im Rahmen des ‚High Ice‘-Projekts haben die SPF-Forscher einen neuen Weg zur Enteisierung der Wärmetauscher erprobt: Sie entwickelten einen Wärmetauscher aus EPDM-Gummi, der sich durch eine Erhöhung des Innendrucks verformen lässt, womit sich die Eisschicht an seiner Oberfläche mechanisch entfernen lässt. Die Forscher konnten zeigen, dass eine mechanische Enteisierung des Wärmetauschers grundsätzlich funktioniert, dessen Enteisierung somit bei laufender Wärmepumpe möglich ist. Allerdings stellten die Forscher fest, dass das extrudierte EPDM für diesen Zweck nicht optimal geeignet ist, da es nach dem Produktionsprozess eine zu raue Oberfläche aufweist und deswegen aufwändig nachbehandelt werden muss.

Weitere Entwicklungsarbeit wäre deshalb notwendig, um ein marktreifes Produkt zu erhalten. Durch den Einsatz von Kunststoff-Wärmetauschern erhoffen sich die Forscher, einfachere und kostengünstigere Eisspeicher-Anlagen entwerfen zu können. Ein weiterer Ansatz besteht in der Verwendung vorgefertigter Standard-Behälter, z.B. grosser zylindrischer Tanks, welche erdvergraben als Eisspeicher eingesetzt werden können (Foto). In den Laborversuchen am SPF konnte bereits gezeigt werden, dass mit den enteisbaren Wärmetauschern auch solche Speicherformen sehr gut verwendet werden können.



In einem Anschlussprojekt ('IceEx') wollen die Forscher des SPF ihre Untersuchungen rund um die Wärmetauscher intensivieren. Erforscht werden sollen unter anderem deren mechanische Stabilität, Leistungsfähigkeit und Kostensenkungspotenzial. BV