

Labor Regenerative Wärmetechnik (Ü)

Versuchsanleitung zum Laborversuch „Adsorptionswärmespeicher“

Verfasser

Prof. Dr. Asnakech Laß-Seyoum

Prof. Dr. Petra Bittrich

Laboringenieurin

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Kupzok M.Sc.

Versuchszeit: 90 Minuten

Version von April 2022

Fachbereich 1

Ingenieurwissenschaften – Energie und Information

Studiengang Regenerative Energien



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	3
2	Versuchsvorbereitung.....	3
3	Versuchsdurchführung.....	3
4	Versuchsablauf/Aufgaben	5
5	Abschlussbetrachtung.	6
	Literaturverzeichnis	7
	Anhang.....	8



Zum Papiersparen wird empfohlen, beidseitig auszudrucken. Das Drucken auf Recycling-Papier reduziert den Energie- und Wasserverbrauch sowie Treibhausgasemissionen. Pro Blatt Papier betragen die Einsparungen gegenüber Frischfaserpapier 158 ml Wasser, 33 Wh Energie und 1 g CO₂. Mehr Infos: www.initiative-papier.de

1 Vorbemerkung

Der Laborversuch ist Bestandteil des Kurses „Regenerative Wärmetechnik (RWT) im Masterstudiengang Regenerative Energien. **Die erfolgreiche Teilnahme am Laborversuch ist Pflicht und Voraussetzung für die Teilnahme an der Klausur im Fach RWT** für alle zum Kurs zugelassenen Studierenden. Die Bewertung des Laborversuches geht zusammen mit dem Laborversuch „Energie- und Stoffstrombilanzen am Holzpellettheizkessel“ mit 20% in die Modulnote des Fachs RWT ein. Die erfolgreiche Teilnahme setzt voraus, dass jeder Studierende am Versuch selbst teilnimmt und das als Gruppenarbeit zu erstellendem Protokoll zum Versuch als „Bestanden“ bewertet wird.

Sicherheitshinweise: Teile der Versuchsanlage (insbesondere der Thermalölkreislauf) werden während des Versuches hohe Temperaturen (bei der Desorption bis 185°C) aufweisen. Zum Schutz vor Verbrennungen sind diese Anlagenteile während des Versuches nicht (bzw. nur mit Schutzhandschuhen) zu berühren.

2 Versuchsvorbereitung

Auffrischung der Grundkenntnisse zu thermochemischen Speichern (basierend auf den Vorlesungsskripten der Fächer Energiewandlung (Modul EWT im Bachelorstudiengang RE) und Regenerative Wärmetechnik (Modul RWT im Masterstudiengang RE)), sowie ggf. Vertiefung mit Hilfe der in der Versuchsanleitung angegebenen Literatur.

3 Versuchsdurchführung

Versuchsdurchführung:

Der Laborversuch wird an einem bestehenden Versuchsstand (siehe Abb. 1) zur thermochemischen Wärmespeicherung im Raum WH G311 durchgeführt.

Der Adsorptionswärmespeicher macht sich die Eigenschaften eines Zeoliths zu Nutze und kann Wärme über einen langen Zeitraum nahezu verlustfrei speichern. Ein Adsorptionswärmespeicher besteht dabei im Wesentlichen aus den Komponenten Verdampfer, Kondensator und Adsorber/Desorber, in dem das Adsorptionsmittel eingebracht ist. Als Adsorptionsmittel wird im Laborversuch der Zeolith Typ X13 (siehe Abb. 3) der Fa. Zeosys GmbH verwendet. Beim Zeolith X13 wird mit einer max. Beladung von ca. 0,25 kg (H₂O/kg_{Zeolith}) und einer Dichte von 650 kg/m³ bei einer Nutztemperatur von 60°C eine theoretische Energiedichte von 177 kWh/m³ erreicht [Gantenbein, Frei 2000]. Im Reaktor befinden sich 500 g des Zeoliths.

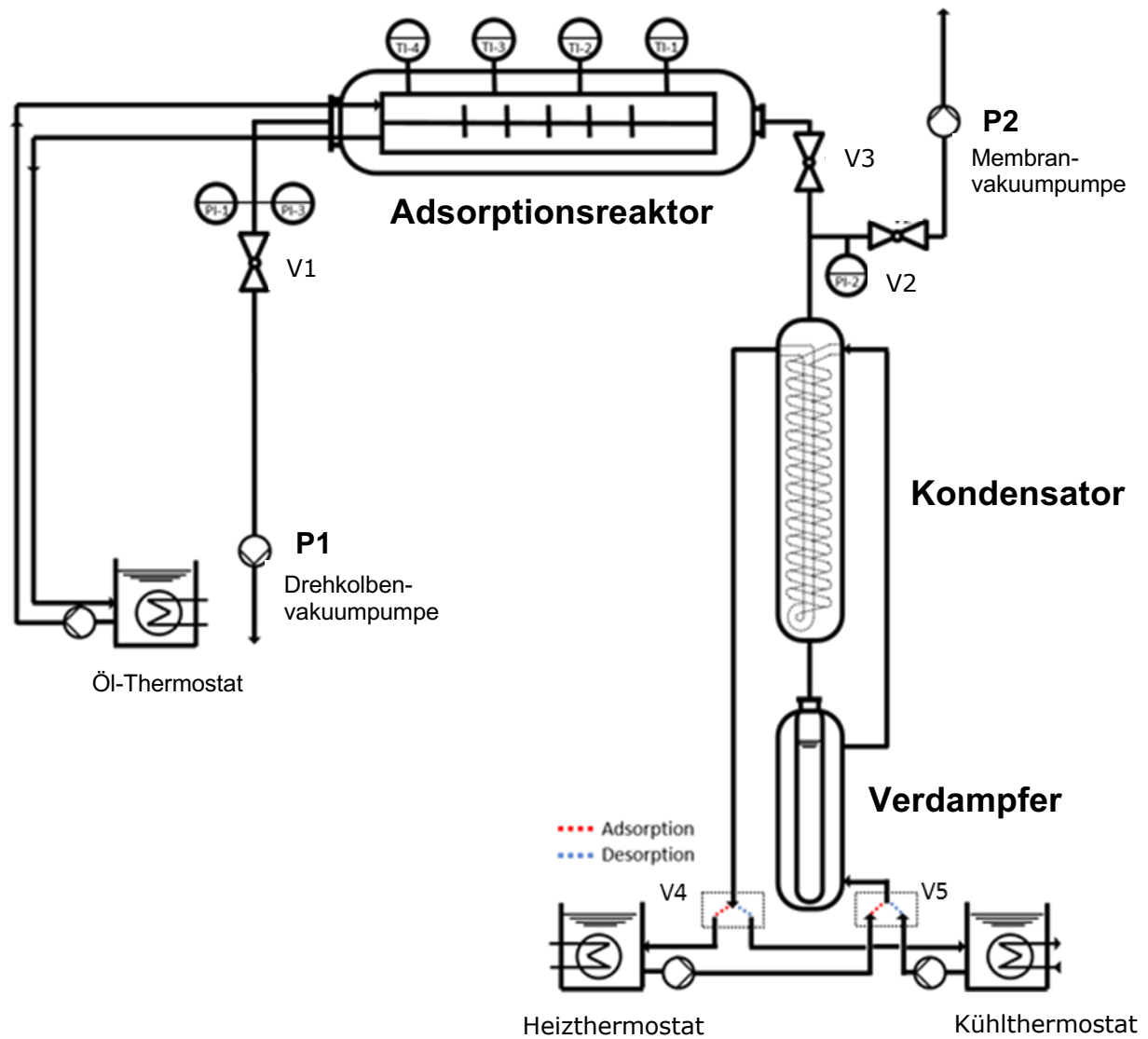


Abb. 1: Versuchsstand Sorptionsspeicher

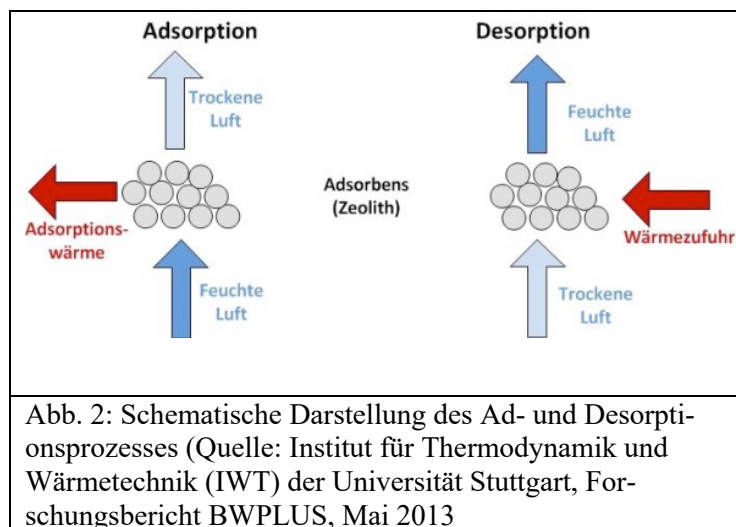


Abb. 2: Schematische Darstellung des Ad- und Desorptionsprozesses (Quelle: Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (IWT) der Universität Stuttgart, Forschungsbericht BWPLUS, Mai 2013)



Abb. 3: Zeolith Typ 13X

Im Rahmen des Versuchs sind folgende Parameter zu untersuchen und zu diskutieren:

1. Maximal mögliche Beladung des Adsorbens, anhand der eingestellten Versuchsparameter.
2. Tatsächliche Beladung des Adsorbens, anhand des aus dem Verdampfer aufgenommenen Wasserdampfes.
3. Nutzungsgrad ($\eta = \text{gespeicherte Energie} / \text{nutzbare Energie}$) des Speichers.
4. Temperaturverläufe im Adsorptions-/Desorptionsreaktor während der Be- und Entladung des Speichers.

4 Versuchsablauf/Aufgaben

1. Einweisung in die Versuchsanlage durch den/die Versuchsleiter(in)/Laboringenieur(in).
2. Erstellung eines vereinfachten Verfahrensfließbildes zum Versuchsaufbau, Kennzeichnung des zu untersuchenden Bilanzraumes (Systemgrenzen) und der für die messtechnische Untersuchung genutzten Messstellen/Messgrößen.

(A) Adsorptionsversuch

3. Vorbereiten des Adsorptionsvorganges (das Zeolithmaterial ist zum Versuchsbeginn vollständig aktiviert und damit energetisch beladen),
 - 3.1. Kontrollieren Sie des Füllstandes im Verdampfer und notieren Sie des Wertes (Skala am Verdampfer, 2 ml/Teilung),
 - 3.2. Kontrollieren Sie, dass das Ventil V3 geschlossen ist,
 - 3.3. Wassertemperatur am Heizthermostat auf 30 °C einstellen,
 - 3.4. An den Ventilen V4 und V5 (Drei-Wege-Ventile) die Durchflussverbindung Heizthermostat zum Verdampfer einstellen,
 - 3.5. Startdruck im Adsorptionsreaktor (P1) auf < 1 mbar einstellen (V1 öffnen, Einschalten der Pumpe bis Startdruck erreicht ist, dann V1 schließen),
 - 3.6. Startdruck am Verdampfer (P2) auf ca. 42,2 mbar einstellen (V2 öffnen und Pumpe P2 einschalten bis Startdruck erreicht ist, wenn Verdampfung einsetzt P2 abstellen und Ventil V2 schließen),
 - 3.7. Temperatur des Öl-Thermostats zu Versuchsbeginn protokollieren,
 - 3.8. Einschalten des Ölthermostates (nur Umlauf, ohne Beheizung, dazu Taste T2 + Enter drücken, danach Startknopf drücken),
 - 3.9. Ventil V3 langsam öffnen und Messwerte (Temperaturen T1 bis T4, Druck p1 und p2) protokollieren
4. Nehmen Sie die Messwerte gemäß 3.7. über einen Zeitraum von 20 Minuten im Minutentakt auf.
5. Protokollieren Sie die Temperatur des Öl-Thermostats, die sich 10 Minuten nach Versuchsende eingestellt hat.
6. Leiten Sie anschließend die Desorption (**Versuchsteil B**) ein

Auswertung des Adsorptionsversuches

1. Stellen Sie die Messwerte in einem geeigneten Diagramm (p, T über die Versuchszeit) dar und diskutieren Sie den Verlauf.
2. Bestimmen Sie die maximal mögliche Beladung des Zeoliths bei den eingestellten Versuchsparametern mit Hilfe des Isosteren Diagramms für den verwendeten Zeolith in der Anlage (Abb. 4).
3. Bestimmen Sie die tatsächliche Beladung des Adsorbens anhand des aus dem Verdampfer aufgenommenen Wasserdampfes (verbrauchtes Wasser).
4. Bestimmen Sie die Adsorptionseenthalpie anhand der in Abb. 5 in der Anlage dargestellten Kennlinie des Zeoliths.
5. Bestimmen Sie die an den Thermalölkreislauf abgegebene Wärmemenge Thermalöl „Avia Thermofluid B“: (5 Liter im Kreislauf, Dichte bei 20 °C = 863 kg/m³, Dichte bei 40 °C = 850 kg/m³, spezifische Wärmekapazität bei 20 °C = 1,88 kJ/(kg*K), spezifische Wärmekapazität bei 40 °C = 1,95 kJ/(kg*K))
6. Bestimmen Sie den Nutzungsgrad (an den Thermalölkreislauf übertragene Wärmemenge bezogen auf die beim Adsorptionsversuch freigesetzte Wärmemenge) und diskutieren Sie das Ergebnis.

(B) Desorptionsversuch

Anmerkung: Eine vollständige Desorption (energetische Beladung des Zeoliths) ist mit den an der Versuchsanlage möglichen Prozessparametern erst nach 240 Minuten erfolgt. Im Rahmen des Desorptionsversuches werden nur die ersten 30 Minuten des Desorptionsvorganges untersucht. Die vollständige Desorption (Vorbereitung der Versuchsanlage für die nächste Versuchsgruppe) wird durch die/den Versuchsleiter/in im Anschluss an die Messwertaufnahme durchgeführt.

Bevor der Desorptionsvorgang gestartet werden kann, muss das Ventil V3 geschlossen werden und wenn nötig die Anlage evakuiert werden. Der Druck im Reaktor (P1) sollte nicht über 4 mbar liegen. Der Druck im rechten Teil der Anlage sollte dem Dampfdruck bei der entsprechenden Wassertemperatur entsprechen. Daher wird hier evakuiert, bis das Sieden des Wassers einsetzt.

1. Kontrolle des Temperiermittelstandes im Kühlthermostat (destilliertes Wasser)
2. Kontrollieren Sie, dass das Ventil V3 geschlossen ist
3. Einstellen der Solltemperatur auf 8 °C am Kühlthermostat (Der Thermostat stellt den benötigten Volumenstrom des Temperiermittels selbstständig nach kurzer Zeit ein)
4. Einstellen der Desorptionstemperatur auf 185 °C (dazu Taste T1 + Enter drücken)
5. Öffnen des Ventils V3 nachdem der Druck P1 höher ist als der Druck P2 und protokollieren der Messwerte (Temperaturen T1 bis T4, Druck P1 und P2) über einen Zeitraum von 30 Minuten im Minutentakt.

Auswertung des Desorptionsversuches

Stellen Sie die Messwerte (T1 bis T4 und P1 und P2) in einem geeigneten Diagramm (p, T über die Versuchszeit) dar und diskutieren Sie den Verlauf der ersten 30 Minuten des Desorptionsversuches.

5 Abschlussbetrachtung.

Vergleichen und diskutieren Sie anhand der Ergebnisse des Versuches die energetische Speicherkapazität des untersuchten Sorptionsspeichers mit der eines konventionellen Wasserspeichers.

Literaturverzeichnis

- [Cordes, Brandes 2016] Tom Cordes, Mark Brandes: Ertüchtigung eines Laborversuchs zum Adsorptionswärmespeicher, Projektarbeit an der HTW Berlin, Juni 2016
- [Gantenbein, Frei 2000] Paul Gantenbein, Ueli Frei: Zeolithspeicher in der Solartechnik – Machbarkeit und Potentiale; Studie am Institut für Solartechnik SPF Hochschule Rapperswill, März 2000
- [Lanzerath 2013] Lanzerath, F.: Modellgestützte Entwicklung von Adsorptionswärmepumpen, Dissertation an der RWTH Aachen, 2013
- [Hauer 2002] Andreas Hauer: Beurteilung fester Adsorbentien in offenen Systemen für energetische Anwendungen, Dissertation an der TU Berlin, 2002

Anhang

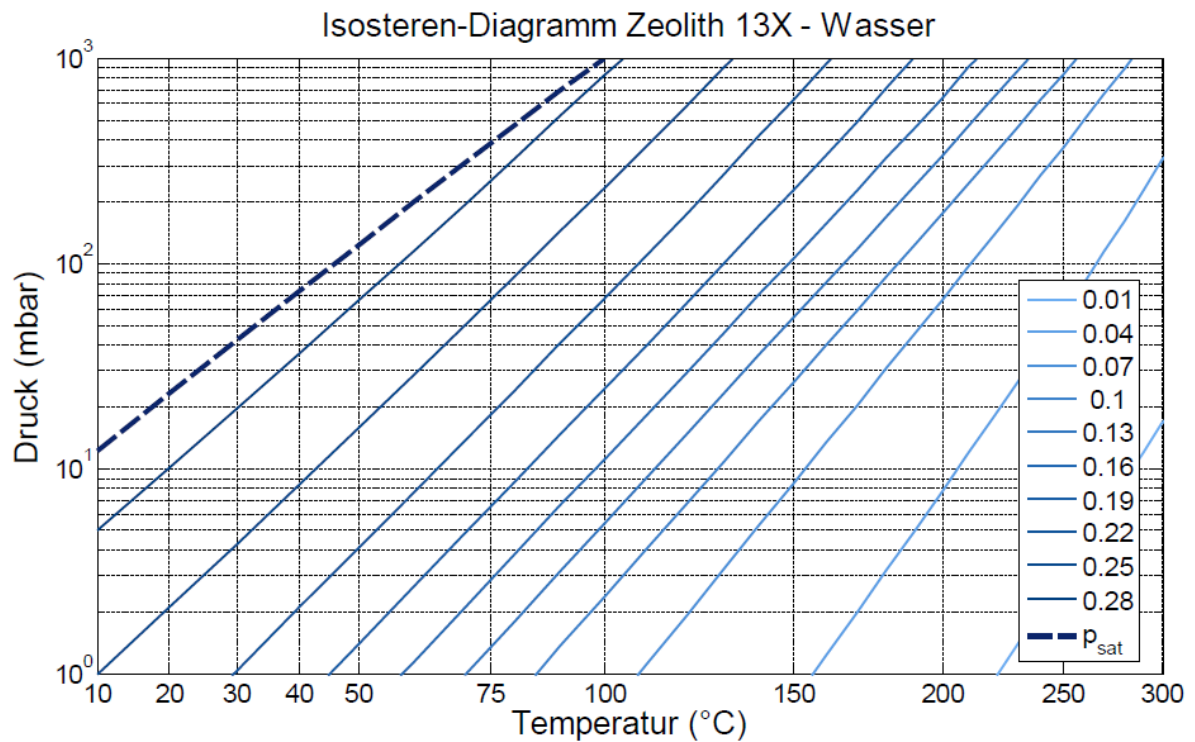


Abb. 4: Isosterendiagramm Zeolith 13X - Wasser (Lanzerath, 2013)

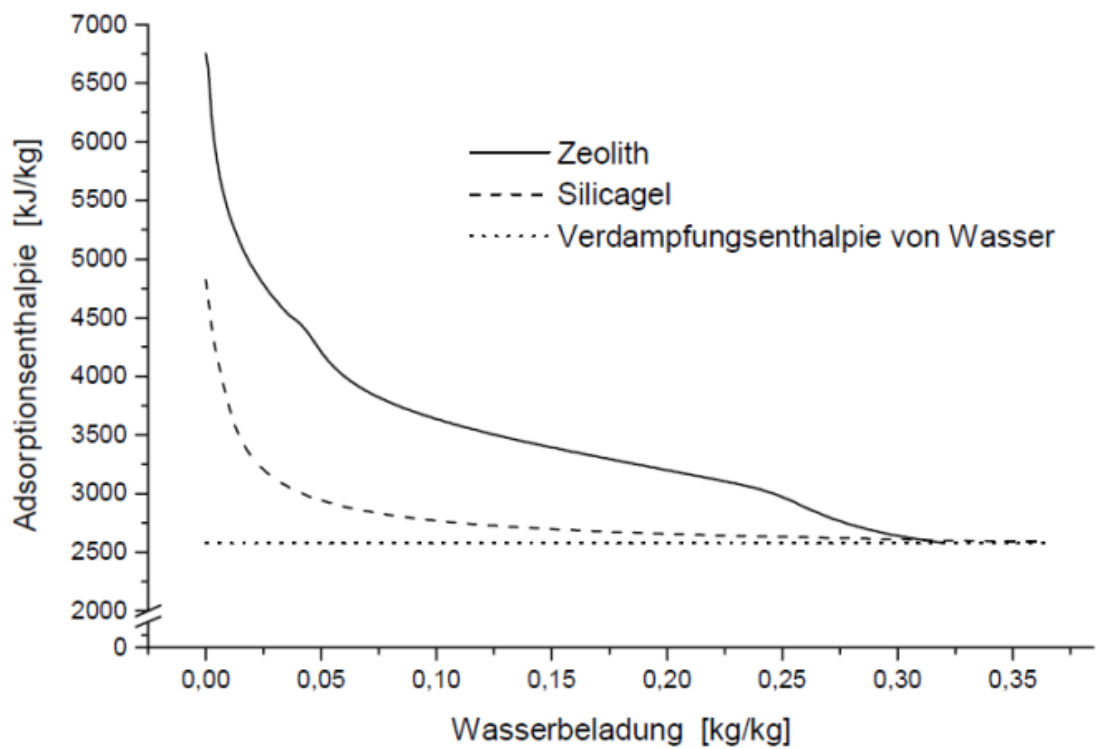


Abb.5: Differentielle Adsorptionseenthalpie von Silicagel und Zeolith X13 nach Hauer 2002