

Willkommen
Welcome
Bienvenue

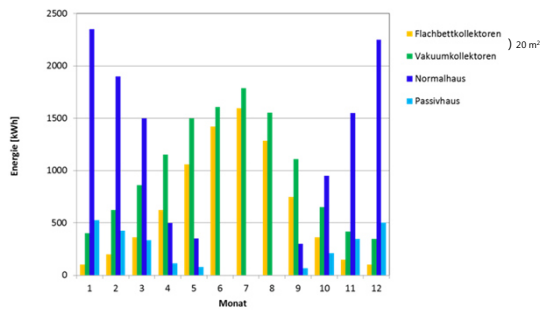


Aktiver Wärmespeicher aus Beton

Erfahrungen mit einem Prototyp

Josef Kaufmann

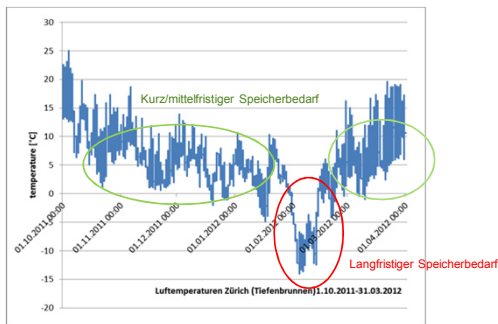
Motivation Wärmespeicherung



⇒ Überschüsse im Sommer, Nachfrage im Winter
⇒ Bedarf an Wärmespeichern

2

Motivation Wärmespeicherung



3

Beton als Speichermaterial

Konventionell : Sensible Wärmespeicherung

- Ausnutzung der Wärmekapazität von Beton (1.1 to 1.15 kJ/kgK)
- Kurz-/mittelfristige Speicherung



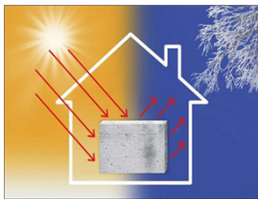
4

Beton als **saisonales** Speichermaterial

Neu:

“Chemischer” Prozess → Langzeitspeicherung

- **verlustfrei**
- **saisonal**
- **preiswert**

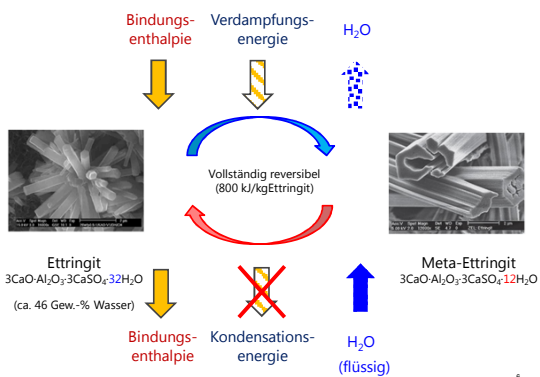


Laden
im Sommer

Entladen
im Winter

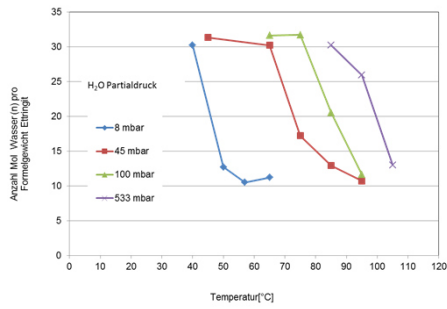
5

Wärmespeicherung auf Ettringitbasis



6

Wärmespeicherung auf Ettringitbasis



Zhou+Glasser (CCR 2001)

Wassergehalt des Ettringits ist abhängig von Temperatur und Wasserstoffpartialdruck !

7

Wärmespeicherung auf Ettringitbasis



40% CSA + 40% gypsum + 20% OPC

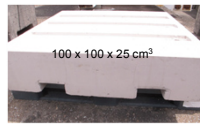
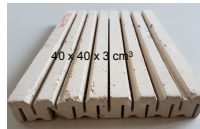
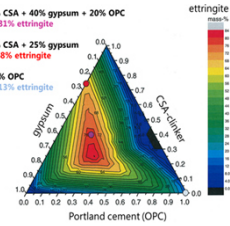
=> 81% ettringite

75% CSA + 25% gypsum

=> 68% ettringite

100% OPC

=> 13% ettringite



Die Verwendung von Calcium Sulfoaluminat Zement (CSA) ermöglicht die Herstellung eines Betons mit sehr hohem Ettringit-Gehalt.

Modellierung der zu erwartenden Zementphasen bei einer bestimmten Bindemittelzusammensetzung (GEMS)

Kaufmann & Winnefeld (EP 2 576 720 B1 / 2016)

8

Wärmespeicherung auf Ettringitbasis



Instabile Mischungen



Stabile Mischungen

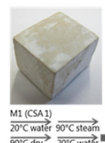


Druckfestigkeit (28d) >30 MPa
Duktil dank Fasern
(Bild nach Druckversuch)

Chemische Instabilität



Chemische Stabilität



- Geeignete Beton-zusammensetzung
- Geeignete Trocknungsbedingungen (keine Dampfsättigung bei T > 90°C !!!)

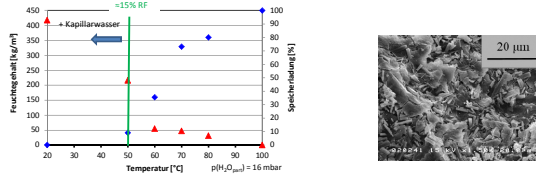
9

Wärmespeicherung auf Ettringitbasis



Speicherdichten CSA-Beton Versuchsmischung bei vollständiger Ladung

	[kWh/m ³]	
sensible Speicherdichte	28	Kurzfristig / trockener Beton, $\Delta T=80^{\circ}C$
+ sorptive Speicherdichte	137	Saisonal / Externe Dampfquelle (ohne Kapillarwasser)
+ latente Speicherdichte	62	Saisonal / vollständige Entladung mit Wasser



Es müssen zuerst grosse Mengen an Kapillarwasser «getrocknet» werden

10

Prototyp Seelisberg

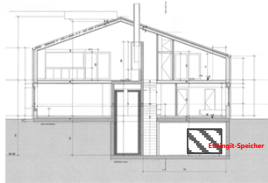


Prototyp Seelisberg

- Ferienhaus, nicht ständig bewohnt
- Speichergrosse: 6 m³
- modularer Aufbau
- Entladung mit flüssigem Wasser ohne Dampfnutzung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



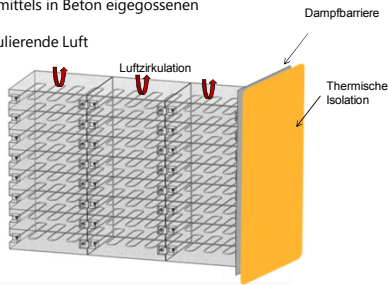
11

Prototyp Seelisberg



Prinzipieller Aufbau

- Wärmetauschung mittels in Beton eigegossenen Rohrleitungen
- Trocknung via zirkulierende Luft



Modularer Aufbau aus Beton-Elementen

12

Prototyp Seelisberg

Realisierung



13

Prototyp Seelisberg

Realisierung



14

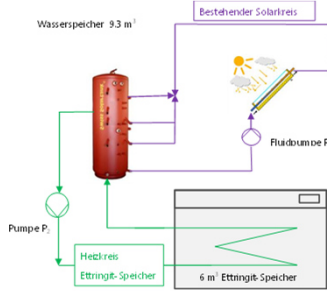
Prototyp Seelisberg

Realisierung



15

Prototyp Seelisberg Anbindung an bestehenden Solarkreis (Kollektoren)



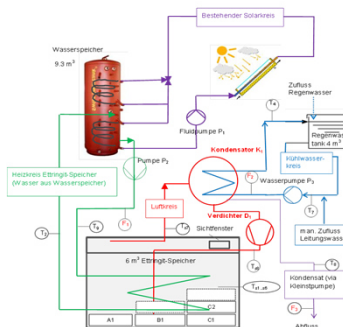
Vorteil der (an sich nicht notwendigen!) Anbindung an einen vorhandenen Wasserspeicher: Verhinderung kritischer Temperaturen

Speicheradaptionen Variante I: Sommer 2015



- Kondensator zwecks Ermittlung des Trocknungszustands durch Sammlung des Kondensatwassers
- aufwändige Kühlung
- Geschlossener Luftkreis (keine Emissionen, keine Carbonatisierung)

Speicheradaptionen Variante I: Sommer 2015

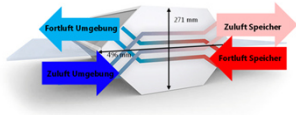


Speicheradaptionen

Variante II: Sommer 2016



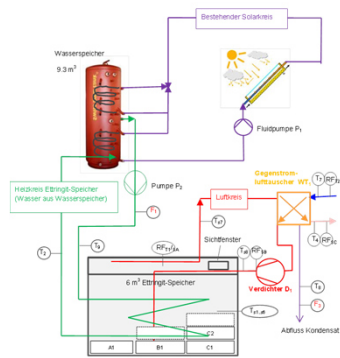
- Lufttauschung mit Umgebung
- tiefere rel. Feuchten im Speicherrinnern
- Wärmerückgewinnung
- webbasierte Anlagensteuerung via mystrom
- webbasierte Datenabfrage und Luftfeuchtemessung
- kostengünstiger



19

Speicheradaptionen

Variante III: Sommer 2016



20

Regelung und Datenerfassung

Web-basierte Anlagensteuerung



My Devices

Register New Adapter

Heizkreis

0.26 kWh, 0 Rp. Today
0 Rp. this month

39.90 W

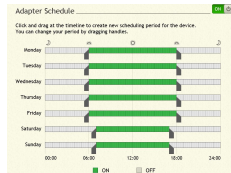
ON OFF at 18:00

Ventilator

0.23 kWh, 0 Rp. Today
0 Rp. this month

46.77 W

ON OFF at 14:00



- Stromzufuhr Ventilator und Pumpe wird geregelt
- Zeitprogrammierung oder aktiver Eingriff via computer/smartphone
- Anlagenüberwachung via webcam

21

Regelung und Datenerfassung

Web-basierte Datenerfassung I

- Kombinierte Temperatur/Feuchtelogger
- web-access
 - Client Transmitter
 - Lokales WLAN
 - Externer VPN Zugriff auf lokale swisscom Internet box (computer/smartphone)

22

Regelung und Datenerfassung

Web-basierte Datenerfassung II

- Flussmeter
- Temperaturlogger
- Lokale Datenspeicherung
- web-access
 - Bridge Transmitter
 - Lokales WLAN
 - Externer VPN-Zugriff auf lokale swisscom Internet box (computer)

23

Regelung und Datenerfassung

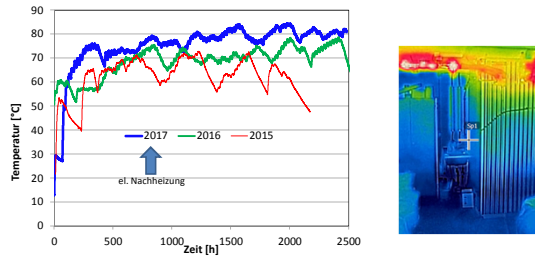
Web-basierte Datenerfassung III

Solardaten der lokalen PV-Anlage und Leistung [W] der Geräte (Ventilator, Pumpe) erfolgt via «sunnyportal» (webaccess)

24

Resultate

Betontemperaturen während der Ladungsphase (Sommer)

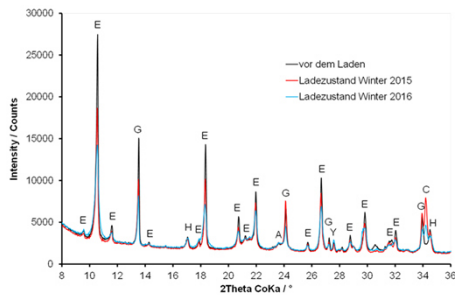


⇒ Durch die Verbesserungen wurden zwar jedes Jahr höhere Ladetemperaturen erreicht, eine Verbesserung der Dämmung und ein direkter Anschluss des Solarkreises wären jedoch wünschenswert/nötig

25

Resultate

Trocknungsgrad nach der Ladephase :
Phasenzusammensetzung (XRD-Analyse) entnommener Proben

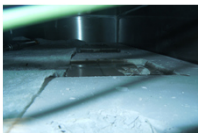


⇒ ungenügender Ladezustand : nach der Trocknung im Sommer sind immer noch deutliche Ettringit-peaks vorhanden

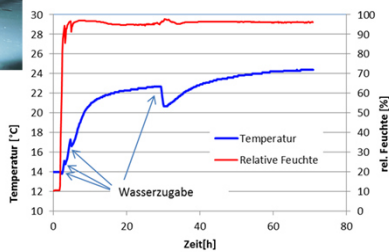
26

Resultate

Entladeversuch (Jan 2017)



Wasserzugabe via Kaskadensystem



27

Ausblick



Web Sensor

s/n: 15986474

Local: 13.10.2017 07:30:39

Temperature 21.0°C alarm none min: 21.0°C max: 34.7°C	Relative humidity 4.9%RH alarm low min: 4.8%RH max: 12.1%RH		History .CSV dot	History .CSV comma
Dew point -20.3°C alarm low min: -20.5°C max: 13.5°C			Mobile web	MinMax mem

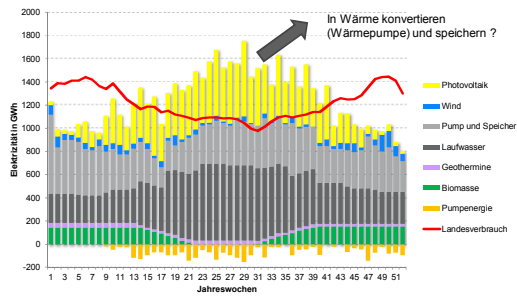
Aktuell: Nach Ladungsperiode Sommer 2017 deutlich tiefere Luftfeuchten im Speicher (< 5%) => Erwartet werden entsprechend höhere Temperaturen beim Entladeversuch Jan/2018

28

Ausblick



Swissgrid-Szenario «Sun2035»



- ⇒ Einspeisevergütungen PV im Sommer sinken weiter (Seelisberg < 4 Rp/kWh)
- ⇒ Verbrauchspreise (Haushalt) bleiben teuer (> 20 Rp/kWh)

29

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !



Dank an :

Frank Winnefeld
Thomas Spielmann (ZHAW)
Markus Zumoberhaus (Seelisberg)
Labor-Team Abt. Beton/Bauchemie



30
