

AiF 20617 N

Optimierung der thermischen Reakti- vierung von Aktivkohlen zur Reinigung von Flüssigkeiten

Kurzfassung

Koordinierung: **Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Bonn**

Forschungsstelle(n): **Universität Duisburg-Essen
Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik
Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik / Wassertechnik
Prof. Dr.-Ing. Stefan Panglisch**

**Universität Duisburg-Essen
Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik
Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik
Prof. Dr.-Ing. Dieter Bathen**

Projektkoordinator: **Prof. Dr.-Ing. Stefan Panglisch / Dr. rer. nat. Christoph Pasel**

Laufzeit: **01.03.2019 – 31.05.2022**

Zuwendungssumme: **€ 447.780,--**

Forschungsziel / Ausgangssituation

Bei der Aufbereitung von Flüssigkeiten spielen granuliert oder pulverisierte Aktivkohlen aus fossilen Kohlen, Nussschalen, Holz und (eingeschränkt) Torf als Adsorptionsmittel eine zentrale Rolle. Infolge des weltweit stetig steigenden Bedarfs ist künftig mit einer Verteuerung und Verknappung der Aktivkohlen zu rechnen. Eine energetisch effiziente Alternative zum Einsatz frischer Aktivkohle stellt die thermische Reaktivierung erschöpfter Aktivkohlen dar. Sie beruht im Wesentlichen auf der Erhitzung des Materials unter definierter Gasatmosphäre, bei der die zuvor adsorbierten Schadstoffe desorbiert und/oder pyrolytisch/oxidativ umgesetzt werden. Neben ökonomischen und ökologischen Vorteilen verringert die Reaktivierung von gebrauchter Aktivkohle die Abhängigkeit von Rohstoffen, die zum Großteil (Steinkohle, Nussschalen) aus Schwellenländern importiert werden müssen. Eine Ausweitung der Reaktivierung liefert somit einen wichtigen Beitrag zur Schonung von Ressourcen sowie zum Klimaschutz und ist im volkswirtschaftlichen Interesse.

Die Prozessbedingungen bei der Reaktivierung wie Temperatur, Verweilzeit im Reaktivierungs-ofen oder die Gasatmosphäre haben einen entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften der reaktivierten Kohle und damit auf deren weitere Verwendung. Je nach Einsatzbedingungen und Aufbereitungsziel sind die erschöpften Aktivkohlen mit unterschiedlichen Stoffen beladen, deren Desorption oder pyrolytische Umsetzung spezielle Reaktivierungsbedingungen erfordern. Damit sollten sich die Betriebsparameter zur Reaktivierung von Aktivkohlen z. B. zur Abwasserreinigung deutlich von denen zur Trinkwasseraufbereitung unterscheiden. Neben der Bewahrung oder sogar Verbesserung der ursprünglichen Adsorptionseigenschaften der Frischkohle sollten ein geringstmöglicher Materialverlust (Abbrand) und eine häufige Reaktivierbarkeit weitere Ziele sein.

Eine Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Prozessbedingungen und Reaktivierungserfolg erfolgte bisher nur in einzelnen Unternehmen zur empirischen Betriebsoptimierung und nicht, um ein grundlegendes Verständnis der im Prozess ablaufenden Prozesse zu erhalten. Bis heute fehlen systematische Parameterstudien und vor allem praxisrelevante quantitative Aussagen über den Einfluss der Reaktivierungsbedingungen auf die Aktivkohlequalität. Sowohl in der einschlägigen Fachliteratur als auch in der wissenschaftlichen Literatur finden sich zudem nur wenig praxisrelevante, quantitative Informationen, da die aufwändige Technik zur thermisch-oxidativen Reaktivierung an den Hochschulen und Forschungsinstituten in der Regel nicht oder nur im nicht-skalierbaren Labormaßstab mit wenigen Gramm Probemasse vorhanden ist. Bei den Aktivkohleherstellern vorhandene Öfen sind dagegen in aller Regel zu groß und im Betrieb zu aufwändig, um die Einflussgrößen systematisch zu untersuchen.

Ziel des Projektes war die Optimierung der thermischen Reaktivierung von Aktivkohlen, die zur Reinigung von Flüssigkeiten eingesetzt werden. Den Reaktivierungs-Unternehmen soll ermöglicht werden, die Betriebsparameter von Reaktivierungsöfen so einzustellen, dass:

- eine möglichst vollständige Wiederherstellung der Adsorptionseigenschaften der Frischkohlen erreicht wird.
- ein maßgeschneidertes Reaktivat mit einer definierten Qualität hergestellt wird („Up-/Downcycling“).
- ein möglichst geringer Massenverlust erreicht wird.
- der Energieeinsatz und die CO₂-Emissionen bei hinreichend guter Qualität des Reaktivats minimiert werden.
- eine hohe Langzeitstabilität auch bei wiederholten Reaktivierungen erreicht wird.

Um dies zu erreichen, sollten zwei sich ergänzende Arbeitsschwerpunkte bearbeitet werden.

Einerseits sollten Charakterisierungs-Parameter/-Methoden weiterentwickelt werden, die insbesondere bezüglich der chemischen Eigenschaften der Aktivkohleoberfläche quantitative Aussagen ermöglichen. Nur so kann die anwendungstechnische Qualität der Kohlen und somit der Reaktivierungserfolg nachvollziehbar bewertet werden.

Andererseits sollten mit statistisch geplanten und systematisch durchgeführten Versuchen an einem speziellen Labor-Drehrohrofen für die o. g. Einflussparameter (Aufheiz- und Abkühlrate, Haltedauer der maximalen Temperatur, Gesamt-Reaktivierungsdauer und Zusammensetzung der Gasatmosphäre) mathematische Zusammenhänge zwischen Betriebsparametern und anwendungsrelevanten Charakteristika des Reaktivats ermittelt werden. Diese mathematischen Funktionen können die Unternehmen verwenden, um z. B. eine bestimmte Reaktivat-Qualität mit möglichst wenig Energieeinsatz oder Massenverlust zu produzieren.

Forschungsergebnis

Im Rahmen des Projektes wurden drei Aktivkohlen aus der Abwasserreinigung und vier Aktivkohlen aus der Trinkwasseraufbereitung in jeweils 26 Reaktivierungsversuchen in einem Drehrohrföfen im Labormaßstab reaktiviert. Als variable Faktoren bei der Reaktivierung wurden Aufheizrate, Aufheizdauer sowie Wasserdampf- und CO₂-Konzentration im Prozessgas gewählt. Dabei wurden der Energieverbrauch sowie die Ausbeute direkt nach der Reaktivierung bestimmt. Für die Frischkohlen, die erschöpften Kohlen sowie für alle Reaktivare wurden hinsichtlich der strukturellen Eigenschaften mittels N₂ und CO₂ Isothermen die BET-Oberfläche, das Porenvolumen, das Mikroporenvolumen sowie die Porengrößenverteilung ermittelt. Zusätzlich wurde die Oberflächenchemie der Reaktivare mittels Boehm-Titration und Exzess-Isothermen sowie die mechanische Stabilität mittels Ball-Pan Hardness charakterisiert.

Für die Abwasser- und die Trinkwasserkohlen konnte gezeigt werden, dass die Aufheizrate und die Aufheizdauer den größten Einfluss auf den Reaktivierungserfolg in Bezug auf die BET-Oberfläche besitzen, während Wasserdampf- und CO₂-Konzentration im Prozessgas auf die Qualitätskriterien „BET Oberfläche“, „Energieverbrauch“ und „Ausbeute“ nur einen untergeordneten Einfluss haben. Bei den Abwasserkohlen erwiesen sich Aktivierungstemperaturen von 900°C als nahezu ausreichend für eine vollständige Rückgewinnung der strukturellen Eigenschaften. Zur Reaktivierung der Trinkwasserkohlen reichten hingegen bereits etwa 600°C aus, um die strukturellen Eigenschaften weitestgehend zurückzugewinnen. Der Energieverbrauch bei der Reaktivierung konnte dadurch im Vergleich zu den konventionellen Reaktivierungs-Einstellungen deutlich minimiert werden. Hinsichtlich der mechanischen Stabilität der Abwasser- und Trinkwasserkohlen wurde keine Veränderung durch die thermische Reaktivierung festgestellt. Für die Oberflächenchemie konnte bei allen Reaktivaten im Vergleich zur Frischkohle eine zunehmende Anzahl an aromatischen und eine abnehmende Anzahl an polaren Bindungsstellen nachgewiesen werden.

Um die Qualitätskriterien BET Oberfläche, Energieverbrauch und Ausbeute in Abhängigkeit der Einflussparameter Aufheizrate, Aufheizdauer sowie Wasserdampf- und CO₂-Konzentration im Prozessgas beschreiben zu können, wurde für jede der Aktivkohlen mithilfe statistischer Methoden ein Prognosemodell erstellt. Auch wenn kein generelles Modell für alle Aktivkohlen entwickelt werden konnte und die Modelle jeweils nur für eine erschöpfte Aktivkohle gelten, konnten über alle Aktivkohlen hinweg folgende Trends beobachtet werden:

- Durch ein reines Erhitzen unter Schutzgasatmosphäre kann eine geringere BET-Oberfläche erzielt werden als mit der Dosierung von Oxidantien. Durch dieses in der Praxis auch als „Regeneration“ bekannte Verfahren wird jedoch eine höhere massenbezogene Ausbeute erzielt, da es nicht zum Abbrand von Kohlenstoff kommt.
- Werden keine Oxidantien dosiert, kann es zum Verkoken schwerflüchtiger Substanzen auf der Aktivkohleoberfläche kommen, was zu einem Verstopfen des Porensystems und damit zu einer geringeren Zugänglichkeit der Oberfläche für Adsorbate führt.
- Das oxidative Potential von Wasserdampf ist höher als das von CO₂.

Mit der entwickelten Methodik ist es möglich, die wechselseitigen Abhängigkeiten der Effekte der Reaktivierungsbedingungen auf die einzelnen Zielvariablen sowie die Nichtlinearitäten zu erfassen, auch wenn die entsprechenden Effekte die jeweiligen Zielvariablen unterschiedlich stark beeinflussen. Mit nur wenigen Versuchsreihen kann ein robustes Modell erstellt werden, mit dem die gleichzeitige Optimierung mehrerer Zielgrößen durch Vorhersage/Bestimmung geeigneter Reaktivierungsbedingungen durchgeführt werden kann. Auf diese Weise können maßgeschneiderte Reaktivierungen realisiert werden.

Wirtschaftliche Bedeutung

Neben ökonomischen und ökologischen Vorteilen verringert die Reaktivierung von gebrauchter Aktivkohle die Abhängigkeit von Rohstoffen, die zum Großteil (Steinkohle, Nusschalen) aus Schwellenländern importiert werden müssen. Eine Ausweitung der Reaktivierung liefert somit einen wichtigen Beitrag zur Schonung von Ressourcen sowie zum Klimaschutz und ist im volkswirtschaftlichen Interesse.

Bis heute fehlen Aktivkohle-Lieferanten und Systemlieferanten systematisches Wissen und vor allem quantitative Aussagen über den Einfluss der Reaktivierungsbedingungen auf die Aktivkohlequalität. Zudem fehlen Parameter, welche die Adsorptionseigenschaften der reaktivierten Aktivkohlen zufriedenstellend charakterisieren, was sowohl für die Qualitätssicherung bei der Reaktivierung als auch für die Überprüfung der Lieferqualität durch die Anwender ein Hindernis für den Einsatz von Reaktivaten darstellt. Insbesondere die für die Adsorption bedeutsamen chemischen Eigenschaften der Aktivkohleoberfläche können bisher nur sehr rudimentär mit teilweise fragwürdigen Testmethoden beschrieben werden.

Mit der Möglichkeit, die Reaktivierungsbedingungen genau auf die entsprechenden Aktivkohlen abzustimmen, könnten die Unternehmen vorhandene Geschäftsfelder deutlich erweitern und neue Märkte erschließen. So werden heutzutage in vielen Anwendungen (z. B. Life Science) Aktivkohlen thermisch entsorgt, da die Reaktivierungsbedingungen unklar sind. Fundierte Kenntnisse über den Einfluss von Reaktivierungsbedingungen würden die maßgeschneiderte Herstellung einer definierten Qualität für höher- oder niedrigpreisige Anwendungen (Up-/Downcycling) zulassen, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit erhöhen und die CO₂-Emissionen reduzieren lassen.

Vor dem beschriebenen Hintergrund eines steigenden Bedarfes an Aktivkohle bei gleichzeitiger Verknappung der zur Produktion notwendigen Rohstoffe eröffnen sich neue Geschäftsmöglichkeiten für KMU, die nicht als Aktivkohle-Hersteller, sondern als reine Reaktivierungsdienstleister auftreten. Produktionsstandorte für frische Aktivkohlen nahe den Rohstoffquellen (vor allem in Südost-Asien), die für KMU nur schwer zu realisieren sind, sind für solche Firmen folglich nicht notwendig. Momentan ist der Markteinstieg für Reaktivierungsbetriebe jedoch extrem schwierig, da das Know-How zur Reaktivierung nicht allgemein zugänglich ist. Da im Projekt erstmalig systematisch quantitative Erkenntnisse darüber ermittelt werden, wie sich einzelne Einflussfaktoren (z. B. Temperatur) auf die Qualität reaktivierter Aktivkohlen auswirken, wird der Marktzugang für solche Firmen erheblich erleichtert. Da die Reaktivierung an den Transport der verbrauchten/reaktivierten Aktivkohlen gekoppelt ist, ist zudem damit zu rechnen, dass aus wirtschaftlichen Gründen entsprechende Anlagen in max. Entfernungen von 200 bis 300 km von den Aktivkohle-Nutzern (und somit vorrangig in Deutschland) errichtet werden.

Bei der Auslegung von Adsorptionsprozessen muss die Auswahl einer geeigneten Aktivkohlesorte auf den jeweiligen Anwendungsfall (z. B. Rohwasserzusammensetzung, Aufbereitungsziel) abgestimmt werden, was einen erheblichen Aufwand bedeutet. Da nur wenige Anwender über eigene Reaktivierungsanlagen verfügen, sind Aktivkohleanwender bezüglich der Qualität bei der Reaktivierung beladener Aktivkohle meist vollständig von entsprechenden Dienstleistern abhängig. Für diese Anwender eröffnen die im Projekt generierten Ergebnisse die Möglichkeit, anstelle von Produkt-Mindestspezifikationen (z. B. Iodzahl), die häufig wenig Aussagekraft über die Leistung im tatsächlichen Prozess besitzen, in Ausschreibungen gezielt Reaktivierungsparameter anzugeben und so Kosten einzusparen. In bestimmten Verfahren, z. B. bei der Trinkwasseraufbereitung macht die Reaktivierung der verwendeten Aktivkohle einen wesentlichen Teil der Aufbereitungskosten aus. Die im Projekt ermittelten Einsparpotentiale ermöglichen folglich Aktivkohleanwendern ökonomischere Prozesse mit einem geringeren CO₂-Fußabdruck.

Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlichen Nutzen für KMU

Bei der Aufbereitung von Flüssigkeiten spielen Aktivkohlen aus fossilen Kohlen, Nussschalen, Holz und (eingeschränkt) Torf als Adsorptionsmittel eine zentrale Rolle. Nach einer Studie des amerikanischen Brancheninformationsdienstes Freedonia aus dem Jahr 2016 steigt der Aktivkohlebedarf für die USA zukünftig um ca. 3,5 % pro Jahr, weltweit wird ein Anstieg um 8,1% auf 2,1 Millionen Tonnen prognostiziert. Eine weitere Marktstudie zeigt, dass die Aufreinigung von Flüssigkeiten 80% der weltweit produzierten Aktivkohlen verbraucht, wobei die Trinkwasseraufbereitung der größte Verbraucher ist.

Während in den USA überwiegend PAK zur Wasseraufbereitung eingesetzt wird, kommt in Deutschland in der Mehrzahl der Wasserwerke GAK in Schütttschichtfiltern zum Einsatz. Durch strengere gesetzliche Auflagen für organische Spurenstoffe wird es in naher Zukunft zu einem zusätzlichen Bedarf an Aktivkohlen in der Trinkwasseraufbereitung kommen, wie z.B. das 2016 neu errichtete Wasserwerk in Essen zeigt. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass auch in der kommunalen Abwassereinigung verstärkt granuliert Aktivkohle in der so genannten „vierten Reinigungsstufe“ zur Entfernung von Spurenstoffen eingesetzt wird. In der Schweiz ist der Aufbau einer solchen vierten Reinigungsstufe innerhalb der nächsten 20 Jahre seit dem 01.01.2016 gesetzlich vorgeschrieben. In einer Modellrechnung prognostiziert die DWA-Arbeitsgruppe KA-8.6 für die Behandlung nur der Hälfte des kommunalen Abwassers durch eine vierte Reinigungsstufe in Deutschland einen zusätzlichen jährlichen Aktivkohlebedarf von 41.000 Tonnen.

Der steigende Aktivkohlebedarf kann nicht allein durch Frischkohle gedeckt werden. Schon jetzt (Jahr 2022) kommt es durch die steigenden Energie- und Transportkosten in den Wasserwerken zu einem Engpass bei der Beschaffung von Frischkohle. Dieses Problem wird sich zukünftig weiter verschärfen. Damit wird der Reaktivierung erschöpfter Aktivkohlen eine immer größer werdende Bedeutung zukommen. Allerdings liegt die derzeit in Deutschland bei den Aktivkohleherstellern verfügbare Reaktivierungskapazität unterhalb von 30.000 t/a. Damit wird ein großer Markt für KMU entstehen, die für die Aktivkohlenutzer das Aktivkohle-Management inkl. des regelmäßigen Austauschs, der Reaktivierung und ggf. der Überwachung des Erschöpfungsgrades übernehmen könnten. Da die Reaktivierung an den Transport der verbrauchten/reaktivierten Aktivkohlen gekoppelt ist, ist zudem damit zu rechnen, dass aus wirtschaftlichen Gründen entsprechende Anlagen in max. Entfernungen von 200 - 300 km von den Aktivkohlenutzern errichtet werden, was ein immenser Vorteil für die Aktivkohlenutzer sein wird. Bei einem sehr energieintensiven Prozess wie der Aktivkohlereaktivierung können dabei bereits kleinere Änderungen der Reaktivierungsbedingungen zu großen Energie- und damit CO₂-Einsparungen führen, wodurch zusätzlich zum ökonomischen Erfolg ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird. Die kostengünstige und damit energieoptimierte und auf die Anwendung hin maßgeschneiderte Reaktivierung von Aktivkohlen ist für derartige KMU ein großer Wettbewerbsvorteil. Eine derartige Optimierung kann mit der in diesem Projekt vorgeschlagenen Handlungsanleitung durchgeführt werden.

Industrielle Anwendungsmöglichkeiten

Die im Projekt entwickelten Methoden können als leistungsfähige Werkzeuge zur Optimierung des thermischen Reaktivierungsprozesses einer spezifischen Aktivkohle und zur Anpassung der Betriebsparameter von Reaktivierungsöfen verwendet werden, so dass beispielsweise:

- eine möglichst vollständige Wiederherstellung der Adsorptionseigenschaften bei minimalem Massenverlust erreicht werden kann,
- ein maßgeschneidertes Reaktivat mit gewünschten Eigenschaften hergestellt werden kann und

der Energieaufwand und die CO₂-Emissionen minimiert werden können, um Reaktivats mit ausreichender Qualität für weniger anspruchsvolle Aufbereitungsverfahren herzustellen (Downscaling).

Durch das Downcycling, d. h., einer nicht linearen, sondern hierarchischen Wertschöpfungskette, können bei erfolgreichem Einsatz die Kosten bei der Reaktivierung gesenkt werden da für bestimmte Produkte nicht mehr „vollständig“, sondern nur noch soweit reaktiviert wird, wie für den jeweiligen Einsatzzweck notwendig.

Innovativer Beitrag für KMU

Mit der Möglichkeit, die Reaktivierungsbedingungen genau auf die entsprechenden Aktivkohlen abzustimmen, können die Unternehmen vorhandene Geschäftsfelder deutlich erweitern und neue Märkte erschließen. Die Kenntnisse über den Einfluss von Reaktivierungsbedingungen erlauben die maßgeschneiderte Herstellung einer definierten Qualität für höher- oder niedrigpreisige Anwendungen (Up-/Downcycling), wodurch sich die Wirtschaftlichkeit erhöhen und die CO₂-Emissionen reduzieren lassen.

Beratend und planend tätigen KMU wie Ingenieurbüros fehlt zurzeit das Wissen, um Anwender von Aktivkohlen und Akteure (z.B. Wasserwerke), die eigene Reaktivierungsanlagen planen, umfassend beraten zu können. Berater, Anwender und Hersteller profitieren zudem von einem vertieften Wissen über die Oberflächenchemie von Aktivkohlen und geeigneten Charakterisierungsmethoden. Obwohl der große Einfluss der Oberflächenchemie auf die Adsorptionsleistung von Aktivkohlen seit Jahrzehnten bekannt ist, spielt dies in der Praxis kaum eine Rolle, da geeignete Charakterisierungsmöglichkeiten fehlen. Nur durch die Nutzung der in diesem Projekt vorgeschlagenen aussagekräftigen und praxisrelevanten Parameter lassen sich Aktivkohlen noch besser auf den jeweiligen Prozess abgestimmt herstellen, auswählen und reaktivieren und nur so kann eine Qualitätssicherung der reaktivierten Aktivkohlen und damit eine zuverlässige Überwachung der Güte des Prozesses erfolgen. Die Neu- und Weiterentwicklung von Parametern und Geräten verschafft KMU, die entsprechende Messgeräte (z. B. zur Gasadsorption) herstellen, einen internationalen Wettbewerbsvorteil.

Publikationen (Auswahl)

- DVGW-Veröffentlichung in der Zeitschrift energie|wasser-praxis Mai 2019, Seite 74
- Poster auf der Industrial Water 2020:
Rathinam, K., Mauer, V., Bläker, C., Pasel, C., Bathen, D., Panglisch, S., „Systematic optimization of the thermal reactivation of activated carbon for water treatment using statistical methods”, DECHEMA e.V., 17. Bis 19. Nov. 2020
- Veröffentlichung in Journal of Water Process Engineering: Mauer V., Rathinam K., Bläker C., Pasel C., Panglisch S., Bathen D., „Influence of reactivation conditions on the physio-chemical properties of activated carbon”, Journal of Water Process Engineering 48 (2022), 102784
- Zur Veröffentlichung in Journal of Water Process Engineering eingereicht: Rathinam K., Mauer V., Bläker C., Pasel C., Bathen D., Panglisch S., „ Use of response surface methodology for systematic optimization of the thermal reactivation process of activated carbon for water treatment” (Seit 24.11.2022 im Review-Prozess)
- Vortrag auf der ACHEMA 2022: Mauer V., Bläker C., Pasel C., Rathinam K., Panglisch S., Bathen D., „Influence of thermal reactivation on the properties of activated carbons used in water treatment”, DECHEMA e.V., 22.08.2022
- Vortrag eingereicht bei der IWA LET Konferenz in Daegu, Südkorea: Landwehrkamp L., Rathinam K., Mauer V., Bathen D., Panglisch S: Removing luck and chance from the reactivation process: a systematic study of the thermal reactivation of activated carbons

Weiteres Informationsmaterial

Weitere Informationen zum Projekt erhalten Sie

- bei der **jeweiligen Forschungsstelle**,

FE 1: Universität Duisburg-Essen
Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik
Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik / Wassertechnik
Lotharstraße 1
47057 Duisburg
Tel.: 0203 379 2797
Fax: 0203 379 3017
Email: andrea.wilmes@uni-due.de
Web: <https://www.uni-due.de/Wassertechnik/>

FE 2: Universität Duisburg-Essen
Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik
Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik
47057 Duisburg
Tel.: 0203 379 2535
Fax: 0203 379 3119
Email: iris.di-nisio@uni-due.de
Web: <https://www.uni-due.de/verfahrenstechnik/>

- bei der **AiF-Forschungsvereinigung**

DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Einheit Technologie und Innovationsmanagement
Josef-Wirmer-Str. 1-3, D-53123 Bonn
Tel.: +49 228 9188-5
Email: tim@dvwg.de

oder

- von der **Technischen Informationsbibliothek Hannover**
(nur Abschlussberichte, klicken Sie hierzu bitten den **Link** "[TIB](#)" an)

Förderhinweis

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Forschungsnetzwerk
Mittelstand



Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e.V. –
Technisch-wissenschaftlicher Verein



Industrielle
Gemeinschaftsforschung

Das IGF-Vorhaben des Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Josef-Wirmer-Straße 1-3, 53123 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Stand: 13.12.2022