



FAKULTÄT FÜR VERFAHRENS-  
UND SYSTEMTECHNIK

# Forschungsbericht 2017

Institut für Apparate- und Umwelttechnik

# INSTITUT FÜR APPARATE- UND UMWELTECHNIK

Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg  
Tel. +49 (0)391 67 18831, Fax +49 (0)391 67 11128  
iaut@ovgu.de  
www.iaut.ovgu.de

## 1. Leitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause (geschäftsführender Leiter)  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Lothar Mörl  
Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Köser

## 2. HochschullehrerInnen

Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Lothar Mörl  
Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Köser  
Dr.-Ing. Dieter Gabel  
Dipl.-Ing. (FH) Michael Schmidt

## 3. Forschungsprofil

### **Einsatz von verschiedenen Brennstoffen in Wirbelschichten zur Vergasung und zur emissionsarmen Verbrennung in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut IFF Magdeburg**

- Untersuchung des Abbrand- und Emissionsverhaltens von festen Brennstoffen in Wirbelschichtfeuerungen
- Untersuchung der Verbrennungsbedingungen, wie Brennkammertemperatur, Luftverhältnis und Luftführung, Additivzugabe und Optimierung aus verbrennungs- und emissionstechnischer Sicht
- Schadstoffbildungsmechanismen, insbesondere die NO<sub>x</sub>-Bildung
- Wirbelschichtvergasung von biogenen Brenn- und Abfallstoffen zur Erzeugung eines in Gasmotoren nutzbaren Brenngases
- Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung von Biomassen

### **Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Wirbelschichtbehandlung (Trocknen, Granulieren, Agglomerieren, Coating, Rösten) von feststoffhaltigen Flüssigkeiten und körnigen Substanzen im Luft- und Heißdampfstrom**

- Nutzung von DEM-Simulationen zur Analyse der Fluidodynamik bei gleichzeitiger Granulation in einer blasenbildenden Wirbelschicht
- Nutzung von DEM-Simulationen zur Analyse der Fluidodynamik in der Strahlschicht
- Einsatz von faseroptischen Messverfahren in Wirbelschichten
- Nichtlineare Dynamik der kontinuierlichen Wirbelschicht-Bindestrich-Sprühgranulation
- Regelungskonzepte für kontinuierliche Wirbelschicht-Sprühgranulationsanlagen
- Deformations- und Bruchverhalten von kugelförmigen Granulaten bei Druck- und Stossbeanspruchung: Experiment und DEM-Simulation
- Modellierung der Temperatur- und Konzentrationsfelder sowie die Aufstellung von Populationsbilanzen in flüssigkeitsbedühten Wirbelschichten an Versuchsanlagen DN 1500, 400 und 200

- Modellierung diskontinuierlich ablaufender Prozesse in der Wirbelschicht (Aufheizen, Rösten, Kühlen, Trocknen) mit dem Fluidisierungsmedium Heißdampf und Luft
- Modellierung des Prozesses der SO<sub>2</sub>-Absorption in der Wirbelschicht und die experimentelle Verifizierung an der WS-Anlage DN 400
- Modellierung des Zerfallsverhaltens von Partikeln in Wirbelschichten
- Entwicklung neuer Strahlschichtapparaturen
- Wirbelschicht-Verfahren zur schonenden Gewinnung pflanzlicher Wirkstoffe durch Anwendung tiefer Temperaturen
- Untersuchungen zur Adsorption für die Trocknung temperaturempfindlicher Produkte (auch unter Vakuum)
- Wirbelschicht-Extraktion von ätherischen und fetten Ölen
- Experimentelle Untersuchung von membrangestützten Wirbelschicht-Reaktoren mit Katalysatoren
- Untersuchung von Prozessen der Kaffeeröstung, -kandierung und -kühlung in der Wirbelschicht hinsichtlich Emissionen und Anlagenoptimierung
- Durchführung von experimentellen Untersuchungen zur Trocknung, Granulation, Agglomeration und zum Coating im Industrieauftrag
- Entwicklung neuer Trocknungsverfahren mit interner Kälteerzeugung

#### **Instrumentelle Schadstoffanalytik und Emissionsmesstechnik**

- Quecksilberminderung in Rauchgasen
- Abwasserreinigung
- Luftreinhaltung

#### **Anlagensicherheit**

- Unsicherheiten bei Ingenieurberechnungen
- Probabilistische Methoden der Sicherheitsanalyse
- Bestimmung sicherheitstechnischer Kenngrößen
- Modellierung von Explosionen
- Theoretische und experimentelle Arbeiten zur passiven Sicherheit
- Experimentelle Untersuchung durchgehender Reaktionen
- Modellierung und Simulation von Bränden
- Weiterentwicklung von Methoden der quantitativen Risikoanalyse
- Modellierung störfallbedingter Stoff-Freisetzungen

## **4. Serviceangebot**

#### **Brand- und Explosionsschutz**

- Auftragsarbeiten zur Bestimmung von Brand- und Explosionseigenschaften von Stoffen
- Unterstützung bei der Erstellung von Brandschutz- und Explosionsschutzgutachten

#### **Probabilistische Sicherheits- und Risikoanalysen**

- Unterstützung bei der Erstellung von Sicherheitsberichten
- Probabilistische Sicherheitsanalysen
- Quantitative Risikoanalysen

#### **Sicherheitstechnische Bewertung von Stoffen**

- Simultane thermische Analyse von thermisch instabilen Stoffen
- Analyse gasförmiger Reaktionsprodukte

## 5. Methoden und Ausrüstung

- Bestimmung der Mindestzündtemperatur aufgewirbelter Stäube
- Bestimmung der Explosionskenngrößen von Gasen, Dämpfen und aufgewirbelten Stäuben in geschlossenen Apparaturen
- Bestimmung der Explosionskenngrößen aufgewirbelter Stäube in offenen Apparaturen
- Bestimmung der Mindestzündenergie aufgewirbelter Stäube
- Bestimmung des Flammpunktes brennbarer Flüssigkeiten
- Bestimmung der Mindestzündtemperatur abgelagerter Stäube (Glimmtemperatur)
- adiabate und isoperibole Warmlagerungsversuche
- Zündtemperatur brennbarer Flüssigkeiten und Gase
- Simultan thermische Analyse (TGA+DSC) mit Gasanalyse (MS und FTIR)
- Elementaranalyse für die Elemente C, H, N und Elementaranalyse für die Elemente C und S
- Bestimmung der Bruchwerte und Kraft-Deformationsverläufe im uniaxialen Bruchversuch
- Thermogravimetrische Analyse (TG)
- Partikelgrößenanalyse mit digitaler Bildverarbeitung
- Bestimmung des Brennwertes einer Probe

## 6. Kooperationen

- Bergische Universität Wuppertal
- Berliner Feuerwehr
- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
- Dräger Safety AG & Co. KGaA
- Feuerwehr der Stadt Frankfurt am Main
- Glatt Ingenieurtechnik Weimar GmbH
- Solvay Werk Bernburg
- Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V.
- ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

## 7. Forschungsprojekte

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause

**Projektbearbeitung:** Stefanie Schubert, M.Sc., Dr.-Ing. Heike Krause

**Kooperationen:** BAM; Berliner Feuerwehr; Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V.

**Förderer:** Fördergeber - Sonstige; 01.08.2015 - 31.07.2018

### **AERIUS - Alternatives Löschmittel Druckluftschaum - komplexe Großschadenslagen vermeiden**

Obwohl mit komprimierter Luft aufgeladener Löschschaum bereits in den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelt wurde, sind die genauen Wirkmechanismen weitgehend unbekannt geblieben. Trotz Reduzierung der spezifischen Wärmekapazität auf etwa ein Drittel derer von Wasser zeigt die empirische Beobachtung für viele Brände einen besseren Löscherfolg. Einige Brände, in die z.B. große Mengen Kunststoffe oder brennbare Flüssigkeiten involviert sind, lassen sich offensichtlich mit Druckluftschaum wesentlich effizienter löschen als mit herkömmlicher Schaumausbringung. Zudem darf erwartet werden, dass die größeren Wurfweiten der Druckluftschäume die Sicherheit der Einsatzkräfte verbessern.

Die Gesamtziele des Vorhabens AERIUS bestehen in der Aufklärung der bisher unzureichend bekannten Wirkmechanismen von Druckluftschäumen im Zusammenspiel von Reaktandentrennung und Wärmeentzug, in der wissens- (statt bisher rein erfahrungs-)basierten Applikation von Druckluftschaum auf Großbrände, in der besseren Beherrschung komplexer Großschadenslagen durch die Feuerwehren mittels des Einsatzes von Druckluftschäumen (Compressed Air Foam Systems - CAFS) bei gleichzeitiger Erhöhung des Sicherheitsniveaus für die Einsatzkräfte.

Dies wird erreicht durch die im Antrag beschriebenen Forschungsaktivitäten zu den wissenschaftlichen Grundlagen, die Validierung dieser Grundlagen an Realbrandszenarien, die Ableitung einsatztaktischer Grundsätze und die Übertragung dieser in die Ausbildung sowie in Handlungsempfehlungen für die Feuerwehren bis zur Erstellung pränormativer Dokumentationen.

BMBF-FKZ. 13N13630 13N13633

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause

**Projektbearbeitung:** Wanke, Christoph

**Förderer:** Fördergeber - Sonstige; 01.01.2015 - 31.12.2017

**EMRIS - Emerging risks of smouldering fires**

EMRIS - Emerging risks of smouldering fires - is a project that addresses the problem of hazardous low-temperature reactions in porous solids like biomass, fossile fuels, waste materials, foams etc. At circumstances, heat produced in low-temperature chemical reactions cannot entirely be dissipated. This leads to a temperature increase inside the porous material which further accelerates the ongoing reactions. Eventually, this positive feedback loop ends in a fire. In the project the conditions for such incidents will be studied. The prevailing physical parameters like reaction front velocity, heat release and concentrations of reaction products will be studied under boundary conditions which reflect practical applications.

The project is a cooperation between Stord-Haugesund University College in Norway, University of Lund in Sweden and Otto von Guericke University Magdeburg, Germany. Funding is provided by the Research Council of Norway.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause

**Förderer:** EU - Sonstige; 01.01.2013 - 31.12.2017

**ENISFER - European Network of Industrial Systems and Facilities for Exploration of Emerging Risks**

ENISFER is the **European Network of Industrial Systems and Facilities for Exploration of Emerging Risks** within the EU-VRI organization and tools. This network is in operation since the beginning of 2012, with large industrial companies and renown research organizations among its elite pool of partners.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause

**Förderer:** Industrie; 01.05.2016 - 30.04.2017

**Ermittlung von Zonen der explosionsgefährlichen Atmosphäre an Tanklagern für Kraftstoffe**

Für Tanklager sind Bereiche festzulegen, in denen mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist, sogenannte Ex-Zonen. Aufgrund von Betriebserfahrungen ergibt sich die Vermutung, dass die Zoneneinteilung nach gegenwärtigen Regularien übermäßig konservativ ist. Neuere Überlegungen aus anderen Ländern deuten darauf hin, dass die Ex-Zonen um Tanks in ihren Abmessungen reduziert oder herabgestuft werden können.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens soll deshalb näher untersucht und durch entsprechende Messungen und Berechnungen abgesichert werden, welche Konturen von Ex-Zonen sich an den Tankanlagen tatsächlich ausbilden und wie diese mit den bisher unterstellten Ex-Zonen vergleichbar sind.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause

**Förderer:** Bund; 19.07.2013 - 31.12.2017

**HYPOS\_Hydrogen Power and Storage Solutions**

Von Ostdeutschland soll eine Revolution in der Wasserstoffwirtschaft ausgehen. Sie kann die Energiewende entscheidend beflügeln und nachhaltige Chemie im mitteldeutschen Chemiedreieck ermöglichen. Das Projekt "HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany" weist den Weg, wie der in Abhängigkeit vom Wetter unterschiedlich stark anfallende Strom aus Wind- und Solarkraftanlagen in den speicherfähigen chemischen Energieträger Wasserstoff gewandelt wird. Abnehmern sollen dadurch stets die erforderlichen Energie- und Stoffmengen bedarfsgerecht verfügbar gemacht werden. Um das zu erreichen soll er durch spezielle chemische Verfahren in Wasserstoff umgewandelt, gespeichert, transportiert und kontinuierlich genutzt werden.

Das überregionale und interdisziplinäre HYPOS-Konsortium verfolgt zur Verwirklichung seiner Vision einen fachübergreifenden Konzept- und Projektansatz: Die vorgesehenen Forschungs- und Entwicklungsleistungen werden auf die optimale Umwandlung und Speicherung von Strommengen aus erneuerbaren Quellen in den chemischen Energieträger Wasserstoff ausgerichtet. Gleichzeitig wird die wirtschaftliche und gesellschaftlich akzeptierte Integration dieser erneuerbaren Energieträger in die Versorgungsinfrastruktur vorangetrieben.

Die Abteilung Anlagentechnik und Anlagensicherheit am IAUT steht innerhalb des Projektkonsortiums für das Querschnittsthema "Sicherheit".

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Krause

**Projektbearbeitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. U. Krause, Sarah Hahn

**Kooperationen:** BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung; Hekatron GmbH; Minimax GmbH & Co KG; Siemens AG; Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V.; ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

**Förderer:** Bund; 15.10.2016 - 14.10.2019

#### **TEBRAS - Techniken zur Branderkennung, Bekämpfung und Selbstrettung in der frühesten Brandphase**

In Deutschland sterben pro Jahr etwa 400 Menschen durch Brände. Der überwiegende Teil davon kommt im Privatbereich ums Leben und etwa 80 % der Brandopfer durch die Intoxikation mit den Bestandteilen von Brandrauch. Erschwerend kommt hinzu, dass Brände sich heutzutage sehr viel schneller entwickeln als noch vor 30 bis 40 Jahren.

Unter diesen Gesichtspunkten kommt der frühestmöglichen Entdeckung von Vorgängen, die zum Brand führen können, eine wachsende Bedeutung zu. Bei den vorhandenen Systemen zur Branderkennung (Rauchwarnmelder, Wärmemelders, Gaselektroden) muss bereits eine gewisse Entwicklungsphase des Brandes eingetreten sein, um die Detektion zu ermöglichen.

**Ziel 1** des Vorhabens ist deshalb die messtechnische Erkennung von Vorstufen eines Brandes. Damit soll einerseits mehr Zeit für die Selbstrettung gewonnen werden, andererseits soll die Frist bis zur Alarmierung von Einsatzkräften signifikant verkürzt werden. Auf Grundlage der gewonnenen Daten soll eine neue Generation von Branddetektoren begründet werden, die mit deutlich verkürzter Reaktionszeit arbeitet.

**Ziel 2** des Vorhabens ist die Gewinnung von Daten über den Löscherfolg von Selbsthilfemitteln in Abhängigkeit von Brandausmaß und Fertigkeiten der handelnden Personen. Brandfrüherkennung und frühe Selbsthilfe können damit in ihrem Zusammenwirken als System zur effektiven Bekämpfung von Entstehungsbränden entwickelt werden.

Unterstützt werden die experimentellen Untersuchungen durch numerische Simulationen zur Brand- und Rauchausbreitung in Räumen, um die Strömungspfade der Brandindikatoren detailliert zu ermitteln.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr. Heinz Köser

**Förderer:** Bund; 01.11.2014 - 28.10.2018

#### **Quecksilber Emissionen durch festen Hausbrand - Bewertung und Minderung.**

Quecksilber und seine Verbindungen sind neurotoxische Umweltschadstoffe. Die Minamata Konvention der Vereinten Nationen (UNEP) strebt eine Minderung der anthropogenen Quecksilberemissionen an.

Der Quecksilbergehalt von Brennstoffen wird in der Feuerungen weitgehend mit den Rohabgasen verflüchtigt. Ein Teil der Quecksilberemissionen aus der Verbrennung ist durch den Hausbrand bedingt. Hier wird das Quecksilber ohne nennenswerte Abscheidung erdnah emittiert.

Ziel des Vorhabens ist es zunächst eine Datenbasis für die in Deutschland durch den Hausbrand bedingten Quecksilberemissionen zu entwickeln. In einem zweiten Schritt sollen dann Kriterien für einen quecksilberarmen Hausbrand entwickelt werden.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr. Heinz Köser

**Kooperationen:** Öko-Institut Berlin

**Förderer:** Bund; 01.10.2017 - 01.02.2020

### **Quecksilberemissionen aus industriellen Quellen - Status Quo und Perspektiven**

Quecksilber und seine Verbindungen haben schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Internationale und europäische Vereinbarungen und Richtlinien regeln die Verwendung von Quecksilber und dessen Eintrag in die Umwelt.

Mit den heute eingesetzten Minderungsmaßnahmen wird Quecksilber in relevanten Industriesektoren wie Großfeuerungsanlagen, Metall- und Nichteisenmetallindustrie sowie Zementindustrie aus dem Prozess ausgeschleust. Allerdings werden die mit Quecksilber verunreinigten Abfälle und Nebenprodukte häufig in anderen Prozessen als Sekundärrohstoffe wieder eingesetzt. Mit diesem Vorgehen werden Quecksilberemissionen zwar lokal verringert, aber an anderer Stelle neue Emissionen erzeugt bzw. Quecksilber mit den Produkten großflächig verteilt. Echte Quecksilbersenken, mit denen das Quecksilber dauerhaft aus den Kreisläufen ausgeschleust wird, gibt es in vielen Bereichen nicht.

Aus den vorgenannten Gründen wird das spezifische Freisetzungsverhalten für relevante industrielle Quellen und Sektoren unter Berücksichtigung des Quecksilbereintrags in die Produkte untersucht und dokumentiert. Beginnend mit einer Literaturrecherche wird der Stand des Wissens zu Emissionen und bereits verwendeten Minderungsmaßnahmen in verschiedenen Sektoren erhoben. Darauf aufbauend wird untersucht, ob Minderungsmaßnahmen einer Branche auf andere Branchen übertragbar sind.

Neben aktuellen Forschungsergebnissen und technischen Entwicklungen werden auch ökonomische Fragen berücksichtigt.

---

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Lothar Mörl

**Projektbearbeitung:** Idakiev, Vesselin

**Förderer:** BMWi/AIF; 01.08.2016 - 31.07.2018

### **Entwicklung eines Verfahrens zur Einarbeitung von Harnstoff in eine Salbengrundlage für die Entwicklung eines Keratolytikums**

In Zusammenarbeit mit Pilot Pflanzenöltechnologie Magdeburg e. V. (PPM) und Pharmazeutisches Kontroll- und Herstellungslabor GmbH (PKH) wird ein Projekt zum Thema "Entwicklung eines Verfahrens zur Einarbeitung von Harnstoff in eine Salbengrundlage für die Entwicklung eines Keratolytikums" bearbeitet, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Programmes "Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand" (ZIM) gefördert wird. Im Rahmen dieses Kooperationsprojektes soll ein Verfahren entwickelt werden, um Harnstoff in einer bestimmten Partikelgröße in eine wasserfreie Salbengrundlage (z. B. Vaseline) einzubringen, um diese Grundlage für die Entwicklung einer Hautsalbe zu nutzen. Der Lösungsansatz besteht darin, den Harnstoff in Lösung zu bringen und mittels unterschiedlicher Verfahren direkt in der Salbengrundlage zu mikronisieren und anschließend in Wirbelschichten mit induktiver Energieeinbringung zu trocknen.

---

**Projektleitung:** Dr.-Ing. Andrea Klippel

**Kooperationen:** BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung; Forschungszentrum Jülich GmbH; HS Niederrhein/ SO.CON-Institut; PTV Transport Consult GmbH; Werkstatt Lebenshilfe i. Berg. Land GmbH

**Förderer:** Bund; 01.02.2016 - 31.01.2019

### **Sicherheit für Menschen mit körperlicher, geistiger oder altersbedingter Beeinträchtigung (SiME)**

Die Bewältigung eines Krisen- oder Katastrophenfalls, besonders die Evakuierung von körperlich, geistig oder altersbedingt beeinträchtigten Menschen aus einer Gefahrenlage stellt für Einsatzkräfte und Pflegepersonal eine besonders hohe Anforderung dar. Eingeschränkte Mobilität oder körperliche Behinderung erschweren die Möglichkeit einer Selbstrettung erheblich. Um Evakuierungsprozesse und Abläufe bewerten und vorhersagen zu können, werden Methoden wie z. B. Evakuierungssimulationen eingesetzt. In den Computersimulationen können bestimmte Grundszenerarien berücksichtigt werden, um Bewegungsabläufe und Personenströme berechnen zu können. Allerdings berücksichtigen die derzeitigen Berechnungsmodelle keine Personengruppen, in denen Menschen mit Behinderung oder altersbedingten Beeinträchtigungen enthalten sind. Durch definierte Übungsszenarien mit beeinträchtigten Personen können qualitative Aussagen und quantitative Daten zur Beschreibung von Bewegungsschemen abgeleitet werden. Diese qualitativen und quantitativen Datensätze dienen als Grundlage zur Erweiterung von Berechnungsmodellen.

In dem **Forschungsprojekt SiME** soll durch interdisziplinären Zusammenwirken von universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie von mittelständischen Unternehmen eine Sicherheitsstrategie geschaffen werden, die bei der Vermeidung und Bewältigung ziviler Schadensszenarien hilft. Konkret soll eine verbesserte Sicherheitsstrategie eine sichere Evakuierung beeinträchtigter Personen aus Gefahrenlagen unter Berücksichtigung der zusätzlich benötigten Zeit und eventuell notwendiger Fluchtwegsanpassungen ermöglichen.

BMBF-FKZ: 13N13948

---

**Projektleitung:** Dr. Ronald Zinke

**Projektbearbeitung:** Florian Köhler M.Sc.

**Förderer:** Industrie; 01.06.2016 - 30.04.2017

#### **Ermittlung explosionsgefährdeter Bereiche bei Tankanlagen**

Den Bereichen an und um Tankanlagen für brennbare Flüssigkeiten werden gemäß der Technischen Regeln für Gefahrstoffe 509 (TRGS 509) explosionsgefährdete Zonen (Ex-Zonen) zugeordnet. Die Ex-Zonen selbst sind allerdings über Häufigkeitsklassen zündfähiger Freisetzungen definiert, sodass die Zoneneinteilung durch die TRGS nicht der realen Häufigkeitsverteilung unter Betriebsbedingungen entsprechen muss und die zugeordnete Zoneneinteilung i.d.R. sehr konservativ ist.

Zu den möglichen Zündquellen einer Ex-Zone sind Naturphänomene wie Blitze zu zählen, weswegen durch die TRBS 2152 und die DIN EN 62305 Ansprüche an Blitzschutzanlagen vorgegeben werden. Auf diesen Grundlagen müssten bei Beibehaltung der Zoneneinteilung an einer Vielzahl von Tankanlagen in Deutschland kostenintensive Erneuerungen und Erweiterungen hinsichtlich des Blitzschutzes durchgeführt werden.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden reale Konzentrationsverteilungen gemessen und die daraus ermittelten Ex-Zonen mit der vorherigen Zonenzuteilung verglichen. Motiviert ist dies durch die Vermutung, dass die tatsächliche Häufigkeit und räumliche Ausdehnung von Ex-Zonen im Bereich von Tanklagern signifikant von der zugeordneten Häufigkeit und räumlichen Ausdehnung abweichen und bei neuer Zoneneinteilung Erweiterungen des Blitzschutzes neu bewertet werden können. Hierbei soll nicht die Sicherheit der Anlage verringert, sondern geprüft werden, ob sich mit einem hohen Maß an Sicherheitstoleranz der Bereich der Überkonservativität reduzieren lässt.

Die Untersuchung und Bestimmung von realen Konzentrationsverteilungen brennbarer Flüssigkeitsdämpfe erfolgt durch ein geeignetes Messgerätenetz. Hierfür werden ein repräsentativer Schwimmdachtank für Ottokraftstoff und dessen Umfeld mit Messsonden ausgestattet, die über einen Zeitraum von einem halben Jahr bei allen denkbaren Betriebszuständen real auftretende Stoffkonzentrationen messen. Wetter und Betriebszustand werden synchron erfasst, um Korrelationen zu Umgebungsbedingungen mit abbilden zu können.

Sinn ist die Schaffung einer statistisch signifikanten Datenbasis zur Definition einer messwertbasierten Ex-Zoneneinteilung. Darauf aufbauend kann eine messwertbasierte Risikobewertung durchgeführt werden. Falls während des Messprogrammes fortlaufend keine relevanten Konzentrationen detektiert werden, besteht des Weiteren die Option nicht auszuschließende und i.d.R. nicht umgehend registrierte Störungen innerhalb des Normalbetriebs zu betrachten, um allen Anforderungen des Explosionsschutzes gerecht zu werden. Die dabei herangezogenen Freisetzungsszenarien sollen sowohl messtechnisch, als auch durch numerische Simulationen untersucht werden.

---

**Projektleitung:** Dr. Ronald Zinke

**Projektbearbeitung:** Trott, Marco

**Förderer:** BMWi/AIF; 01.07.2016 - 30.06.2019

#### **Modellierung von Brandszenarien in komplexen Gebäudestrukturen mittels fortgeschrittener strömungsdynamischer Methoden**

Zielsetzung des Projekts ist eine umfassende Fehlerbetrachtung sowie Einfluss- und Toleranzanalyse für numerische Strömungssimulationen von Brandszenarien in komplexen Gebäudestrukturen. Dabei sollen insbesondere die baulichen Gegebenheiten kerntechnischer Anlagen sowie eine mögliche anschließende atmosphärische Ausbreitung radioaktiver Isotope im Brandfall berücksichtigt werden.

Dies alles wird unter vollständiger Berücksichtigung einer Toleranz- und Fehlerbetrachtung durch



Monte-Carlo-Simulationen mit statistisch verteilten Eingangsparametern durchgeführt. Hierzu werden massiv-parallele Computer (Supercomputer) eingesetzt und Anpassungen und Weiterentwicklungen bestehender Programmcodes (OpenFOAM) vorgenommen. Die Bewertung des Ereignisspektrums, verursacht durch die explizite Berücksichtigung der Schwankungen in den unsicheren Parametern, führt dann zu einer möglichen Verwendung der Ergebnisse im Rahmen probabilistischer Sicherheitsanalysen.

---

**Projektleitung:** MSc Bastian Druschinski

**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt); 01.07.2016 - 30.06.2019

**Untersuchung der Flammenausbreitung in hybriden Gemischen**

Die Flammenausbreitung in hybriden Gemischen (diese sind brennbare Gemische aus Staub / Gas / Dämpfen und Luft) zeigt einige Phänomene auf, die für die einzelnen Stoffe nicht zu beobachten sind. So kann in hybriden Gemischen eine Zündung und Flammenausbreitung erfolgen, wenn von jedem Anteiligen Stoff die Menge unterhalb der unteren Explosionsgrenze vorliegt.

Um diese Prozesse besser zu verstehen, soll mit dieser Arbeit die Flammenausbreitung besonders ins Auge genommen werden. Hierzu wird ein neuer Versuchsstand entwickelt, der im Gegensatz zu den bestehenden Apparaturen zur Untersuchung von Staubexplosionen den Staub nicht impulsartig verwirbelt, sondern ein anderes Verfahren hierzu anwendet. Die Zündung des brennbaren Gemisches erfolgt mittels eines Zündfunken und die Flammenausbreitung kann mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera, sowie einer Thermokamera betrachtet werden.

---

**Projektleitung:** MSc Bastian Druschinski

**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt); 01.07.2016 - 30.06.2017

**Untersuchung der Zündvorgänge in explosionsfähigen Gemischen an der Grenze zu heißen Freistrahlen**

Die Ausbreitung von Explosionsflammen ist ein komplexes Phänomen, das auf verhältnismäßig kleinen Zeitskalen ablaufende strömungsdynamische und chemische Teilvorgänge verknüpft. Dabei tritt eine positive Rückkopplung ein, weil die Explosionsflammen einerseits Strömungswirbel induzieren, diese wiederum die Flammenoberfläche vergrößern und damit die Reaktionsrate erhöhen.

Die Modellierung dieser komplexen Vorgänge mit Mitteln der Kontinuumsmechanik stellt höchste Ansprüche, weil zahlreiche Sub-Modelle für Teilphänomene mit den strömungsdynamischen Grundgleichungen verknüpft werden müssen. Die starke Kopplung von Chemie und Turbulenz stellt hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der numerischen Simulation der Zündung. Wichtige Prozesse lassen sich nicht direkt lösen, sondern müssen durch geeignete Modelle approximiert werden.

In dem beabsichtigten Promotionsvorhaben soll eine solche Modellierung auf die Zündung ruhender oder bewegter explosionsfähiger Gasgemische durch erhitzte Freistrahlen, die aus Leckagen an explosionsgeschützten Geräten der Zündschutzart druckfeste Kapselung auftreten können, angewendet werden. Bei diesen Geräten kommt es zum Eindringen zündfähiger Atmosphäre aus dem explosionsfähigen Bereich in das Gehäuseinnenleben, und das eingedrungene Gas kann sich im Inneren entzünden. Diese Geräte sind für einen solchen Druck- und Temperaturanstieg ausgelegt, jedoch kommt es durch Spalten in den Gehäusewänden zu einem Austreten von erhitzten Verbrennungsgasen. Diese treten in der Form von instationären Freistrahlen aus dem Gehäuse in die umlegende explosionsfähige Atmosphäre aus.

Die Möglichkeit der Zündung explosionsfähiger Gemische durch solche Freistrahlen ist nicht ausreichend untersucht, und die Zulassung solcher Geräte bedarf bisher stets der versuchstechnischen Einzelzulassung. Die Entwicklung eines geeigneten validierten Simulationsmodells würde diesen Aufwand erheblich verringern, da hierdurch eine wissenschaftsbasierte Normung alleine aufgrund der Geometrie des Gehäuses möglich würde.

## **8. Eigene Kongresse, wissenschaftliche Tagungen und Exponate auf Messen**

## 9. Veröffentlichungen

### **Begutachtete Zeitschriftenaufsätze**

**Addai, Emmanuel Kwasi; Addo, Albert; Abbas, Zaheer; Krause, Ulrich**

Investigation of the minimum ignition temperature and lower explosion limit of multi-components hybrid mixtures in the Godbert-Greenwald furnace

In: Process safety and environmental protection - Amsterdam: Elsevier, Bd. 111.2017, S. 785-794

[Imp.fact.: 2,905]

**Bishop, R. F.; Li, P. H. Y.; Zinke, Ronald; Darradi, R.; Richter, Johannes; Farnell, D. J. J.; Schulenburg, Jörg**

The spin-half XXZ antiferromagnet on the square lattice revisited - a high-order coupled cluster treatment

In: Journal of magnetism and magnetic materials: MMM - Amsterdam: North-Holland Publ. Co, Bd. 428.2017, S. 178-188

[Imp.fact.: 2,357]

**Hahn, Sarah-K.; Rost, Michael; Kusche, Christian; Knaust, Christian; Krause, Ulrich**

Dokumentation der Entwicklung des m -Faktors und neuer Aspekt der Verbrennungseffizienz

In: Bautechnik: Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau - Berlin: Ernst, 2017; <http://dx.doi.org/10.1002/bate.201700020>

**Idakiev, Vesselin V.; Graner, Sebastian; Bück, Andreas; Tsotsas, Evangelos; Mörl, Lothar**

Wärmeübergangsuntersuchung in einer induktiv beheizten Wirbelschicht mit heterogener Schichtzusammensetzung

In: Chemie - Ingenieur - Technik: CIT - Weinheim: Wiley-VCH Verl, Bd. 89.2017, 6, S. 772-784

[Imp.fact.: 0,877]

**Idakiev, Vesselin V.; Lazarova, Pavleta V.; Bück, Andreas; Tsotsas, Evangelos; Mörl, Lothar**

Inductive heating of fluidized beds - drying of particulate solids

In: Powder technology: an international journal on the science and technology of wet and dry particulate systems - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 306.2017, S. 26-33

[Imp.fact.: 2,759]

**Leutritz, Tobias; Hilfert, Liane; Busse, Ulrich; Smalla, K.-H.; Speck, Oliver; Zhong, K.**

Contribution of iron and protein contents from rat brain subcellular fractions to MR phase imaging

In: Magnetic resonance in medicine: MRM: an official journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine - New York, NY [u.a.]: Wiley-Liss, Bd. 77.2017, 5, S. 2028-2039

[Imp.fact.: 3,924]

**Plagge, Michael; Krause, Ulrich; Riva, Enrico; Schäfer, Christoph; Forkel-Wirth, Doris**

An alternative method for thermal plume - induced aerosol release and deposition calculations in large geometries using fireFoam

In: Nuclear technology - La Grange Park, Ill: Soc, Bd. 198.2017, 1, S. 43-52

[Imp.fact.: 0,623]

**Schubert, Stefanie; Krause, Ulrich**

Numerische Untersuchung zur Rauchgasströmung in energieeffizienten Gebäuden mit kontrollierter Wohnraumlüftung

In: Bautechnik: Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau - Berlin: Ernst, Bd. 94.2017, 6, S. 344-349

### **Nicht begutachtete Zeitschriftenaufsätze**

**Zinke, Ronald; Köhler, Florian; Krause, Ulrich**

Abschätzung von Emissionsmassenströmen aus Schwimmdachtanks für Ottokraftstoffe - Einflussvariablen und Unsicherheiten

In: Technische Sicherheit - Düsseldorf: Springer-VDI-Verl, Bd. 7.2017, 9, S. 40-45

### **Begutachtete Buchbeiträge**

**Addai, Emmanuel Kwasi; Gabel, Dieter; Krause, Ulrich**

Explosion properties of three-phase hybrid mixtures

In: 5. Magdeburger Brand- und Explosionsschutztag - Magdeburg, 2017

[Beitrag auf USB-Stick]

**Hahn, Sarah K.; Krause, Ulrich**

Detektionserfolg und Detektionszeiten bei der Brandfrüherkennung

In: 13. Fachtagung Anlagen-, Arbeits- und Umweltsicherheit: Köthen, 16./17. November 2017 - Köthen: Hochschule Anhalt

[Tagung: 13. Fachtagung Anlagen-, Arbeits- und Umweltsicherheit, Köthen, 16./17. November 2017]

**Idakiev, Vesselin; Bück, Andreas; Tsotsas, Evangelos; Mörl, Lothar**

Inductive energy input in fluidized beds and its applications

In: Second Nordic Baltic Drying Conference: 7-9 June 2017, Hamburg, Germany; proceedings - Hamburg, insges. 9 S.

[Beitrag auf USB-Stick]

**Zinke, Ronald; Köhler, Florian; Krause, Ulrich**

Explosive gas area classifications at gasoline storage tanks - a project presentation

In: 5. Magdeburger Brand- und Explosionsschutztag - Magdeburg, insges. 12 S., 2017

[Beitrag auf USB-Stick]

### ***Wissenschaftliche Monografien***

**Köhler, Florian; Zinke, Ronald**

Ermittlung explosionsgefährdeter Bereiche bei Tankanlagen

Hamburg DGMK, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V., 2017, vii, 80 Seiten,

Illustrationen, Diagramme - (DGMK-Forschungsbericht; 793), ISBN 978-3-941721-84-5

### ***Abstracts***

**Hahn, Sarah-K.; Rost, Michael; Krause, Ulrich**

Calculating the combustion efficiency by heat release rate test data

In: 12th international symposium fire safety science: 12-16 June 2017, Lund University, Lund Sweden: book of abstracts

posters - Lund, 2017, Art. P13

[Symposium: 12th international symposium fire safety science, Lund, Sweden, 12-16 June, 2017]

### ***Dissertationen***

**Melcher, Thomas; Specht, Eckehard [AkademischeR BetreuerIn]; Krause, Ulrich [AkademischeR BetreuerIn]**

Reproduzierbarkeit von Brandversuchen - experimentelle und numerische Betrachtungen. - Barleben docupoint GmbH,

2017, xxiii, 200 Seiten, Illustrationen, Diagramme, 21 cm - (Docupoint Wissenschaft), ISBN 978-3-86912-129-1

**Saad, Rania Abdalla Babiker; Köser, Heinz [AkademischeR BetreuerIn]**

Influence of system type, loading regimes and helophyte species on inorganic sulfur transformations in constructed wetlands. - Magdeburg, 2017, xx, 112 Seiten, Illustrationen, Diagramme, Karten, 30 cm

[Literaturverzeichnis: Seite 99-108]