

Zwischenbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 22567N

Thema

Entwicklung einer Prüfmethode zur Ermittlung der technischen Adsorptionskapazitäten von Hochleistungssorbentien für elementares Quecksilber

Berichtszeitraum

01.08.2022 – 31.12.2022

Forschungsvereinigung

Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. - IUTA

Forschungseinrichtung(en)

FE 1: Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. - IUTA

FE 2: Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik (TVT, Universität Duisburg-Essen)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

Forschungseinrichtung 1: IUTA

1.1. Vorbereitende Maßnahmen / AP_IUTA_1:

▪ Durchgeführte Arbeiten:

Es wurden Vorversuche zur Fluidisierung der Sorbentien durchgeführt. Am IUTA wurde dazu Pulveraktivkohle verwendet. Untersucht wurden verschiedene Filtermaterialien zur Rückhaltung des Materials in der Adsorptionszone sowie die Möglichkeiten, das Material grundsätzlich zu fluidisieren.

▪ Erzielte Ergebnisse:

Es zeigte sich, dass die Pulveraktivkohle PAK so fein ist, dass das Material durch die verfügbaren Fritten aus Quarzglas nicht zurückgehalten werden kann. Die Verwendung von Gewebefiltern ist nicht möglich, weil es keine geeigneten Filterhalter (als Material kann nur Glas oder PTFE verwendet werden) mit gasdichter Verbindung gibt. Außerdem haben diese Systeme einen hohen Druckverlust, der zunächst über die Versuchszeit ansteigt. Für die Messungen im close loop ist das nicht akzeptabel.

Zum Schutz vor dem Eintrag von PAK in die nachfolgenden Anlagenteile wurden hinter der Fluidisierungszone die folgenden Maßnahmen zur Rückhaltung des Staubs installiert:

Glasfritte, Glasrohr mit Quarzwolle, Woullf'sche Flasche mit Wasser, Woullf'sche Flasche mit Quarzsand. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ablagerungen der durch die Fritte und die Quarzwolle durchgeströmten PAK auf dem Quarzsandbett und im Wasser.



Abbildung 1: Foto der mit Wasser und Quarzsand gefüllten Flaschen zur Rückhaltung der PAK

Eine Fluidisierung der PAK scheiterte auch daran, dass die Ventile der zur Verfügung stehenden MFC nicht stoßfrei öffnen. Dies führt dazu, dass der Volumenstrom nicht langsam erhöht werden kann. Beim Öffnen der Ventile lagert sich ein nicht definierbarer Anteil der PAK an den Wandungen der Fluidisierungszone ab.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde eine alternative Vorgehensweise entwickelt. Die Fluidisierung des PAK-Bettes wird durch die Mischung von PAK mit Quarzsand simuliert. Zunächst wurde überprüft, dass elementares Quecksilber Hg^0 nicht an Quarzsand adsorbiert. Danach wurden unterschiedliche Mengen an PAK mit 30 g Quarzsand gemischt. Als Ergebnisse kann festgehalten werden:

- PAK in der Mischung mit Quarzsand ergibt ein stabiles Bett.
- Die Masse an PAK kann an die Erfordernisse angepasst werden, ohne die strömungstechnischen Bedingungen zu verändern.
- Bei 30 g Quarzsand liegt der Druckverlust über das Bett bei ca. 40 hPa und ist damit moderat.

Erste Untersuchungen zum Durchbruch von Hg^0 durch die Schüttung zeigen vielversprechende Ergebnisse. Die Untersuchungen wurden bei 25 °C und 150°C durchgeführt. In Abbildung 2 sind die Durchbruchskurven einer imprägnierten PAK-Probe mit unbekannter Spezifikation dargestellt.

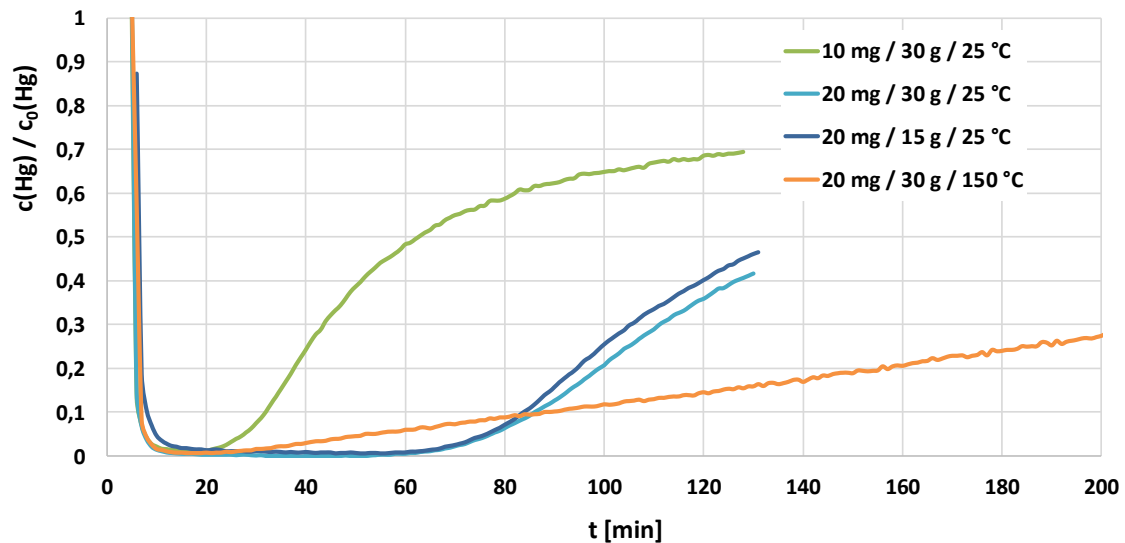


Abbildung 2: Durchbruchskurven einer imprägnierten PAK mit unbekannter Spezifikation mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen PAK:Quarzsand bei 25 und 150 °C

Die Vorversuche belegen, dass es mit der gewählten Methode gelingt, auch bei sehr niedrigen Einwaagen von PAK stabile Durchbruchskurven zu erhalten. Außerdem können bereits in den Vorversuchen Abweichungen im Kurvenverlauf sichtbar gemacht werden. Interessant ist der Unterschied im Adsorptionsverhalten bei höheren Temperaturen. Der Durchbruch erfolgt früher, demgegenüber ist der Anstieg der Hg-Konzentration hinter Sorbensbett jedoch langsamer. Die könnte auf eine schlechtere Physisorption und eine schnellere Chemisorption bei 150°C hindeuten.

Im nächsten Schritt muss die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse überprüft werden. Außerdem ist es erforderlich, aus den bekannten Materialdaten eine für die Mischung repräsentative Kenngröße abzuleiten, die als Vergleichskriterium für die standardisierte Messung verwendet werden kann.

1.2. Konzeptionierung, Aufbau und Inbetriebnahme der Prüfapparaturen / AP_2

AP_IUTA_2a: Recherche der zu verwendenden Komponenten

- Durchgeführte Arbeiten:

Mit der Detailplanung des Versuchsaufbaus des close loop wurde begonnen.

- Erzielte Ergebnisse:

Die besondere Herausforderung ist die Bevorratung des Hg-haltigen Gases, bevor dieses in den Hauptstrang der Versuchsanlage dosiert wird. Zurzeit wird über die dafür geeigneten Komponenten diskutiert.

Forschungsstelle 2: TVT

1.3. Vorbereitende Maßnahmen / AP_TVT_1:

- Durchgeführte Arbeiten:

Die im Projekt geplanten Adsorptionsuntersuchungen im open Loop sollen mit granulierter Aktivkohle in einer homogenen Wirbelschicht durchgeführt werden. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleisten zu können, sollen alle Untersuchungen am Lockerungspunkt (d. h. in einer homogenen Wirbelschicht) durchgeführt werden. Da der Lockerungspunkt abhängig von den physikalischen Eigenschaften der Aktivkohlen ist, wurden für die ersten Versuche fünf Aktivkohlen ausgewählt, die sich in Partikelform, Partikelgröße und Schüttdichte unterscheiden (vgl. Tabelle 1). Alle Aktivkohlen basieren auf Steinkohle und wurden wasserdampfaktiviert, sodass ein Einfluss des Rohstoffs und der Aktivierungsart hier nicht berücksichtigt werden muss.

Tabelle 1: Ausgewählte Aktivkohlen für das Forschungsvorhaben

Aktivkohle	Partikelform	Partikeldurchmesser	Schüttdichte
C40/1	Zylinderförmige Pellets	1 mm	400 g/L
C40/1,5	Zylinderförmige Pellets	1,5 mm	400 g/L
C40/2	Zylinderförmige Pellets	2 mm	400 g/L
D45/1	Zylinderförmige Pellets	1,5 mm	450 g/L
DGK 12x20/85	Granulat	0,85 - 1,7 mm	420 g/L

Zur experimentellen Bestimmung des Lockerungspunktes wurde mittels eines Rotarmeters der Volumenstrom bestimmt, bei dem eine Ausdehnung der Schüttung, die auch als Fluidisierung bezeichnet wird, auftritt. Der Volumenstrom am Lockerungspunkt wurde für die ausgewählten Aktivkohlen für vier verschiedene Adsorber mit Durchmessern zwischen 1 und 4 cm experimentell unter Verwendung von Stickstoff ermittelt.

▪ Erzielte Ergebnisse:

Die Einstellung des Lockerungspunktes, der durch optische Bestimmung der Ausdehnung des Bettes erfolgt, ist nicht objektiv möglich. Reproduzierbarkeitsversuche zeigten teils Abweichungen von bis zu 2 L/min. Die aus jeweils drei Messungen gemittelten Volumenströme sind in Tabelle 2 übersichtlich zusammengefasst und in Abbildung 3 graphisch dargestellt.

Tabelle 2: Volumenstrom am Lockerungspunkt in L/min für ausgewählte Aktivkohlen in Abhängigkeit vom Adsorberdurchmesser

Aktivkohle	Adsorberdurchmesser			
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
C40/1	1,5 L/min	4,0 L/min	9,0 L/min	–
C40/1,5	2,0 L/min	4,5 L/min	11,0 L/min	–
C40/2	3,0 L/min	7,0 L/min	18,0 L/min	–
D45/1	1,5 L/min	4,0 L/min	9,5 L/min	–
DGK 12x20/85	1,0 L/min	3,5 L/min	8,5 L/min	18,0 L/min

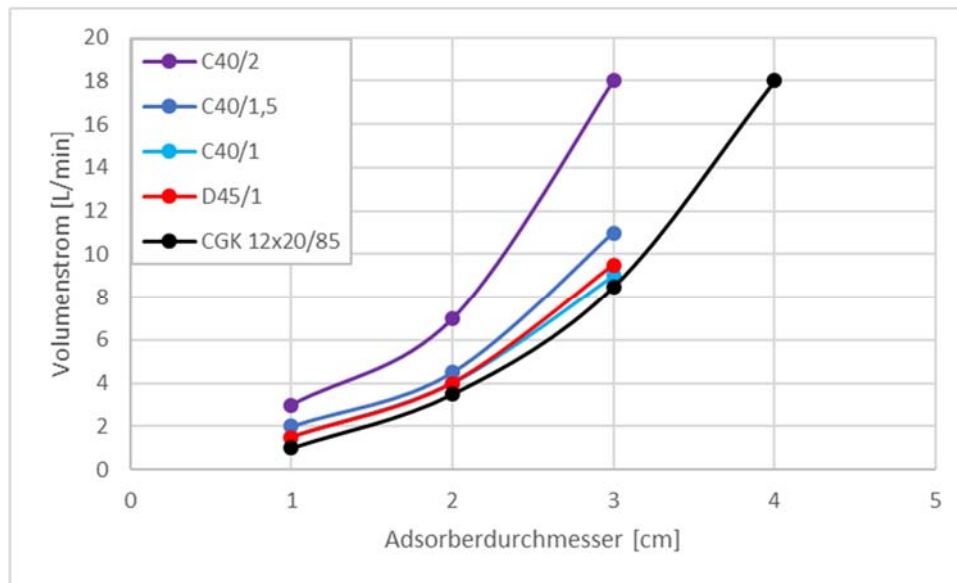


Abbildung 3: Volumenstrom am Lockerungspunkt in L/min für ausgewählte Aktivkohlen in Abhängigkeit vom Adsorberdurchmesser

Mit zunehmendem Adsorberdurchmesser nimmt der benötigte Volumenstrom zur Fluidisierung zu. Der Vergleich der C40/1, C40/1,5 und C40/2 zeigt, dass zudem für alle Adsorberdurchmesser der Volumenstrom am Lockerungspunkt mit zunehmendem Partikeldurchmesser zunimmt. Die nahezu identischen Volumenströme bei der C40/1 und der D45/1 sprechen dafür, dass der Einfluss der Schüttdichte eine untergeordnete Rolle spielt. Die geringsten Volumenströme zur Fluidisierung werden bei der granulierten Aktivkohle DGK 12x20/85 benötigt. Da der Partikeldurchmesser des Granulats in der gleichen Größenordnung wie bei der C40/1 und der D45/1 liegt, lässt sich der geringere Volumenstrom vermutlich auf die Partikelform zurückführen. Während die zylinderförmigen Pellets sich verhaken und so die Fluidisierung erschweren, scheint dies bei den granulierten Partikel weniger stark ausgebildet zu sein.

Bei allen Untersuchungen konnte zudem beobachtet werden, dass die Wirbelschicht nach einiger Zeit zusammengebricht. Dieses Phänomen ist mit abnehmendem Adsorberdurchmesser, zunehmendem Partikeldurchmesser und bei den Pellets im Vergleich zum Granulat stärker ausgeprägt.

Während hohe Volumenströme für die Kinetik bei der Adsorption von Vorteil sind, stellt die Dosierung von Quecksilber mit zunehmendem Volumenstrom eine zunehmende Herausforderung dar und die maximal mögliche Quecksilberkonzentration nimmt ab. Neben der Idee eine Wirbelschicht aufzubauen, wird daher aktuell ein weiterer Ansatz verfolgt. Zur quantitativen Erfassung der Adsorptionskapazität imprägnierter Aktivkohlen sollen Adsorptionsuntersuchungen im Festbett bei höheren Temperaturen durchgeführt werden. Aktuell wird eine Temperaturstudie durchgeführt, um die optimale Temperatur zu ermitteln.

2. Verwendung der Zuwendung

Forschungsstelle 1 (IUTA)

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)
Mitarbeiter Ansatz A1 1,19 Personenmonate
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) entfällt
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) entfällt

Forschungsstelle 2 (TVT):

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)
Mitarbeiter Ansatz A1 0 Personenmonate
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) entfällt
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) entfällt

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Forschungsstelle 1 (IUTA)

Die Arbeiten wurden entsprechend der im Antrag in den Arbeitspaketen beschriebenen Planung durchgeführt. Die geleistete Arbeit war notwendig und angemessen.

Forschungsstelle 2 (TVT)

Es kommt zu Verzögerungen in der Projektbearbeitung, weil die Stelle des wissenschaftlichen Mitarbeiters erst mit Projektbeginn ausgeschrieben werden konnte. Aufgrund des erfolgreichen Hackerangriffs auf die Großrechner der Universität konnte die Stelle bisher nicht besetzt werden. Eine Einstellung zum 01.04.2023 wird angestrebt. Die bisher geleistete Arbeit entspricht vollumfänglich den beantragten Projekthaltungen. Die geleistete Arbeit war notwendig und angemessen.

4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

...während der Projektlaufzeit	
Maßnahme	Zeitraum
Veröffentlichung der aktuellen Aktivitäten und Ergebnisse auf den Webseiten der Forschungsstellen	Projektveröffentlichung unter https://www.iuta.de/igf__trashed/igf-forschungsprojekte/aif-nummer/22567/
Veröffentlichung der Zwischenberichte auf den Webseiten der Mitgliedsvereinigungen	Nach Freigabe durch die AiF
Vorträge bei Fachseminaren z. B. VDI-Seminare „Messung und Minderung von Quecksilberemissionen“, „Kraftwerkstechnik“, „Emissionsminderung“, Potsdamer Fachtagung, Energie- und Abfallwirtschaftskonferenz, VGB Workshop Mercury Control, Kraftwerkstechnisches Kolloquium, ProcessNet-Jahrestagung, Fachausschuss „Gasreinigung“, DECHEMA-Fachtreffen „Umwelttechnik-Abgasreinigung-Thermische -Prozesse“	Noch keine
regelmäßige Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses	Geplant für den 9.2.2023