



## Verbundprojekt

### Innovative Technologien für die Erkundung, Löschung und Beobachtung von Kohlebränden - Phase B -

## Abschlussbericht

Gefördert vom



## Autoren

<b>Organisation</b>	<b>FKZ</b>	<b>Autor</b>
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. DLR	0330490 F	Christian Fischer
Bundesanstalt für Material- forschung und -prüfung BAM	0330490 G	Martin Schmidt
Bundesanstalt für Geowissen- schaften und Rohstoffe BGR	0330490 H	Uwe Meyer
Bergische Universität Wuppertal BUW	0330490 I	Uli Barth
Bergakademie Technische Universität Freiberg TU BAF	0330490 J	Carsten Drebenstedt
Leibnizinstitut für Angewandte Geophysik LIAG	0330490 K	Manfred W. Wuttke

# INHALTSVERZEICHNIS

## Teil I – Kurzdarstellung

1	Kurze Darstellung .....	4
1.1	Aufgabenstellung – Übergeordnete Ziele des Projektes .....	4
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	5
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde (verwendete Verfahren und Schutzrechte sowie Fach-literatur) .....	7
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8

## Teil II - Eingehende Darstellung

2	Eingehende Darstellung .....	9
2.1	WP-1000 Project Management .....	10
2.2	WP 3000 Attendance, Verification and Modelling of Coal Fire extinction Activities.....	11
2.3	WP 4000 Innovative extinction processes and techniques .....	18
2.4	WP 6000 Satellite Monitoring and Information Technology.....	25
2.5	WP 7000 Coal Mining without Fires .....	28
2.6	Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes.....	30
2.7	Bekannt gewordene Fortschritte Dritter .....	30
2.8	Erfolge und geplante Veröffentlichungen .....	31

## Anlage

Als Anlage sind die Berichtsblätter der Verbundprojektpartner beigefügt

# Teil I

## 1 Kurze Darstellung

### 1.1 Aufgabenstellung – Übergeordnete Ziele des Projektes

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Phase A, die sich auf das grundlegende Verständnis von Kohlebränden, sowie der Voraussetzung und des prinzipiellen Ablaufs der physikalisch-chemischen Brandprozesse konzentriert haben, erfolgte in Phase B eine Fokussierung auf Methoden zur Vermeidung von Kohlebränden, sowie der Löschung und Überwachung von Kohlebrandzonen, um einen Beitrag zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und zum Erhalt der nutzbaren Energieressourcen leisten zu können. Diese Arbeiten erfolgten insbesondere mit Bezug zu den „*Clean Development Mechanisms*“ (CDM), die im Rahmen des Kyoto-Protokolls entwickelt worden sind.

Eine Zertifizierung von Löschaktivitäten im Rahmen des Kyoto-Protokolls setzt dabei eine nachvollziehbare Ermittlung der kohlebrandbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und eine belastbare Abschätzung der durch die Löschung verringerten Emissionsmengen voraus. Wesentliche Arbeiten konzentrierten sich auf die Entwicklung von Verfahren, die eine solche Abschätzung gewährleisten können. Dazu wurden unterschiedliche Ansätze entwickelt und anhand der erhobenen Felddaten überprüft. Die untersuchten Ansätze konzentrierten sich dabei auf Verfahren, die eine Ermittlung des vorhandenen Kohlevolumens, die Erfassung der emittierten Gase und die durch die Kohlebrände verursachten Temperaturanomalien an der Tagesoberfläche ermöglichen. Die direkten Arbeiten zum Thema CDM wurden dabei in einem Arbeitspaket unter Federführung der BGR gebündelt.

Die deutsche Initiative zur Erforschung der Kohlenbrände in der V.R. China leistete zweifelsfrei signifikante Beiträge zu den oben genannten Zielen. Durch die inventiven Ansätze im Bereich der Brandbewältigung konnte darüber hinaus auch in Teilen die ökonomischen Chancen für ein Engagement deutscher Unternehmen aufgezeigt werden.

### 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Abstimmung der Arbeitsinhalte des Verbundvorhabens in der Phase B erfolgte aufgrund der Anmerkungen und Anregungen der Begutachtung des Folgeantrages der Phase A am 23./24. März 2006 in Bonn, sowie einem Abstimmungs- und Implementierungstreffen mit den Partnern des chinesischen Verbundvorhabens am 13./14. Mai 2006 in Beijing. Der überarbeitete Projektantrag für das Verbundprojekt wurde am 06. Juli 2006 beim Projektträger Jülich eingereicht, der formale Beginn des Projektes erfolgte gemäß Zuwendungsbescheid am 01. März 2007.

Die Koordination des Verbundvorhabens mit insgesamt sechs Partnern erfolgte, wie in Phase A, durch das DLR. Unterstützung bei der wissenschaftlichen Koordination erfolgte durch die Fa. HarbourDom GmbH (HD) im Rahmen eines Unterauftrages durch das DLR. Eine Unterstützung der Koordination vor Ort in China erfolgte durch die Fa. BOST, ebenfalls im Rahmen eines Unterauftrages des DLR.

Seitens der Evaluatoren und des Projektträger Jülich (PTJ) wurden insbesondere eine enge und abgestimmte Zusammenarbeit mit dem durch die damalige Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ (jetzt Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ) geförderten Vorhaben „*Improvement of Evironmental Situation and Protection of Natrual Resources in the Chinese Energy Industry*“, die Einrichtung eines das Verbundvorhaben begleitenden Arbeitskreises mit Teilnehmern aus Industrie und Wirtschaft, sowie die Durchführung einer Projektpräsentation gegenüber den Evaluatoren, dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem PTJ nach 18 Monaten der Projektlaufzeit gefordert.

Die Idee des Industriebegleitkreises war für die BUW von besonderer Bedeutung. So konnten durch umfangreiche bereits bestehende Industriekontakte zur Dräger Safety GmbH, als auch zur Gesellschaft für Gerätebau (GfG) eigene begleitende, messtechnische Untersuchungen sichergestellt werden.

Auf chinesischer Seite erfolgte die Projektbearbeitung ebenfalls im Rahmen eines Verbundvorhabens unter Federführung der Beijing Normal University (BNU). Die vier Projektpartner auf chinesischer Seite wurden durch das *Ministry of Science and Technology* (MOST), das *Ministry of Education* (MOE) und durch die Kohlebergbaufirma *China Shenhua Energy Ltd.* gefördert. Das Vorhaben wurde zudem durch das *National Remote Sensing Center of China* (NRSCC) begleitet.

### **1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Während die Projektpartner auf deutscher Seite mit dem Projekt zum 01.03.2007 beginnen konnten, war es auf chinesischer Seite erst im Frühjahr 2008 möglich, mit der Projektarbeit in dem ursprünglich geplanten Umfang zu beginnen. Die gemeinsamen Projektarbeiten wurden dann nach einer Auftaktveranstaltung, die am 14.05.2008 in Peking stattgefunden hat, begonnen.

Unabhängig von dem formalen Beginn des Projektes auf chinesischer Seite, begannen die fachlich-inhaltlichen Arbeiten bereits im Mai 2007 mit einer ersten Feldkampagne in Xinjiang und mit einer weiteren Feldkampagne im September 2007 in Wuda. Die Feldarbeiten auf den Kohlebrandgebieten Shuixi Gou und Queergou in Xinjiang erfolgten jeweils in enger Abstimmung mit dem *Fire Fighting Bureau* (FFB) in Urumqi, Xinjiang. Das FFB ist Partner des GTZ-Vorhabens. BGR und HD führten ebenfalls in 2007 in enger Zusammenarbeit mit dem FFB Messungen mit einem Bodenradar in Shuixi Gou und Schulungen zu dessen Anwendung und Auswertung durch.

In den Jahren 2008 und 2009 erfolgten jeweils Feldkampagnen im Frühjahr und Herbst, z.T. auch in kürzeren Abständen, auf den jeweiligen Kohlebrandgebieten in Shuixi Gou (Xinjiang) und Wuda (Ningxia). Dabei wurden insbesondere geophysikalische, gaschemische und petrophysikalische Messungen und Untersuchungen vorgenommen. Im Verlauf des Projektes erfolgten weitere Radarmessungen in der Provinz Xinjiang und Wuda, gaschemische Messungen, Temperaturbeobachtungen an Löscharbeiten, der Einsatz eines unbemannten Otokopters zu Infrarotaufnahmen und Gasmessungen sowie gezielte petrologische und petrographische Probenahmen und Untersuchungen, jeweils mit der Zielrichtung, den Gasausstoß aus Kohlefeuern besser quantifizieren und modellieren zu können um im Rahmen von CDM ergebnisorientierte Konzepte zu entwickeln. Neben der Durchführung praktischer Messarbeiten, ermöglichten es die gemeinsamen Arbeiten vor Ort in Queergou einen Einblick in die laufenden Löscharbeiten zu erhalten, um hieraus den Bewältigungsprozess unter den Gesichtspunkten der strategischen und taktischen Anwendung zu beschreiben und zu beurteilen, aber auch um potentielle Maßnahmen im Bereich des Arbeitsschutzes abzuleiten.

Die Feldarbeiten in China wurden mit gemeinsamen Projekttreffen der chinesischen Partner vor Ort, bzw. an der *Beijing Normal University* (BNU) in Beijing kombiniert, so dass eine enge Abstimmung zwischen den Partnern über die gesamte Laufzeit des Vorhabens möglich gewesen ist. Im Rahmen dieser Treffen wurde in 2009 ebenfalls ein Arbeitstreffen aller auf deutscher und chinesischer Seite im Projekt arbeitenden Doktoranden durchgeführt.

Die enge Zusammenarbeit des Verbundvorhabens mit dem GTZ-Vorhaben konnte bereits im Juni 2008 durch die gemeinsame Ausrichtung des internationalen Symposiums „*Challenges on Climate Change and the Role of Coal Field Fire Fighting in China*“ in Urumqi dokumentiert werden. Im Rahmen einer sich dem Symposium anschließenden Exkursion wurde auf einer Feuerzone das dort angewandte Standard-Löschverfahren untersucht und es ergaben sich

internationale Kontakte, wie zum Beispiel zum CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australien).

Die Zwischenpräsentation des Vorhabens auf deutscher Seite erfolgte im November 2008 in Berlin. Die Hinweise und Anregungen der Evaluatoren und des PTJ wurden in die Arbeitspläne der weiteren Projektbearbeitung integriert und umgesetzt. Insgesamt konnte ein Stand der Arbeiten präsentiert werden, der deutlich machte, dass die zum Projektbeginn gegebenen Hinweise weitgehend umgesetzt wurden. Die Planung der konkreten Arbeiten und die notwendigen Abstimmungen erfolgten dabei im Rahmen regelmäßiger Projekttreffen, an denen jeweils alle Partner des Vorhabens teilnahmen.

Die Etablierung des im Rahmen des Zuwendungsbescheides geforderten „Industrie-Begleitkreises“ erfolgte zu Beginn des Projektes. Die Sitzungen wurden unter Teilnahme des PTJ in regelmäßigem Abstand durchgeführt. Die erste Sitzung erfolgte im August 2007 in Bonn, die zweite Sitzung im April 2008 und die dritte Sitzung im November 2008, jeweils in Berlin. Weitere Sitzungen wurden von einer erfolgreichen Einreichung der entwickelten Methodologie zur Kohlebrandlöschung beim *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) abhängig gemacht (vgl. Kap 1.4). Da eine Überarbeitung und eine abschließend erfolgreiche Neueinreichung der Dokumente während der Projektlaufzeit nicht mehr realisiert werden konnte, erfolgte ein abschließender Austausch mit den Mitgliedern des Begleitkreises im Rahmen der Abschlusskonferenz im Mai 2010 in Berlin.

Um die aktuellen Forschungen international sichtbar zu machen und einen internationalen Austausch mit unterschiedlichen Fachrichtungen zu unterstützen, wurde mit Beginn der Phase B eine internationale Vernetzungsplattform im Internet etabliert, (vgl. unter <http://www.coalfire.org>).

Um die gemeinsamen Arbeiten und erreichten Ergebnisse auch Vertretern des MOST, des NRSCC, sowie dem Wissenschaftsattaché der Deutschen Botschaft in Beijing zu präsentieren zu können, fand ein offizielles Abschlusstreffen des gemeinsamen Verbundvorhabens im März 2010 an der BNU in Beijing statt.

Ein integraler Bestandteil des Verbundvorhabens war die Ausrichtung einer internationalen Konferenz zum Ende der Phase B. Da die erste Konferenz am Ende der Phase A in Beijing stattgefunden hatte, wurde aus Gründen der Parität und um die Sichtbarkeit des Engagements auf deutscher Seite zu dokumentieren, die *Second International Conference on Coal Fire Research* (ICCFR2) im Mai 2010 in Berlin ausgerichtet. Die Finanzierung der Konferenz erfolgte durch einen gesonderten Antrag der TU BAF in Ergänzung zum Antrag des Verbundvorhabens, durch Mittel der Projektpartner, sowie durch Förderung des Internationalen Büros (IB) des DLR im Rahmen der Aktivitäten zum „Deutsch-Chinesischen Jahr der Wissenschaft und Bildung 2009/2010“. Im Rahmen der Konferenz wurden Besuche der chinesischen Projektpartner sowie der Experten des FFB und von Shenhua Ltd. bei der BGR und dem LIAG in Hannover, sowie auf dem Freigelände der BAM bei Berlin ermöglicht.

Zur Unterstützung aller Arbeiten und insbesondere zur Verbesserung der komplexen Kommunikation zwischen den Projektpartnern auf deutscher und chinesischer Seite, wurde mit Hilfe der Fa. BOST im Mai 2008 das sog. „Beijing Office“ (BO) an der BNU eingerichtet. Das BO unterstützte insbesondere die Koordinatoren auf beiden Seiten, erstellte zwei Mitteilungsblätter über das Projekt und unterstützte die Vorbereitungen der Konferenz in Berlin. Die Finanzierung der Personalkosten erfolgte durch die beantragten Mittel des DLR, die Sachmittel wurden durch die BNU gestellt. Insgesamt kann die Einrichtung des BO als große Unterstützung und als ein Erfolg gewertet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Organisationen, die auf chinesischer Seite am Projekt beteiligt waren, war ein hoher Abstimmungs- und Koordinationsaufwand unvermeidlich. Sehr positiv haben sich hier die bereits vertrauensvolle Zusammenarbeit der Projektpartner auf beiden Seiten im Rahmen der Phase A, sowie die langjährige Erfahrungen der Fa. HarbourDom GmbH in China erwiesen.

#### **1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde (verwendete Verfahren und Schutzrechte sowie Fachliteratur)**

Bereits seit vielen Jahren wird auf dem Feld der Kohlenbrandproblematik geforscht. Allerdings handelte es sich bisher nur um vereinzelte Aktivitäten oder Forschungsprojekte kleineren Rahmens. Umfangreichere Forschungsarbeiten, die in den vergangenen Jahren aktiv in den Niederlanden oder den USA betrieben wurden, waren zum Start dieses Projektes beendet oder zumindest in sehr kleine Forschungsaktivitäten aufgeteilt. In einzelnen speziellen Themenfeldern, hier sei vor allem das Feld der Erkundung zu nennen, gab es immer wieder Arbeitsgruppen auf internationaler Ebene, die sich hiermit befasst haben. Eine dem Verbundvorhaben vergleichbare Aktivität war zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung nicht bekannt.

Die weiterführenden Arbeiten und Untersuchungen erfolgten auf den bereits aus der Phase A bekannten Brandzonen im Untersuchungsgebiet von Wuda (Ningxia). In Kooperation mit dem Bergbauunternehmen Shenhua wurden die Arbeiten überwiegend auf einer neuen Brandzone (FZ 18) durchgeführt. Die Konzentration der Arbeiten auf diese neue Brandzone war notwendig geworden, da aufgrund von Beschlüssen der Provinzregierung in Wuda die einzelnen Brandzonen großflächig im gesamten Bereich der Synklinale durch Sprengung und Abbau zwischen 2007 und 2009 abgebaut wurden. Diese Arbeiten führten zu einer (momentanen) Verringerung an oberflächennahen Brandzonen und zu einer völligen Umgestaltung des Reliefs der Tagesoberfläche. Aufgrund der Fokussierung der Projektarbeiten auf das Thema CDM erfolgte eine Konzentration der Feldarbeiten auf die Prüfung und Entwicklung von Verfahren, die eine Erfassung von Brandzonen, eine Überwachung der existierenden Brände und eine mögliche Bewertung der emittierten Energie bzw. der aus den Bränden resultierenden Gase ermöglichen.

Vor dem Hintergrund der nicht vorhersehbaren Situation in Wuda und der intensiven Zusammenarbeit mit dem FFB in Xinjiang, wurden daher die eine aktive Löschung gleitenden Untersuchungen auf den Feuerzonen in Queergou durchgeführt. Diese Untersuchungen erfolgten zusätzlich zu den regelmäßigen Untersuchungen in Wuda. Darüber hinaus wurde die Entwicklung von Methoden und Verfahren, die zukünftig eine Langzeitüberwachung bereits gelöschter Brandzonen unterstützen können, intensiv mit den Experten des FFB diskutiert.

Darüber hinaus wurden zwei Feldkampagnen auf dem Kohlefeuer von Shuixi Gou durchgeführt, da auf den dortigen Brandzonen langjährige Messungen durchgeführt worden sind, auf denen die Methoden und Verfahren basieren, die die Grundlagen der bei beim UNFCCC eingereichten Dokumenten bilden.

Diese untersuchten Ansätze und Verfahren wurden genutzt, um die aktuellen Ausarbeitungen zur Etablierung eines Verfahrens zur Basis-Abschätzung von Kohlebrand-Emissionen zu unterstützen. Diese Ausarbeitungen erfolgten unter Federführung der *National Development and Reform Commission* (NRDC) auf chinesischer Seite. Experten der BGR und der Fa. HarbourDom GmbH wurden dabei als externe Berater zu den relevanten Sitzungen eingeladen. Im Rahmen der Projektbearbeitungen erfolgte daher ein enger fachlicher Austausch zwischen den Experten und den Projektpartnern des Verbundvorhabens. Die auf chinesischer Seite erstellten Dokumente wurden im zweiten Halbjahr 2007 bei der UNFCCC eingereicht. Aufgrund formaler Fragen wurde die eingereichte Methode durch das *Executive Board* (EB) im Mai 2008 abgelehnt. Eine inhaltliche Überarbeitung der entwickelten Verfahren erfolgte bis zum Ende des Projektes, eine abschließende erneute Einreichung durch die chinesischen Experten konnte während der Laufzeit des Projektes allerdings nicht realisiert werden.

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde, analog zur Durchführung der Phase A, als Verbundprojekt mit einer einheitlichen Darstellung nach außen durchgeführt. Durch die enge Zusammenarbeit mit dem GTZ-Vorhaben konnte eine sehr enge Zusammenarbeit mit dem FFB in Xinjiang etabliert werden, welches unter Führung der NRDC an der Ausarbeitung der CDM-Methodologie beteiligt gewesen ist. Darüber hinaus ergaben sich Kontakte zum *China Coal Research Institute* (CCRI) in Beijing, welches hier ebenfalls beteiligt ist.

Aufgrund der engen Zusammenarbeit zwischen dem NRSCC und des DLR erfolgte im Rahmen der Auftaktveranstaltung der Phase B auf chinesischer Seite eine Unterzeichnung eines *Letter of Intent* zwischen NRSCC und DLR zur Dokumentation der gemeinsamen Interessen an einer zukünftigen Zusammenarbeit.

Mit dem ERSEC-Projekt-Cluster „*Living Landscapes in China*“ erfolgte eine Abstimmung bei der Außendarstellung der deutschen Teilnehmer an den aktuellen ERSEC-Aktivitäten im Rahmen der Internationalen Konferenz *Sustainable Land Use and Ecosystem Conservation*. Der Tagungsband der Veranstaltung wurde, wie die Konferenz-Proceedings der ersten internationalen Kohlefeuer-Konferenz, in der Reihe der ERSEC International Conference Proceedings veröffentlicht

Auf Einladung des FZ Jülich erfolgte eine Teilnahme an dem zweiten Treffen des *Sino-German Joint Steering Committee on Cooperation in Geosciences*. Das Treffen wurde auf deutscher Seite unter Federführung des BMBF durch das FZ Jülich organisiert.

Neben dem engen Kontakt des DLR zum NRSCC sind das DLR und die BNU im Rahmen des ESA/MOST-Programms *DRAGON 2* mit einem gemeinsamen Projekt zur Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Erfassung und Analyse von Kohlebränden vertreten. Das Programm fördert insgesamt 26 Projekte, die im Rahmen der Laufzeit von 2008 bis 2012 jeweils von europäisch-chinesischen Gruppen bearbeitet werden. Es werden seitens der Beteiligten sehr gute Chancen gesehen, die Entwicklung von fernerkundlichen Auswerteverfahren weiter vertiefend im Kontext dieser Initiative bearbeiten zu können.

Die Aktivitäten der chinesischen Partner im Arbeitsgebiet Wuda ließen es nicht zu, wie geplant Temperaturlogs in tiefen Bohrlöchern zu nehmen. Allerdings war der Projektpartner Fa. HarbourDom GmbH im Rahmen eines EU-Projekts an der Löschung eines Kohlefeuers in der unmittelbaren Umgebung von Mostar (Bosnien und Herzegowina) als technisch-wissenschaftlicher Berater beteiligt. In diesem Zusammenhang wurden vom LIAG als Unterauftragnehmer in 2008 mit dem bereits in Phase A beschafften Hochtemperatur-Logging-System HTLS300 Temperaturprofile in 34 bis 80 m tiefen Bohrlöchern gemessen. Die Daten wurden zur Planung der weiteren Löschkaktivitäten interpretiert. Damit konnte diese Technologie zum ersten Mal erfolgreich getestet werden.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung hat als Ergebnis der Abschlusskonferenz ICCFR2 eine Zusammenarbeit mit den Universitäten Edinburgh (BRE Centre for Fire Safety Engineering) sowie Nottingham (School of Chemical and Environmental Engineering) auf dem Gebiet der Brandprävention, -erkennung und -bekämpfung begonnen.

Durch die Mithilfe der deutschen Unternehmen, sowie institutionellen Einrichtungen, war es der BUW möglich, eigene sowie unterstützende Arbeiten für Projektpartner innerhalb dieses Vorhabens zu leisten. Hervorzuheben ist hier die Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Gesellschaft für Gerätebau in Dortmund, mit Dräger Safety GmbH in Krefeld, mit der „Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)“ und der „Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW)“. Außerdem standen neben den chinesischen Partnern auch weitere internationale Kontakte, insbesondere aus Indien und den USA (z.B. Ansprechpartner aus dem Office of Surface Mining, OSM) zum Austausch von Fachinformationen zur Verfügung.



## Teil II

### 2 Eingehende Darstellung

Umfangreiche Laboranalysen, Modellrechnungen und Feldmessungen haben zu einem vertieften Verständnis der Verbrennungsvorgänge geführt und eine Abschätzungen der notwendigen Größen und Parameter zur Betrachtung der Stoff- und Energieumsätze von Kohlebränden ermöglicht. Diese Arbeiten bilden die notwendigen Grundlagen für aktuelle und zukünftige methodische und belastbare Datenanalysen. Gleichzeitig wurden die umfangreichen Messungen im Gelände, soweit möglich, als Referenzdaten für die Verifizierung der Auswertungen unterschiedlicher Fernerkundungsdaten genutzt. Die unterschiedlichen Arbeiten bilden damit in ihrer Gesamtheit die Grundlage für eine mögliche zukünftige Anerkennung von Löschaktivitäten im Rahmen der CDM-Mechanismen des Kyoto-Protokolls.

Der interdisziplinäre Ansatz des Projekts im Rahmen der deutsch-chinesischen Kooperation hat entscheidend zum Verständnis der Arbeitsbedingungen im Rahmen von Löschaktivitäten vor Ort beigetragen. An dieser Stelle sei nochmals auf die intensive und Zusammenarbeit mit den Experten der GTZ und des FFB in Xinjiang verwiesen.

Im Folgenden werden die Zielstellung und die durchgeführten Arbeiten der am Verbundvorhaben beteiligten Partner dargestellt. Für die detaillierte Darstellung der durchgeführten Arbeiten, sowie der erreichten Ergebnisse wird an dieser Stelle auf den als Buchform erstellten Tagungsband der zweiten Kohlefeuerkonferenz und auf die im Rahmen des Projektes erstellten Handbücher verwiesen, die in Kürze veröffentlicht werden:

Meyer, U.; Fischer, C.; Rüter, H. und Wu, J. (Hrsg.):

Manual of Coal Fire Research, Volume I

***Remote and Ground Based Methods for Reconnaissance and Monitoring of Near Surface Coal Fires***

ISBN: 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-041-0

Wuttke, Manfred W.; Schmidt, M. and Gusat, D. (Hrsg.):

Manual of Coal Fire Research, Volume II

***Modeling of Near Surface Coal Fires***

ISBN: 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-042-7

Barth, U.; Schmidt, M. and Cai, Z. (Hrsg.):

Manual of Coal Fire Research, Volume III

***Fire Fighting and Sustainable Accomplishment of Near Surface Coal Fires***

ISBN: 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-043-4

Drebenstedt, C.; Eichler, R.A. (Hrsg.):

Manual of Coal Fire Research, Volume IV

***Technical, Technological and Organisational Aspects for Fire Prevention in Coal Mining***

ISBN: 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-044-1

Meyer, U.; Rüter, H.; Chen-Brauchler, D.; Fischer, C. und Kong, B. (Hrsg.):

Manual of Coal Fire Research, Volume V

***Clean Development Mechanisms - Applications to Near Surface Coal Fires***

ISBN: 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-045-8

## 2.1 WP-1000 Project Management

### WP 1000 Project Management

#### **Ziele**

- DLR, HD
- Wissenschaftliche und technische Koordination des Gesamtprojektes.
- Kommunikation zwischen den Projektpartnern auf deutscher Seite und mit den Partnern des Projektes auf chinesischer Seite.
- Koordination und Durchführung von Geländekampagnen, Projekt- und Arbeitstreffen.
- Initiierung des Industriebegleitkreises, sowie Organisation und Durchführung der Sitzungen und Kommunikation mit den Mitgliedern des Begleitkreises während der Laufzeit des Projektes.
- Koordination der Berichterstattung der Partner des Verbundvorhabens gegenüber dem Projektträger.

Seitens des DLR erfolgte eine Unterstützung bei der Implementierung und Koordination des „Beijing Office“ an der BNU, sowie bei der Koordinierung der Unteraufträge an die Firma HarbourDom GmbH und der Fa. BOST in Beijing. Neben der Koordination der relevanten Arbeiten im Verbundprojekt kamen in Phase B die intensive Abstimmung mit der GTZ und dem FFB in Xinjiang hinzu. Diese Arbeiten umfassten insbesondere die intensiven und notwendigen Vorbereitungen und Durchführungen der Feldkampagnen in Xinjiang.

Daneben erfolgte der Aufbau und Betrieb der Vernetzungsplattform im Internet (<http://www.coalfire.org>).

Neben der Etablierung des Industrie-Begleitkreises erfolgte eine Kommunikation mit dem Büro des UNFCCC, sowie mit ausgewählten Mitgliedern des EB über die fachlichen Aspekte der eingereichten CDM-Methodologie, sowie in diesem Zusammenhang mit den Zertifizierungsfirmen De Norske Veritas und TÜV Rheinland, sowie mit der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt.).

Es wurden maßgebliche Arbeiten bei der Vorbereitung und Durchführung der internationalen Konferenz ICCFR2, inkl. des Internetauftritts, sowie der umfangreichen Nachbereitung der Konferenz durchgeführt.

Aufgrund des großen Interesses der chinesischen Projektpartner an den Möglichkeiten eines wissenschaftlichen Austausches wurden seitens aller Projektbeteiligten mögliche Unterstützungsmaßnahmen evaluiert und zusammengestellt. Im Rahmen eines wissenschaftlichen Austausches waren Gastwissenschaftler aus China am DLR und an der TU BAF tätig.

Im Rahmen der Abschlussveranstaltung des GTZ-Projektes im August 2010 nahmen Wissenschaftler von HarbourDom und LIAG als Vertreter des Verbundprojektes teil.

## 2.2 WP 3000 Attendance, Verification and Modelling of Coal Fire extinction Activities

### WP 3000 Attendance, verification and modelling of coal fire extinction activities

#### **Ziele**

- BAM
  - Weiterentwicklung des Rechenmodells zur Simulation eines Modellfeuers.
  - Modellierung der ungestörten Brandausbreitung.
  - Modellierung des Effektes von Wärme- und Sauerstoffzug auf die Brandausbreitung.
  - Modellierung der Effektivität von Barrieren.
  
- BGR, HD; DLR, BUW
  - Kommunikation mit Industrie, politischen und wissenschaftlichen Institutionen zu Aspekten der Clean Development Mechanismen im Rahmen des Kyoto-Protokolls.
  - Begleitung und Verifikation der Löschvorgänge mit Methoden der Geophysik (WP3120)
  - Verifikation der Löschvorgänge und Abschätzung von Umweltgasen aus Kohlebränden mittels Methoden der Gaschemie (WP3180).
  - Bewertung des Wiederentzündungspotentials und des Löscherfolgs nach dem Brand durch Methoden der Petrographie (WP3210 und WP3220).
  - Ermittlung von Voraussetzungen für CDM-Maßnahmen (WP WP3610 und WP3620).
  - Ermittlung von Baseline-Bestimmungen und Löschkontrollen im Rahmen von CDM (WP3630, WP3640 und WP3650).
  - Untersuchungen zur Übertragbarkeit der durchgeführten Messungen auf eine kontinentale Skala (WP3660).
  
- TU BAF
  - Modellierung von Rissbildung und Entstehung von Kluftsystemen im Zusammenhang mit Flözbränden.
  - Erarbeitung einer Methodik zur Erstellung von Prognosekarten für Kohlebrände unter Verwendung von künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) und GIS.
  - Continental Upscale der Kohlebrände in China.
  - Zusammenführung und Austausch wissenschaftlicher Erkenntnisse durch die Durchführung einer internationalen Konferenz und Veröffentlichung der Konferenzbeiträge.

#### **Zusammenfassende Darstellung der Tätigkeiten der am WP beteiligten Projektpartner**

- BAM

In das in Phase A erstellte Reaktionsmodell wurde ein Konvektionsmodell (gerichtete Strömung) implementiert. Mit Hilfe dieses erweiterten Modells, wurde die Brandausbreitung einer konkreten Feuerzone berechnet (FZ 8, Wuda, China). Hierzu wurde die elementare Zusammensetzung CHNS-O (Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Sauerstoff) der verschiedenen Kohlen im Ausgangszustand, bzw. im verbrannten und im unvollständig verbrannten Zustand zum Aufstellen von Reaktionsgleichungen bestimmt. Bisher war nur die Analyse von CHN möglich, welche nur unzureichende Informationen lieferte. Die Verifizierung und Validierung des Reaktionsmodells erfolgte durch Simulation der unter WP 4000 durchgeführten Brandausbreitungsversuche.

Barrieren verschiedener Materialien wurden mit Hilfe numerischer Simulationsrechnungen hinsichtlich ihrer Eignung zur Verhinderung einer weiteren Brandausbreitung am Beispiel der Feuerzone 18 (Wuda) getestet. Die in WP 4000 erzielten Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen konnten bestätigt werden. Eine Eindämmung der Brandausbreitung ist nur zu erreichen, wenn eine Barriere eine geringe Wärmeleitfähigkeit in Kombination mit geringer Permeabilität gegenüber Gasen aufweist. Es erfolgte darauf hin die Entwicklung eines Modellansatzes zur Berechnung des Effektes von Heatpipes auf das Temperaturfeld in der Brandzone. Zur abschließenden Beurteilung wurden die Daten des Langzeitversuches in der Brandzone Wuda (Feldkampagnen 2008/2009) herangezogen. Mit Hilfe eines vereinfachten Modells wurde beispielhaft der Kühleffekt von Heatpipes, installiert in erhitztem Gestein, berechnet. Bei einem Rasterabstand von 10 m ergab sich über einen Zeitraum von 3 Jahren ein deutlicher Abkühleffekt im Gegensatz zur alleinigen Wärmeleitung durch das Gestein. Der Einsatz von Heatpipes für weitere Anwendungsgebiete, z.B. zur Brandvermeidung in Siloanlagen wird mit Hilfe des entwickelten Rechenmodells geprüft.

- DLR / BGR

Im Rahmen der gemeinsamen Feldarbeiten wurden insbesondere in enger Abstimmung umfangreiche Temperaturmessungen auf unterschiedlichen Feuerzonen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten durchgeführt. Zusätzlich wurde in Wuda und Queergou eine größere Anzahl von Daten-Logger zur permanenten Datenaufzeichnung installiert. Die Aufzeichnung von Temperaturdaten in Form von vertikalen Profilen an ausgewählten Standorten und die flächenhafte Erfassung der Temperaturen in vergleichbarer Tiefe über das Gebiet der Feuerzone hinweg, bildeten die Grundlage für die Erstellung eines ersten Modells zur Beschreibung der Temperaturbilanz an der Tagesoberfläche. Die Messungen und Modellierungen wurden genutzt, um die durchgeführten Analysen der aufgenommenen Satellitenbilddaten unterstützen zu können.

Die durchgeführten Messungen von Gasemissionen auf ausgewählten Brandzonen wurden durch Messungen der Temperaturen in ausgewählten Spalten und Bereichen der Tagesoberfläche begleitet. Dabei wurden unterschiedliche Messkonzepte entwickelt und verschiedene Messgeräte eingesetzt (Gasmessungen in unterschiedlichen Höhen und an unterschiedlichen Standorten, bildgebende Thermalkameras, singuläre Temperaturmessungen durch Thermometer und dauerhafte Temperaturmessungen durch Installation kontinuierlich aufzeichnender Daten-Logger).

Die Brandgebiete Shuixi Gou und Wuda wurden durch im Jahre 2007 regelmäßig durch ASTER-Nachtaufnahmen aufgenommen. Die prozessierten Bilddaten wurden genutzt, um die Temperaturen an der Tagesoberfläche in den Untersuchungsgebieten erfassen und im Vergleich zu den umliegenden Gebieten auswerten zu können.

Durch die multi-temporalen Auswertungen konnten die Folgen der umfangreichen Abbauarbeiten in Wuda und die daraus resultierenden Temperaturveränderungen in den einzelnen Gebieten der Synklinale dokumentiert werden. Für das Untersuchungsgebiet Shuixi Gou konnten die Daten mit den langjährigen Messungen an der Tagesoberfläche des FFB verglichen werden. Dies ermöglichte die Beschreibung der dortigen Energieumsätze an der Tagesoberfläche unter Nutzung der Fernerkundungsdaten.

- BGR

Eine der wichtigsten Voraussetzungen zum erfolgreichen Löschen von Kohlebränden ist die Kenntnis über Löschwasserressourcen. Die BGR hat mehrere, gut geeignete geophysikalische Verfahren in ihrem Portfolio, entsprechende oberflächennahe Reservoirs zu bestimmen.

Insbesondere in Wuda ist die Wasserknappheit durch die geographische Lage ein Problem. Entsprechende Untersuchungen mittels der Transienten Elektromagnetik wurden vorbereitet, kamen aber auf Grund von logistischen Problemen im Wüstengebiet der Gobi nicht zum Einsatz. Hier sollte insbesondere versalzenes Grund- und Oberflächenwasser, das als Trinkwasser nicht geeignet ist, als Löschwasserquelle erkundet werden.

Jedoch konnte mit dem Einsatz des UAV zusammen mit einer Infrarotkamera die Oberflächentemperaturen dokumentiert werden. Zusammen mit einem Netz von vergrabenen Temperaturloggern lässt sich der Löscherfolg sehr gut dokumentieren. Beide Verfahren erscheinen zur Steuerung der Löschung und zur Löschkontrolle gut geeignet. Die Kombination beider Verfahren wurde in Queergou zum Einsatz gebracht. Mit dem UAV wurden Temperatur und Gasmessungen in den drei Gebieten Shuixi Gou, Queergou und Wuda durchgeführt, jeweils mit dem Ziel, die Brandzonen möglichst genau räumlich zu bestimmen. In Queergou wurden die Löscharbeiten direkt begleitet. Es hat sich gezeigt, dass es noch Potential zur Verbesserung der Kartierung der Oberflächentemperatur und bezüglich der Georeferenzierung gibt.

Im Untersuchungsgebiet Wuda konnten vor Ort entlang der Kohlestöße und aus abgeteufelten Bohrungen Kohle- und Sedimentproben entnommen werden. Zusätzlich wurden Sedimentproben des Deckgesteines zur Bestimmung der petrophysikalischen Eigenschaften entnommen. Die Aufzeichnung der makro- und mikropetrographischen so wie der brennstoffchemischen Daten entlang der Profile diente als Grundlage für die Erstellung eines graphischen Modells zur lateralen und vertikalen Ausdehnung und zur Ableitung der Mächtigkeit der Feuerzone 18 in Wuda. Eine homogen verlaufende Brandfront konnte nicht bestätigt werden. Stattdessen wurden punktuell auftretende Brandherde mit unterschiedlicher lateraler und vertikaler Verbreitung erfasst. Die mikropetrographischen Messungen wurden ebenfalls genutzt, um die Wiederentzündlichkeit der Kohlen zu untersuchen. Generell konnte abgeleitet werden, dass die entnommenen hoch inkohlten Kohleproben nach dem Einfluss des Kohlebrandes eine geringe Wiederentzündlichkeit besitzen.

In den Lösch- und Brandausbereitungsexperimenten der LIAG und BAM konnte weiterhin der Einfluss der Löschmittel und Barrieren verschiedener Materialien auf die Beschaffenheit und das Gefüge so wie die technologischen Eigenschaften der Kohleproben untersucht werden, um den potentiellen Löscherfolg unter Feldbedingungen einzuschätzen. Die unter Laborbedingungen durchgeführten Löschexperimente ergaben eine vollständige Versiegelung der Makrorisse und –spalten durch Salzkristallisation. Die brennstoffchemischen Analysen lieferten hingegen ein differenziertes Bild. Die Brandausbereitungsexperimente mit dem Barrierematerial Vermiculit weisen einen unterschiedlichen Grad der thermischen Beanspruchung der Kohleproben auf.

Die geophysikalischen Beobachtungen, die petrographischen Ergebnisse sowie die Modellrechnungen in den einzelnen Gruppen wurden zusammengenommen betrachtet, um daraus pragmatische Konzepte für die CDM-Anwendung bei der Löschung von Kohlefeuern zu definieren.

Es wurden drei Konzepte vorgelegt und eingehend diskutiert: der Energieansatz, der Volumenansatz und der direkte Ansatz. Der Energieansatz wurde für die Erstellung der jeweils überarbeiteten Dokumente zur Vorlage bei UNFCCC genutzt. Die Methoden zur Erkundung und Beobachtung von Kohlefeuern sowie die Erkenntnisse und vorgeschlagenen Konzepte im Rahmen der CDM-Arbeiten werden in jeweils einem Handbuch dargestellt.

- LIAG

WP 3100:

Feldkampagnen im Untersuchungsgebiet Wuda (Innere Mongolei).

Auf der Feuerzone 18 in Wuda wurde in 2008 ein Feld von 25 Flachbohrungen (1m Teufe) installiert, in denen wiederholt (fünf Mal bis Mai 2009) Temperaturprofile und Gaskonzentrationen gemessen wurden. Alle Messungen zusammengenommen ergeben ein konsistentes Bild über die Signatur des Feuers an der Oberfläche und dessen Dynamik. Aus diesen Daten konnte für jede Kampagne eine Karte eines sog. Feuerindex erzeugt werden. Dessen Verteilung wird im Wesentlichen durch die Temperaturdaten (Werte und Flüsse) bestimmt, da die Gasmessungen stark durch jahreszeitlich Winde überformt werden, die die Komponenten in den oberflächlichen Spalten jahreszeitlich unterschiedlich verschieben. Der Feuerindex wurde zunächst aufgrund einer Anfangsgewichtung der Datensätze iterativ bestimmt. Da in Wuda keine Aktivitäten im Hinblick auf eine Löschung zu erkennen waren, wurde die Messreihe ab Herbst 2009 nicht mehr weitergeführt. Diese Art von in der Fläche verteilten, im Abstand von 2-3 Monaten wiederholten Messungen liefern geeignete Werte für die Validierung der verwendeten Rechenmodelle. Werden sie auch nach dem Aufbringen einer Abdeckung weitergeführt, kann auch einfach die Wirksamkeit oder Nachhaltigkeit einer solchen Maßnahme beurteilt werden.

Feldkampagnen im Untersuchungsgebiet Queergou (Xinjiang).

Auf einer kleineren Feuerzone in Queergou wurde bereits im Oktober 2008 ein ähnliches Messfeld wie in Wuda aufgestellt und beprobt. Bei der Kampagne im Mai 2009 zeigte sich, dass der größte Teil der Messstellen den Baggerarbeiten für die Löschvorbereitungen zum Opfer gefallen war. Dafür wurde im August 2009 in einem Gebiet oberhalb der Löscharbeiten ein Messfeld eingerichtet, das nun nach der Löschung den Erfolg der Maßnahmen verifizieren helfen soll. Dieses Feld wurde im Oktober 2009 noch einmal beprobt. Ein zunächst festgestellter Anstieg der Temperaturen wird mit dem Transport heißen Wasserdampfs aus den unteren Lagen unterhalb der Abdeckung interpretiert. Es konnten außerdem Temperaturlogs der chinesischen Partner aus den Löschbohrungen ausgewertet werden, die aber leider nur in einem sehr groben Raster (5m) geliefert wurden. Die Interpretation der Logs gestaltet sich schwierig, da die zeitliche Zuordnung zu Löscheinsätzen ungenau ist.

Feldkampagnen im Untersuchungsgebiet Shuixi Gou (Xinjiang).

Der Besuch des Feuergebiets im Wassertal (Shuixi Gou) war wichtig, um die für dieses Gebiet durchzuführenden, die entsprechende CDM Methodologie begleitenden Modellrechnungen einrichten und die Ergebnisse beurteilen zu können.

Hochtemperaturmessungen in tiefen Bohrlöchern

Das Hochtemperaturmessgerät HTLS-300, das am LIAG in Phase A für Messungen in Bohrlöchern bis 300 m Tiefe und Temperaturen bis 1200° C angeschafft wurde, konnte in China noch nicht wieder zum Einsatz kommen, da keine entsprechenden Bohrlöcher zur Verfügung standen. Durch eine Beteiligung des LIAG an einer Löschmaßnahme bei Mostar (Bosnien und Herzegowina), vermittelt durch den Projektpartner HD ergab sich aber die Möglichkeit des Einsatzes auf dicht oberhalb der Stadt gelegenen brennenden Steinkohleflözen. Aufgrund der guten Vorbereitung vor Ort und der guten Zusammenarbeit mit der lokalen Bohrfirma konnten innerhalb von sechs Tagen 34 Bohrlöcher bis über 80m Teufe vermessen werden. Die Daten wurden für die folgende Planung der Löschmaßnahmen unmittelbar ausgewertet.

WP 3400:

#### Modellierung von Mehrphasentransport und Phasenumwandlungen

Für die Behandlung des Mehrphasentransports bzw. der Phasenumwandlung wurde am LIAG das Programmsystem MUFTE-UG der Universität Stuttgart beschafft, das diese Prozesse schon im Wesentlichen behandeln kann. Hier müssen noch die Stofffunktionen für Wasser und ~dampf auf die im Kohlebrand auftretenden Temperaturbereiche ausgedehnt werden. Die Behandlung von Salzkristallisation wäre dann der nächste Schritt. Die Dissertation in der dies erfolgen sollte, ist aufgrund der zeitlichen und personellen Randbedingungen nicht zustande gekommen. Da damit immer noch die Modellierung von Mehrphasenströmungen und Phasenumwandlungen aussteht, und bestehende Codes nicht für den Kohlebrand relevanten Temperaturbereich ausgelegt sind, wurde mit der Entwicklung eines eigenen Programms begonnen, das modular die Kopplung vieler Prozesse ermöglicht (objektorientiert, multi-physics Ansatz). Der Code kann die bisherigen Ergebnisse reproduzieren, ist aber durch die Eigenentwicklung besser für Erweiterungen im Hinblick auf die zusätzlichen Prozesse geeignet.

#### THMC Kopplung

Um den Einfluss gebirgsmechanischer Veränderungen durch und deren Rückwirkung auf das Kohlefeuer besser zu verstehen, wurde am LIAG ein vielversprechender Ansatz begonnen. In den numerischen Gittern für den Transportcode werden an vordefinierten Stellen Verfeinerungen zur Abbildung theoretischer Risse vorgesehen. Diese Gebiete werden zunächst mit normalen Materialeigenschaften belegt. Hat das Feuer diese Gebiete passiert, werden die Eigenschaften auf hochpermeabel umgeschaltet, so dass sie wie offene Risse wirken können. Dies hat in Testrechnungen signifikante Auswirkungen auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Feuerfront. Für die Steuerung dieser numerischen Experimente wurden neue Matlab-Skripte entworfen, die es einfach ermöglichen, die Ausgaben des standardmäßig benutzten Rockflow-codes zu analysieren und den Fortschritt der Rechnungen danach zu steuern.

#### Unterstützung der CDM-Modellrechnungen

Die Vorbereitung einer CDM-Methodologie durch die BGR wurde durch Hilfestellung bei der Durchführung von Modellrechnungen (auch Bereitstellung von CPU-Zeit) und Analyse der Rechenergebnisse unterstützt. Dies diente auch dem Test der Konzepte für die Onsite-Modellierung.

#### Mittelskaliges Feldexperiment Mehrum

Zur Verifikation der Modellcodes war als Eigenleistung aus dem Haushalt des LIAG (zusätzlich ein Wissenschaftler und ein Techniker) ein mittelskaliges Feldexperiment auf einer Kohlelagerhalde begonnen worden. Aufgrund der Umstrukturierungen im LIAG und dem Wegfall einer Haushaltskraft aus dem Projekt (Vorruhestand des Projektleiters Dr. Kessels Ende 2008) fehlte es ab 2009 an der personellen Unterstützung, weshalb das Experiment aufgegeben werden musste.

#### Grundwassermodell für die Region Wuda

Im Rahmen einer erfolgreichen Diplomarbeit an der TU Braunschweig wurde auch aufgrund der vor Ort durchgeführten Erkundungen in 2009 ein Grundwassermodell für die Region Wuda erstellt mit dem eine umfangreiche Erkundung der Grundwassersituation in Wuda analysiert werden kann.

#### WP 3500:

Die sog. Onsite-Modellierung soll es einem Ingenieur, der mit der Brandbekämpfung beschäftigt ist, erlauben, durch vereinfachte Modellrechnungen Aufwand, Erfolg und Nachhaltigkeit von Brandbekämpfungsmaßnahmen wie z. B. Abdeckung abzuschätzen. Hierzu wird das Programm Rockflow mit dem erarbeiteten Feuermodell als binary zur Verfügung gestellt. Eine Benutzeroberfläche wurde entwickelt (GRISU: GGA Rockflow Input und Start Utility), die es ermöglicht, auf vorbereitete sog. generische Feuermodelle zurückzugreifen, die aus getesteten Eingabedateien für Prozesssteuerung, Geometrie und Anfangsbedingungen bestehen. Ausgehend von diesen generischen Daten kann der Benutzer dann noch wenige relevante Eingabeparameter innerhalb eines erprobten Wertebereichs variieren, bzw. die Geometrie noch besser an die realen Gegebenheiten anpassen. Insbesondere der letzte Punkt ist nicht trivial, da normalerweise jede Geometrieänderung auch eine Änderung in den Knoten und Elementlisten für den FE Code mit sich bringt. Daher wurden daher Methoden entwickelt, die die Geometrie unter Beibehaltung der Netztopologie verändern lassen. Die Entwicklung einer Bibliothek von generischen Feuermodellen stellt eine kontinuierliche Aufgabe dar, wobei im Prinzip jede erfolgreiche durchgeführte Modellrechnung als Grundlage für ein Feuermodell genutzt werden kann. GRISU ist eine Java Applikation, die somit auf jedem modernen Computersystem lauffähig ist. Dieser Ansatz (GRISU- oder script-basierte Anwendung der Modellcodes) diente auch den Projektpartnern (BGR, DLR) als Grundlage für deren CDM-relevante Modellierungen

- TU BAF

#### WP 3300

Es wurde diverse Arbeiten zur numerischen 2D- bzw. 3D-Modellierung durchgeführt. Exemplarisch wurde an der Brandzone 8 (Wuda) die Datenübertragung zwischen der BAM und der TU BAF getestet. Dabei wurde ein von der BAM erzeugtes 2-D Modell der Brandzone mit Hilfe des Datenaustauschformates DXF übertragen und weiterverarbeitet. Es konnte gezeigt werden, dass die Datenübertragung zwischen beiden Institutionen und damit zwischen den unterschiedlichen Simulationsprogrammen, ohne Probleme durchführbar ist.

Weitere Fortschritte konnten auch in der Entwicklung der begleitenden Simulation der Versatzeigenschaften erzielt werden. Hier wurde mit Hilfe von dynamischen 3D-Modellen eine Sensitivitätsanalyse der Versatzeigenschaften durchgeführt. Im Speziellen verfolgt die Modellierung das Ziel die Festigkeit des Versatzes (Kohäsion, Reibungswinkel), die Geometrie (Böschungswinkel) sowie den First und Sohlenschluss zu optimieren. Besonderes Augenmerk wird dabei auf das Verhalten der eingebrachten Dämme im Falle eines Explosionsereignisses gelegt.

Bei der Zusammenarbeit der Modellierungsgruppe wird eine Vernetzung mittels „der Fuzzy-logic Block Decomposition“-Methode seitens der TU BAF angewendet. Mittels der „KUBRIX“-Software für FLAC- Anwender mit der man automatische sechsseitige Bereiche aufbaut, wird die „Vernetzung“ der Modelle zwischen den Modellierungsprojektpartnern sehr erleichtert und automatisiert.

#### WP 3610

Die TU Bergakademie Freiberg beherbergte für sechs Monate Herrn Prof. Deng Jun von der Xi'an University of Science and Technology (XUS) als Gastwissenschaftler. Dabei konnten vor allem die Themen Prävention- und Löschverfahren für Kohlebrände, die numerischen Modellierungen, sowie Dickstoffversatz und seine Umweltauswirkungen bearbeitet werden. Dieser Austausch war sehr nachhaltig und hat die Zusammenarbeit zwischen den Universitäten gestärkt.



So wurde zum Beispiel zwischen der TU BAF und XUS im Mai 2009 ein Workshop in Xi'an zum Thema Kohlebrände durchgeführt. Hierbei wurde bereits eine weitere Zusammenarbeit im Bereich Kohlebrände bzw. neue Löschmaterialien, nach Abschluss der Phase B des Projektes, diskutiert und vereinbart. Ein weiteres Ergebnis dieser Zusammenarbeit ist der Workshop/ Weiterbildungskurs „Mine Reclamations, Mine Recultivation“, welcher unter der Beteiligung der TU BAF, an der China University of Mining and Technology (CUMT) Beijing, im Oktober 2009 erfolgreich durchgeführt wurde.

- TU BAF / DLR

WP3660

Die Hauptaufgabe der kontinentalskaligen Untersuchungen war die Entwicklung einer zeit- und kostennahen Methode zur landesweiten Risikoanalyse. Dies ist wichtig, da eine regelmäßige Abdeckung des gesamten Gebietes von China mit aktuellen hochauflösenden Fernerkundungsdaten und deren Auswertung hinsichtlich der Entstehung und Entwicklung von Brandzonen aus kosten- und arbeitstechnischen Gründen nicht möglich ist, bzw. nicht sinnvoll erscheint. Ziel der kontinentalskaligen Untersuchungen war die Erstellung einer landesweiten Prognosekarte der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von spontanen Kohlefeuern. Die freie Verfügbarkeit und der Zugang zu Fernerkundungs- und Geobasisdaten des gesamten Gebietes von China waren erforderlich, um das zu entwickelnde Risikoprognoseverfahren mit diesen Daten zu testen, anzuwenden und zu verifizieren. Zu diesen digitalen Datensätzen zählten Satellitendaten, digitale Geländemodelle, Landnutzungsklassifizierungen, lithostratigraphische Klassifizierungen der geologischen Einheiten, Klimadaten und vor allem physiko-chemische Parameter und Abgrenzungen der einzelnen Kohlefelder im Untersuchungsgebiet. Zur Kalibrierung (Training), Verifizierung und Validierung der zu erstellenden Risikoprognose waren punktuelle Information zu bereits bekannten Auftreten von Kohlefeuern unabdingbar.

Neben der Beschaffung von Daten erfolgten methodische Untersuchungen zur Ableitung und Verknüpfung geowissenschaftlicher und bergbaulicher Informationen, um anhand der Informationen und Parameter unterschiedliche Ansätze zur Ableitung des Risikos auftretender Kohlebrände entwickeln zu können. Auf Basis einer umfangreichen Literatur- und Datenrecherche wurde analysiert, wo Kohle und Kohlebergbau in China existiert und welche naturräumlichen und bergbau-technischen Parameter für eine Brandentwicklung wichtig sind. Dabei sind vor allem die folgenden erfassten physiko-chemischen Eigenschaften der untersuchten Kohlen als wesentliche Datengrundlage für die nachfolgende Risikoanalyse hervorzuheben: Volatilgehalt, Aschegehalt, Schwefelgehalt, Inkohlungsgrad und stratigraphisches Alter.

Für die kontinentale Skala wurde zunächst eine MS Excel Datenbank / Tabelle bezüglich der Vorkommen von Kohle in China erstellt. Im zweiten Schritt wurde auf Basis einer umfangreichen Internetrecherche eine GIS-Datenbank (in SQL Server innerhalb der Software advanceo®) bezüglich der vorhandenen, frei verfügbaren Geobasisdaten für den Raum China erstellt. Hierbei sind vor allem die folgenden digitalen Daten für die nachfolgende Risikoanalyse als relevant zu benennen: räumliche Verteilung und Ausdehnung der Kohlefelder (inklusive Bergbaudistrikte), hydrographische Elemente (Flussnetzwerk), stratigraphische geologische Einheiten, Höhenmodell, Vegetationsindex, Bevölkerungsverteilung, Jahresniederschlagsverteilung und Jahresdurchschnittstemperaturverteilung.

Die in Excel erfassten Informationen über die physiko-chemischen Eigenschaften der Kohlen konnten zudem zur räumlich-verteilten Parametrisierung der Kohlefelder verwendet werden. Diese Daten stellen die wichtigste Datengrundlage für die Risikoanalyse und zum Verständnis der räumlichen Verteilung der Kohlebrände dar.

In einem dritten Schritt wurde unter Verwendung der verschiedenen erfassten GIS-Daten ein künstliches neuronales Netz innerhalb der Software advangeo® aufgebaut. Mit Hilfe ausgewählter Trainingspunkte von bekannten Lokalitäten von Kohlebränden im Bereich der nördlichen Provinzen von China (auf Basis von Geländebeobachtungen bzw. auf Grundlage von Literaturangaben) konnte das Netz für den Bereich der ausgewählten Trainingsprovinzen trainiert werden und anschließend das trainierte Netz auf das gesamte Gebiet von China angewandt werden, um räumlich verteilte Aussagen über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Kohlebränden in ganz China treffen zu können. In einer abschließenden Sensitivitätsanalyse konnten die Eingangsparameter Inkohlungsgrad, Hangneigung und stratigraphisches Alter der geologischen Einheiten als wichtigste Parameter identifiziert werden. Als Ergebnis der Risikoanalyse konnte die „Coalfire Probability Map of China“ im Maßstab 1:7.000.000 erstellt werden, welche neben den Ergebnissen der Risikoanalyse in umfassender Form auch die verwendeten Basisdaten präsentiert.

Die Ergebnisse der Risikoanalyse bzw. der Modellierung der Wahrscheinlichkeiten des Auftretens von Kohlefeuern (inklusive der erstellten Übersichtskarte) können verwendet werden, um auf regionaler bzw. provinzieller Ebene die flächenhafte Erstreckung und Verteilung gefährdeter Bereiche zu identifizieren und künftige Präventiv- und Schutzmaßnahmen räumlich besser zu koordinieren und zu planen. Zudem kann auf Basis der Fläche der ausgehaltenen gefährdeten Bereiche eine genauere Aussage zur Fläche der brennenden Kohlefelder in China mit den ermittelten Wahrscheinlichkeiten abgeleitet werden.

### **2.3 WP 4000 Innovative extinction processes and techniques**

#### WP 4000 Innovative extinction processes and techniques

##### **Ziele**

- BAM
  - Charakterisierung der Kohlefeuer (Brandtemperaturen und –geschwindigkeiten).
  - Untersuchung innovativer Löschmethoden im Labor- und Technikumsmaßstab durch
    - Wärmeentzug,
    - Versiegelung,
    - Brennstoffentzug,
    - Materialien für Barrieren,
    - Sauerstoffentzug.
- BUW
  - Innovative Löschverfahren.
  - Grundlagen, Strategien und Infrastrukturen.
  - Methoden zum Energie-/Wärmeentzug.
  - Methoden zur Sauerstoffreduzierung.
  - Methoden zum Brennstoffentzug.
  - Empfehlungen zu Löschmethoden.
- DLR
  - Untersuchungen zur notwendigen technischen Infrastruktur für innovative Löschverfahren und Löschtechniken.

- Untersuchungen zu möglichen Strategien für eine Wiedernutzbarmachung gelöschter Kohlebrandflächen und einer zukünftigen Landnutzung.
  - LIAG
    - Einsatz von Salzwasser zur Versiegelung gegen Sauerstoffeintritt, Abgasaustritt und zur Erhöhung der Wärmedissipation.
  - TU BAF
    - Untersuchungen zum Vermeiden von Luftwegsamkeiten.
    - Eindämmen von Brandbereichen durch Einbau von Versatzstoffen.
    - Betrachtung der gegenseitigen Beeinflussung von Brandfortschritt und Deformation des umliegenden Gebirges.

### **Zusammenfassende Darstellung der Tätigkeiten der am WP beteiligten Projektpartner**

Aufgrund der Entscheidung der Provinzregierung in Ningxia, in der gesamten Synklinale von Wuda die existierenden Kohlebrandzonen in einer Art Tagebau auszugraben und gleichzeitig die oberen Flöze weitestgehend abzubauen, waren löschbegleitende Arbeiten in Wuda während der Projektlaufzeit nicht möglich. Daher wurde in Abstimmung mit der GTZ und dem FFB in Xinjiang die Möglichkeit wahrgenommen, aktuelle Löscharbeiten auf den Brandzonen in Queergou messtechnisch begleiten zu können.

Das FFB besitzt eine langjährige Expertise in der Bewertung von Kohlebrandzonen hinsichtlich einer Entwicklung und Durchführung angepasster Löscharbeiten. Die Begleitung der Arbeiten vor Ort ermöglichte einen vertieften Einblick in die praktischen Löscharbeiten und einen intensiven Fachaustausch zwischen den Projektpartnern, dem FFB und der GTZ. Insbesondere der Einsatz von bildgebenden Messverfahren und von kontinuierlichen Temperaturmessungen während der Löschung und im Rahmen einer Langzeitüberwachung bereits gelöschter Brandzonen stieß seitens der chinesischen Experten auf großes Interesse.

- BAM

#### WP 4100

Ein vereinfachter Versuchsaufbau zur Ermittlung charakteristischer Brandeigenschaften des ungestörten Brandes (Brandtemperaturen und –geschwindigkeiten) wurde aufgebaut und eingesetzt. Versuche mit unterschiedlichen Randbedingungen (thermische Dämmung, Luftzufuhr) wurden durchgeführt und daraus aussichtsreiche Löscharbeiten abgeleitet. Die Planung des beantragten quasi-adiabaten Rohrofens zur Durchführung von Brandausbreitungsversuchen wurde in Anlehnung an diese Ergebnisse fertig gestellt. Die Inbetriebnahme erfolgte Ende 2008.

Mit Hilfe des quasi-adiabaten Rohrofens erfolgte die Durchführung verschiedener Versuche unter Variation thermischer Randbedingungen und der Luft-(Sauerstoff-) Zufuhr. Die Abhängigkeit der Brandgeschwindigkeiten und –temperaturen von dem an der Brandzone zur Verfügung stehenden Sauerstoff konnte bestimmt werden und diente als Grundlage für weitere Untersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Barrieren und Löscharbeiten. Gleichzeitig dienten die Ergebnisse als Eingabedaten für numerische Simulationsrechnungen.

Zur Generierung der für Simulationsrechnungen erforderlichen Eingabeparameter erfolgte der Auf- und Ausbau einer Analyseketten an der BAM. Dabei konnten folgende Geräte durch Haushaltsmittel finanziert werden:

i) Makro-Elementaranalysator CHNS-O, ii) Makro-Simultane Thermische Analyse (STA), iii) gekoppelte Thermogravimetrie (TG) und iv) Dynamische Differenz-Kalorimetrie (DSC). Mit Hilfe dieser Apparatur können der Masseverlust und die Wärmefreisetzung reagierender Proben simultan gemessen werden. Weiterhin erfolgte die Beschaffung eines Analysators zur Bestimmung der temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit, des Wärmeleitkoeffizienten und der spezifischen Wärmekapazität von Feststoffproben (Eingabedaten für numerische Simulationsrechnungen, sowie eines mobilen Infrarot-Spektrometers zur Analyse von Brandgasen.

#### WP 4200

Für den Bau und die Installation einer Heatpipe zum Energieentzug (Planung für erste Feldkampagne) wurde eine Literaturstudie durchgeführt. Resultierend daraus erfolgte die Auswahl des prinzipiellen Funktionsprinzips (Wasserumlauf) und Festlegung der Testbedingungen vor Ort (Brandzone 18, Wuda), die Konstruktion eines geeigneten Wärmeübertragers für den Kopf der Heatpipe (Kondensator) sowie die Festlegung der Wärmeübertragerfläche.

Nach dem Test eines in Deutschland konstruierten und nach China gesandten Wärmeübertragers erfolgte in-situ der Bau eines einfachen Modells mit den vor Ort verfügbaren Materialien. Der vereinfachte Aufbau wurde für den Langzeittest eingesetzt. Zur Überwachung der Funktion der Heatpipe sowie zur Abschätzung der abgeführten Wärmemenge wurden zusätzlich Temperaturmessstellen an der Heatpipe sowie in Observationsbohrungen in geringem Abstand zur Heatpipe errichtet. Im Mai 2009 wurde der Langzeitversuch des Prototyps einer Heatpipe in der Feuerzone 18 in Wuda beendet. Während des ersten Versuchszeitraumes arbeitete die Heatpipe kontinuierlich.

Nach dem Abschalten der Heatpipe im Herbst 2008 stiegen die Temperaturen im Untergrund unmittelbar an der Heatpipe um 45 bis 75 K an, in einem Abstand von 0,75 m um 10 K. In 1,5 m Abstand war kein Effekt mehr festzustellen. Der Kühleffekt war demnach messbar, allerdings gering, da die Temperatur der Brandzone vergleichsweise niedrig war (max. 270 °C). In umfangreichen Laborversuchen wurden Randbedingungen untersucht, die zu einer Verbesserung der Effektivität einer Heatpipe führen. Hierbei wurde festgestellt, dass: a) bei ausreichend dimensioniertem Wärmeüberträger Umgebungsbedingungen wie Wind keinen Einfluss auf die Wärmeabfuhrleistung aufweisen; b) die Menge des eingefüllten Arbeitsmediums (hier Wasser) keinen Einfluss aufweist, sobald eine Mindestmenge überschritten wird; c) die Wärmeabfuhrleistung mit Zunahme der Temperatur im Untergrund ansteigt. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen dienen als Eingabeparameter für zu entwickelnde numerische Modelle sowie als Grundlage für die Auslegung für weitere technische Anwendungen. Der Einsatz von Heatpipes für weitere technische Anwendungen wird geprüft (z.B. Brandvermeidung in großvolumigen Brennstofflagern).

In der Brandzone Queergou (Xinjiang) erfolgte während der Feldkampagne im Sommer 2009 der Aufbau einer weiteren Heatpipe mit einer Tiefe von 50 m. Auch in dieser Tiefe arbeitete die Heatpipe wie erwartet. Damit ist der Einsatz von Heatpipes auch bei tiefer liegenden Bränden möglich. Langzeitmessungen konnten aufgrund der fortschreitenden Brandbekämpfungsmaßnahmen in dieser Feuerzone nicht durchgeführt werden.

Unter Verwendung des quasi-adiabaten Rohrofens wurde der Einfluss der Wärmeabfuhr auf das Brandverhalten bei sonst gleich bleibenden Randbedingungen untersucht. Trotz gleich bleibender Luftzufuhr konnte mit Hilfe der Wärmeabfuhr eine Verlangsamung bzw. ein Stoppen der Brandausbreitung erreicht werden. Ein Effekt der Kühlung des Untergrundes auf den Brandverlauf ist somit zu erwarten.

#### WP 4300/4400

Als Möglichkeit der Brandprävention erfolgten Untersuchungen zum Einfluss einer Versiegelung der Kohleoberflächen mit Salzlösung. Festgestellt wurde eine Verminderung der Neigung zur Selbstentzündung. Durch Messung der thermischen Eigenschaften der Kohle-Salz-Mischungen wurde eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei Zumischung von Salzen festgestellt. Hierdurch kann eine verbesserte Wärmeabfuhr aus dem System erreicht werden. Ein mögliches Anwendungsgebiet dieser Methode ist das Versiegeln der in stillgelegten Stollen verbleibenden Restkohle. Hier ist ein Hauptteil der Selbstentzündungsvorgänge zu erwarten, die zu ausgedehnten Kohlebränden führen können.

Mit Hilfe des quasi-adiabaten Rohrofens wurde geprüft, inwieweit Barrieren verschiedener Materialien in der Lage sind, die Brandausbreitung zu stoppen bzw. zu behindern. Untersucht wurden bisher folgende Materialien und deren Mischungen: Sand (stoffliche Trennung, permeabel gegenüber Gasen, relativ hohe Wärmeleitfähigkeit); Vermiculit, Schichtsilikat (stoffliche Trennung, permeabel gegenüber Gasen, niedrige Wärmeleitfähigkeit); Salz (stoffliche Trennung, wenig permeabel gegenüber Gasen nach „Versinterung“, hohe Wärmeleitfähigkeit). Die Untersuchungen ergaben, dass für eine effektive Verhinderung der Brandausbreitung sowohl eine geringe Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Materials als auch eine geringe Permeabilität notwendig sind. Ein vielversprechender Ansatz ist die Kombination von Materialien. So konnte mit einer Mischung bestehend aus Salz und Vermiculit (resultierend ist eine geringe Permeabilität und Wärmeleitfähigkeit) die Ausbreitung eines Brandes im Labormaßstab gestoppt werden. Die Ergebnisse sind für den Einsatz von Löschmittelzusätzen (z. B. paste backfill) übertragbar (Zumischung von Materialien geringer Wärmeleitfähigkeit, aktive Kühlung durch Heatpipes).

Systematische Laboruntersuchungen zur Brandentstehung und Schwelbrandausbreitung in Kohleschüttungen unter Variation der Umgebungstemperatur und des für die Reaktion zur Verfügung stehenden Sauerstoffs wurden durchgeführt. Neben dem Massenverlust der Proben während der Entzündung wurden die entstehenden Schwelgaszusammensetzungen bestimmt. Für verschiedene Brandstadien und Randbedingungen konnten charakteristische CO/CO<sub>2</sub> - Verhältnisse bestimmt werden. Mittels in-situ Gasmessungen können so Rückschlüsse auf das Brandstadium gezogen werden. Ebenso ist die Überwachung des Löschfortschrittes und des Löscherfolges möglich.

- BUW

Die wissenschaftliche Zuständigkeit der BUW bestand im Verbundvorhaben hauptsächlich hinsichtlich der Bearbeitung bestimmter Teilforschungsaufgaben auf Grundlage der Planung im WP 4000. Diese Teilaufgaben wurden unter der Federführung der BAM bearbeitet.

Durch die inhärente und interdisziplinäre Ausrichtung der Sicherheitswissenschaft konnte durch das systemanalytische Querschnittswirken der BUW ein neuer bzw. erweiterter ganzheitlicher Ansatz entwickelt und dargestellt werden. Unter Berücksichtigung flankierender Arbeitssicherheits Elemente sind seine wesentlichen Komponenten die Prävention und Intervention, das organisatorische Regelkreismodell, ein systematisierter Entscheidungsfindungsprozess und das so genannte Mehrebenenmodell (national, regional, lokal) sowie Strategie und Taktik.

#### WP 4100

Zur Ergänzung der theoretischen Forschungsarbeiten waren vor allem die Feldkampagnen notwendig, um im Bereich der innovativen Löschmethoden als auch im Bereich der strategischen und taktischen Vorgehensweise inventive Potentiale auszuschöpfen. In enger Kooperation mit den Verbundpartnern BAM, LIAG und TU BAF war es das Ziel diese Löschmethoden neben den kleinskaligen Experimenten auch vor Ort in Feldversuchen zu erproben.

Bedingt durch die Schnittstellenproblematik (Phase A/B, soziokulturelle Unterschiede) konnten trotz sehr umfangreicher Vorarbeiten und gleichnamiger Investitionen in Phase A die geplanten Felderproben nur eingeschränkt durchgeführt werden. Außerdem konnte die Zielsetzung bezüglich innovativer Lösungsverfahren und -methoden nur für die „heat pipe“ aus den Laborversuchen der BAM heraus in einer ersten orientierenden Erprobung im Feld durchgeführt werden.

Bedingt durch die sehr umfangreiche Aufgabenstellung waren Simulationen von Bränden und potentiellen Lösversuchen nur unter Einschränkungen möglich. Die taktischen Einsatzmöglichkeiten anhand konkreter Kohlenbrandprofile ließen sich somit für Lösungsverfahren und -mittel nicht ausreichend darstellen. Allerdings zeigte die Erhebung weltweit angewandter Löschmethoden und Lösungsverfahren, dass von den einzelnen Ländern verschiedenste Vorgehensweisen und Kombinationen zur Brandbekämpfung eingesetzt werden. Hierbei zeigt sich, dass die einzelnen Verfahren nicht grundsätzlich neu, jedoch eine Kombination aus diesen als zielführend und auf einzelne Situationen entsprechend angewandt, eine deutliche Verbesserung in der Brandbewältigung darstellen konnten.

WP 4200, 4300, 4400

Die Erarbeitung von unterschiedlichen Brandszenarien und die darauf bezogenen taktisch-intervenierenden Vorgehensweisen wurde unter Berücksichtigung der für einen Kohlebrand relevanten Parameter Brennstoff, Oxidationsmittel sowie Zündenergie/-quelle, durchgeführt. Ferner wurde die Notwendigkeit deutlich gemacht, dass es zum Zweck einer nachhaltigen Bewältigung – etwa der gesamten Kohlebrandproblematik eines Landes – neben der Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur zwingend erforderlich ist, auch das strategische Vorgehen der zuständigen Verantwortlichen (Managementebene) grundsätzlich mit einzubeziehen.

Eine besondere Herausforderung ergab sich aus dem Umstand, dass sich Status und Verlauf der einzelnen Brände deutlich unterscheiden können. Dies wiederum verlangte neben einer Art kartographischer Klassifikation der Brände (Brandprofil, engl. fire inventory) ein auf die im konkreten Einzelfall bzw. ermittelte Lage optimiertes Vorgehen. Ebenso orientieren sich an diesen Aspekten die Maßnahmen des Arbeitsschutzes. Abhängig von den einzelnen Brandprofilen lassen sich Bedingungen für unterschiedlich zu treffenden Vorgehensweisen standardisieren. Dies erlaubt es im Rahmen eines Arbeitsschutzmanagements einen höheren Organisationsgrad bzw. eine generalisierte Methodik zu implementieren.

Aus der Gesamtheit der seitens der BUW erzielten Forschungsergebnisse sind folgende besonders hervorzuheben:

- Der Wissenstand über international zur Kohlenbrandlöschung angewandte Lösungsverfahren und Löschmittel einschließlich der dabei genutzten Löscheffekte des Energie-, Sauerstoff- und Brennstoffentzuges sowie der Wissensstand über die Wirkungsgrade wurde signifikant erhöht und öffentlich zugänglich gemacht.
- Eine optimierte Bewertungs- und Entscheidungssystematik wurde in einer Weise entwickelt, dass es den vor Ort zuständigen Verantwortlichen möglich ist, Kohlenbrände nach Wichtigkeit und Dringlichkeit entsprechender Bewältigungsmaßnahmen zu kategorisieren. Diese Methodologie im Rahmen einer Risikobeurteilung und -einschätzung (engl. risk assessment) soll unterstützend wirken, um Sicherheitsaspekte in einer hierarchischen Struktur darstellen zu können. Ein strategisch taktisches Auswahl- und Entscheidungssystem wurde zu dem Zweck entwickelt, die für eine spezielle Brandzone geeigneten Lösungsverfahren, einschließlich der dazu erforderlichen Löschmittel, auszuwählen.

- Darstellung des inhärenten Zusammenhangs zwischen Brandbekämpfung einerseits sowie Arbeits- und Gesundheitsschutz andererseits im Zusammenhang mit einer ganzheitlichen und nachhaltigen Brandbewältigung. Ableitung von Maßnahmen im Arbeits- und Gesundheitsschutz (Maßnahmenkonzept/ Leitfaden) nach Beurteilung von Risiken denen das Personal während der Brandbewältigung aufgrund der tradierten und auch innovativen Löschmethoden ausgesetzt ist. In diesem Zusammenhang erfolgte die Durchführung einer ausführlichen Befragung von Chinesen, weiteren Ausländern sowie Deutschen um ein akzeptiertes gesellschaftliches Risiko zu ermitteln.

#### WP 4500

Das Gesamtergebnis dieses Forschungsvorhabens ist als innovativ zu bezeichnen und entspringt einem ganzheitlichen, sowohl auf Prävention als auch auf Intervention aufgebauten Ansatz. Die ursprüngliche Intension, innovative Löschmethoden und –verfahren zu entwickeln, erfolgreich anzuwenden und möglicherweise in einem Markt zu implementieren musste auf der Stufe inventiver Ansätze beendet werden. Jedoch konnte der ursprüngliche Ansatz eines verbesserten Löscherfolgs durch Brandbekämpfung im Einzelfall, auf eine nachhaltige und somit ganzheitliche Brandbewältigung ausgeweitet werden. Somit diene dieses Forschungsvorhaben in einzigartiger Weise zur Sicherung nationaler fossiler Steinkohlenressourcen für zukünftige Generationen, zum globalen Schutz der Erdatmosphäre, zum regionalen urbanen Umweltschutz als auch zur Humanisierung der Arbeitsbedingungen für die in der Brandbekämpfung tätigen Kräfte.

Es darf erwartet werden, dass von tagesnahen Kohlenflözbränden betroffene Länder gerne von dem aufgrund dieses Verbundforschungsvorhabens nunmehr in der Bundesrepublik Deutschland verfügbaren Wissensstand profitieren möchten und dieser Bedarf von deutschen Unternehmen in profitabler Know-how bedient werden kann. Aber nicht nur in der Bundesrepublik Deutschland sondern auch bedingt durch die rasante Entwicklung im soziokulturellen Bereich werden das individuelle Sicherheitsbewusstsein und das kollektive Umweltbewusstsein in der V.R. China signifikant ansteigen.

Dies lässt erwarten, dass sich in Bälde auch ein dementsprechender materieller Bedarf und Wissensbedarf einstellen wird. Auch forciert durch die deutlich strengeren gesetzlichen Regelungen in der V.R. China ergibt sich, dass sich der Bedarf an sicherheitstechnischer Ausrüstung progressiv entwickeln wird. Im Bereich des Arbeits- und Gesundheitsschutzes wird derzeit bereits eine verstärkte Zusammenarbeit in diesem Sektor forciert. Die BUW konnte ihre unter den sich entwickelnden Bedingungen zu leistenden Aufgabenteile am Verbundprojekt abschließen. Hiermit wurden wesentliche wissenschaftliche Beiträge zum Gesamterfolg der deutsch-chinesischen Kohlenbrandforschung geleistet.

- DLR

#### WP 4150

Grundsätzlich erscheint eine reguläre Folgenutzung der Tagesoberfläche gelöschter Brandzonen nicht möglich. Um eine Wiederentzündung der Feuerzone durch eine Zerstörung der Deckschicht mit anschließender erneuter Sauerstoffzufuhr verhindern zu können, erscheint eine Vermeidung von möglichen Erosionsprozessen (durch Wind und Wasser) und eine Langzeitkontrolle (Monitoring) grundsätzlich notwendig. Während in Wuda aufgrund der abgeräumten Deckschichten, in Verbindung mit der Generierung großflächiger Bergehalde, eine zielgerichtete Versiegelung potentieller Brandflächen derzeit kaum möglich erscheint, ist aufgrund des Vorgehens der chinesischen Experten in Queergou, die gelöschten Brandzonen mit einer Schicht aus unterschiedlichen Bodenarten, insbesondere Löss, abzudecken, die Etablierung einer dauerhaften, durch eine natürliche Vegetation, geschützte Versiegelung möglich.

- LIAG

WP 4200, 4300

In der weiteren Umgebung des Brandgebietes von Wuda gibt es große Vorkommen von Salz, das auch industriell gewonnen wird, insbesondere NaCl und CaCl<sub>2</sub>. Dies führte zu der Idee, dieses Salz als Additiv zum Löschwasser zu verwenden und damit nach dem Auskristallisieren die Permeabilität für Frischluft und Abgase zu reduzieren sowie die Dissipation der Brandenergie zu erhöhen. Im Labor konnten diese gewünschten Effekte demonstriert und durch Modellrechnungen deren Auswirkung auf die Feuerdynamik untersucht werden. Ein bei der Abteilung Geowissenschaften und Hydrologie der FU Berlin bestelltes Gutachten zeigte zumindest in den festen und flüssigen Produkten des Reaktionssystems Salz-Kohle-Wasser keine Bildung von Dioxinen, wie anfangs befürchtet.

Zur Felderprobung von Salzwasser ist es aus mehreren Gründen nicht gekommen. Im Berichtszeitraum wurden keine Löschaktivitäten mit Wasserinjektionen im Bereich Wuda durchgeführt. Die Beschaffung ausreichender Mengen von Salz wäre aufgrund der Tatsache, dass Salz in China besonderen Handelsbestimmungen unterliegt sehr kostspielig geworden. Es wurde auch zunehmend fraglich, ob im Gebiet Wuda überhaupt ausreichende Wassermengen zur Verfügung gestanden hätten, um solche Löschmaßnahmen durchzuführen. Die Erkundung vermuteter Salzwasservorkommen in der unmittelbaren Nähe von Wuda, die nur durch Bohrungen hätten erreicht werden können, konnte aufgrund logistischer Probleme (Verfügbarkeit geeigneter Fahrzeuge und Fahrer des chinesischen Partners für eine Wüstenquerung) nicht durchgeführt werden. Die Vermutung dieser Salzwasservorkommen wurde durch eine im Rahmen des Projekts durchgeführte Diplomarbeit an der TU Braunschweig gestützt. Hierzu wurden schon 2007 Recherchen bei den zuständigen Behörden der Inneren Mongolei in deren Hauptstadt Hohot durchgeführt. Die dann in Queergou begleiteten Löschaktivitäten haben noch einmal deutlich gemacht, welche immensen Mengen Salz nötig sind, um eine Wasserkühlung mit Salz zu unterstützen. Solche Mengen sind wohl nur direkt aus salinen Aquiferen zu gewinnen und müssten auf ihre ökologischen Auswirkungen noch einmal gesondert untersucht werden.

- TU BAF:

WP 4200, 4300, 4400

Schwerpunkt der Forschungsarbeiten lag auf der Auswahl und Untersuchung von abbindenden Soffen zur Nutzung als Versatzstoff. Dieser kann in entstandene Klüfte oder durch Bohrungen in untertägige Hohlräume bzw. im Grubengebäude selbst eingesetzt werden. Durch seine anfangs flüssige Konsistenz dringt das Versatzmaterial auch in kleinräumige Öffnungen und z. T. auch in die Poren des Gesteins. Nach dem Aushärten sind die Öffnungen verschlossen und verhindern so den Sauerstoffzutritt zu dahinterliegenden Brandherden und den Abtransport der Brandgase. So wird das unkontrollierte Entweichen von Brandgasen an der Tagesoberfläche vermieden, zugleich wirkt sich der Verbleib der Brandgase im Brandbereich hinderlich auf den Brandprozess aus. Durch die Verfüllung der Hohlräume wird die Standsicherheit des Gesteins deutlich erhöht. So wird vermieden, dass durch Bodenbewegungen neue Risse und Spalten entstehen, die zusätzliche Luftwegsamkeiten ermöglichen.

Je nach Zusammensetzung kann das Versatzmaterial mit Wärmeleiteigenschaften ausgestattet werden, die denen des umliegenden Gesteins entsprechen, wodurch der Wärmeschluss im Gebirge und somit die langfristige Auskühlung der durch den Versatz eingeschlossenen Brandbereiche ermöglicht wird. Darüber hinaus wird durch die Energieaufnahme des Versatzes nach dem Einfüllen dem Brandherd Wärmeenergie entzogen, wodurch die Ausbreitungsgeschwindigkeit verringert werden kann.



Es wurde untersucht, inwieweit Stoffgemische aus vor Ort verfügbaren Materialien (Asche, Sand, Gips) als Versatz geeignet sind. Laboruntersuchungen ergaben, dass die verfügbaren Aschen einen hohen Anteil an Arsen und anderen Schwermetallen enthielten, wodurch ihre Anwendung als Versatzmaterial unter umwelttechnischen Aspekten fraglich ist. Die Untersuchungen wurden auch unter dem Gesichtspunkt des Einsatzes als Dickstoffversatz im Bergbau durchgeführt, sodass weitere Informationen dort zu finden sind (siehe WP7500).

Ebenso wurden die Untersuchungen zur Standsicherheit gängiger Ausbausysteme im Kohlebergbau unter dem Aspekt der Vermeidung von Hangendabrissen, Kluffbildung und daraus folgend der Schaffung von Luftwegsamkeiten durchgeführt (siehe WP7100). Die Modellierung der Einflüsse der Flözbrände auf das umliegende Gebirge (siehe WP3300) liefern ebenfalls Erkenntnisse zu Sauerstoffzufuhr und zu den Auswirkungen auf den untertägigen Brandprozess und die Brandausdehnung.

## **2.4 WP 6000 Satellite Monitoring and Information Technology**

### WP 6000 Satellite Monitoring and Information Technology

#### **Ziele**

- DLR
  - Untersuchungen zur Energiebilanz an der Tagesoberfläche einzelner Brandzonen.
  - Abschätzung kohlebrandbezogener Emissionen und Kohleverlusten auf einer kontinentalen Skala.
  - Nutzung optischer Fernerkundungsdaten zur Erfassung und Überwachung der Situation vor Ort und Unterstützung aktueller und zukünftiger Löschartigkeiten.
  - Aufbau eines Datenarchivs, das die Nutzung der Daten durch die Partner im Projekt unterstützt.
  - Entwicklung einer edv-gestützten Umgebung, die eine Nutzung der Methoden und Verfahren zur Emissions-Abschätzung von Kohlebränden vor dem Hintergrund der Clean Development Mechanismen unterstützt.
- TU BAF
  - Nutzung der durch Satelliten-Monitoring erhobenen Daten zur Erstellung von Prognosekarten für Kohlebrände und Übertragung der Ergebnisse auf eine kontinentale Skala.

#### **Zusammenfassende Darstellung der Tätigkeiten der am WP beteiligten Projektpartner**

##### WP 6100

Zur Erfassung der durch Kohlebrände hervorgerufenen Temperaturerhöhungen an der Tagesoberfläche wurde untersucht, welche Sensitivität ein satellitengestützter Sensor benötigt, um die, im Unterschied zu Vegetationsbränden oftmals im Untergrund ablaufenden Brände, erfassen zu können. Es wurden umfangreiche Untersuchungen für die Sensorsysteme LANDSAT ETM+ und ASTER durchgeführt. Insbesondere konnten erstmalig Zeitreihenanalysen durchgeführt werden. Basierend auf diesen Berechnungen, den Ergebnissen der Feldarbeiten (vgl. auch WP 3000) und den aktuellen Untersuchungen vor Ort wurden zwei Untersuchungsgebiete (Shuixi Gou, Wuda) regelmäßig in einem zwei-monatlichen Abstand in 2007 mit Nachtaufnahmen des Sensors ASTER aufgenommen, so dass für Shuixi Gou insgesamt sieben und für Wuda insgesamt 12 Nachtaufnahmen zur Verfügung standen.

Die notwendige Vor-Prozessierung erfolgte durch die am DLR entwickelten Routinen und die abgeleiteten Temperaturinformationen wurden statistisch ausgewertet. Die 2008 in Wuda aufgenommenen Referenzdaten (vgl. ebenfalls WP 3000) wurden genutzt, um, so weit möglich, eine Plausibilitätskontrolle der Auswertungen vorzunehmen.

Insgesamt wurde deutlich, dass eine Erfassung von Temperaturanomalien aufgrund der geometrischen Auflösung der Satellitenbilddaten nur eingeschränkt möglich ist. Während hinreichend große Temperaturanomalien durch die Satellitendaten erfasst werden können, sind eine kleinräumige Differenzierung und die Erfassung von möglicherweise auch kurzzeitigen Veränderungen über die Zeit nur sehr eingeschränkt möglich.

Um eine Plausibilität der erfassten Temperaturanomalien durchführen zu können, wurde untersucht, wie der Tagesgang der solaren Einstrahlung und das zeitliche Verhalten der nächtlichen Ausstrahlung beschrieben werden kann. Basierend auf den durchgeführten Temperaturmessungen in Wuda wurde ein erstes Modell zur Beschreibung der Energiebilanz der Tagesoberfläche erstellt.

Dieses ermöglicht eine erste Abschätzung der Energie, die während der Nacht ausgestrahlt wird. Die bisherigen Untersuchungen besitzen prototypischen Status; wenn die relevanten Bilanzgrößen zukünftig mess-technisch erfasst werden, wird es möglich sein, die feuerbezogenen Energieflüsse besser beschreiben und erfassen zu können.

#### WP6200

Es wurden umfangreiche Recherchen zu verfügbaren Geodaten des nord-chinesischen Kohlegürtels durchgeführt und, so weit dies möglich war, auch kommerziell beschafft. Basierend auf diesen umfangreichen Daten und den entwickelten Verfahren zur Ableitung potentieller Kohleflächen wurden untersucht, ob weitere Kohlebrandgebiete ausgewertet werden können. Aufgrund der Möglichkeit zu einer weitgehend automatisierten Erfassung von Temperaturanomalien, wurde auch weitere potentielle Brandregionen untersucht.

Aufgrund des vergleichsweise nur sehr eingeschränkten Umfangs an vorhandenen Referenzdaten und vor dem Hintergrund der Bestrebungen, im Rahmen der CDM-Aktivitäten, eine Quantifizierung der kohlefeuerbezogenen Strahlungsenergie durchführen zu können, wurde auf eine weitergehende Analyse des gesamten Kohlegürtels verzichtet. Die auf den Untersuchungsgebieten durchgeführten Messungen und Bildauswertungen, sowie die durchgeführten methodischen Entwicklungen zur Ableitung von Risikogebieten bilden die Grundlage für eine zukünftige Untersuchung auf einer kontinentalen Skala. Ohne diese Vorarbeiten erscheint zukünftig eine belastbare Ableitung von Informationen für einen solchen Untersuchungsraum nicht möglich.

#### WP 6300

Bereits während der Phase A wurden für die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete geometrisch hochauflösende Satellitenbilddaten der Sensorsysteme IKONOS und QuickBird bestellt. Für Wuda, Shuixi Gou und Queergou wurden während der Phase B weitere Szenen zur Dokumentation der Situation vor Ort bestellt und ausgewertet. Insbesondere konnten der Verlauf des Abbaus und die damit verbundenen weitestgehenden Veränderungen der topographischen Situation in Wuda über die Projektlaufzeit dokumentiert werden. Insgesamt hat sich gezeigt, dass eine Beschaffung hochauflösender Bilddaten für die Evaluierung der Situation vor Ort äußerst hilfreich ist.

Aufgrund der besonderen topographischen Situation in Queergou (das Relief ist ein steiles Kerbtal) wurden darüber hinaus hochauflösende TerraSAR-X-Daten beschafft und ein aktuelles Höhenmodell für die Situation abgeleitet.

Die Untersuchungen zeigen das große Potential, das SAR-Daten für die Generierung von topographischen Informationen in Gebieten besitzen, für die keine weiteren topographischen Informationen zur Verfügung stehen. Insbesondere die chinesischen Partner sind an einer regelmäßigen Nutzung solcher Daten, in Kombination mit optisch hochauflösenden Daten, im Rahmen eines nachsorgenden Monitorings interessiert.

Im Rahmen der ESO-MOST-Initiative wurde es ebenfalls möglich, Daten optischer chinesische Satellitensensoren für das Untersuchungsgebiet in Wuda zu bekommen. Es wurden Szenen der Sensoren CBERS und HJ-1B untersucht. Aufgrund der Datenbeschaffungspolitik war es leider nicht möglich, aktuelle Nachtaufnahmen für die Untersuchungsgebiete zu beschaffen. Eine Adaption aller relevanten Routinen, die am DLR zur Vorprozessierung optischer Bilddaten zur Verfügung stehen, war aufgrund fehlender Angaben zur radiometrischen Auslegung der Sensoren nicht möglich.

Insgesamt zeigen aber insbesondere die HJ-1B-Daten ein großes Potential, zukünftig, gemeinsam mit weiteren Sensoren, für eine Überwachung von Kohlebrandregionen genutzt werden zu können.

#### WP 6400

Im Rahmen der Arbeiten der Phase A wurde bereits ein Grundkonzept für ein Datenarchiv entwickelt und als Applikation implementiert. Dieses Archiv wurde im Rahmen der Phase B gepflegt und insbesondere die chinesischen Partner bei der Nutzung unterstützt. Das erstellte Archiv umfasst derzeit sämtliche Berichte der Phase A und ausgewählte Daten der Phase B. Eine Fortführung des Archivs über die Laufzeit des Projektes wird aufgrund fehlender Ressourcen derzeit kritisch angesehen, die vorhandenen Daten stehen allerdings für interessierte Dritte, sofern dies aus datenschutzrechtlichen Gründen möglich ist, zur Verfügung.

#### WP 6500

Es wurden die im Rahmen des WP 3660 entwickelten Methoden und Verfahren zur baselin-Abschätzung edv-technisch umgesetzt und mit einer Schnittstelle als lauffähige Programme auf der Webseite des Projektes implementiert, so dass es interessierten Dritten möglich ist, erste Emissionsabschätzungen auf Basis ausgewählter, die jeweilige Brandzone beschreibenden Parameter, berechnen zu lassen.

Seitens des DLR wurde eine web-basierte Schnittstelle zur Datenübergabe an den Standardcode Rockflow entwickelt, die der Philosophie des GRISU-Ansatzes von LIAG folgt. Diese Schnittstelle erlaubt eine Eingabe der vollständigen, erforderlichen Modellparameter, der Rechengittergenerierung und des Starts von Rechenläufen auf einem bereitzustellenden Server sowie eine erste Auswertung der Ergebnisse beispielsweise über das Internet. Damit würde es zukünftig Dritten ermöglicht, einfache Berechnungen unter Nutzung der bereitgestellten Entwicklungen durchführen zu können.

Die Arbeiten der TU BAF zum satellitengestütztem Monitoring und zur Auswertung und Bereitstellung der dadurch erhobenen Daten beziehen sich auf den Bereich „kontinentale Skala“ und sind bei WP3660 eingeflossen.

Im Rahmen eines von der DFG geförderten Austausches war der Projektkoordinator der chinesischen Partner, Prof. Wu Jianjun (BNU), drei Monate als Gastwissenschaftler am DLR (Okt. 2009 –Jan. 2010). Im Rahmen dieses Gastaufenthaltes wurden gemeinsam Arbeiten zur Auswertung insbesondere der chinesischen Satellitenbilddaten und zur Konferenz durchgeführt.

## 2.5 WP 7000 Coal Mining without Fires

### WP 7000 Coal Mining without Fires

#### **Ziele**

- TU BAF
- Untersuchungen von Grubenzuschnitten auf die Brandgefahr und Selbstentzündung der aufgeschlossenen Kohleflöze.
- Erarbeitung von technischen Möglichkeiten zur Vermeidung von Bränden in abgeworfenen Grubenbereichen.
- Entwicklung von Möglichkeiten zum Verfüllen von Bodenspalten um die unkontrollierte Luftzufuhr zum Grubengebäude zu verhindern.
- Untersuchungen bezüglich geeigneter Ausbausysteme um Rissbildung im umliegenden Gebirge und Ablösungen von Restkohle zu vermeiden.
- Erarbeitung eines Leitfadens zur Minimierung der Brandgefahr im Kohlebergbau.

#### **Zusammenfassende Darstellung der Tätigkeiten**

##### WP 7500

Zur Verfüllung von Spalten, Hohlräumen und Bohrungen wurden im Berichtszeitraum verschiedene Rezepturen von Dickstoffversatz entwickelt und erprobt. Für „paste backfill“ und zum Abdecken der Tagesoberfläche bzw. dem Schließen von Spalten wurde eine besonders geeignet erscheinende Mischung aus Steinkohlefilterasche (deutscher und chinesischer Herkunft) und Zementfilterstaub erprobt und analysiert. Nach derzeitigem Forschungsstand besitzt das Material eine hohe Festigkeit, Hitzebeständigkeit und geringe Permeabilität. Die Temperaturbeständigkeit des Materials konnte mit Hilfe des Einsatzes von NETZSCH STA 409 PC/PG „Thermal gravimetric“ (TA) sowie „Differential Scanning Calorimetry“ (DSC) optimiert werden. Ziel dabei ist sowohl die Reduzierung der Sauerstoffzufuhr zum Brandherd als auch eine Stabilisierung der Tagesoberfläche bzw. der untertägigen Hohlräume (Verhinderung weiterer Rissbildungen).

Die Hauptergebnisse zeigen, dass die Kohlequalität, die Feuerungsart und -temperatur bei der Steinkohleverbrennung, die Effektivität der Flugascheabscheidung, der Anteil an hydratisierbarem Sulfat und Zement sowie die Korngrößenverteilung der eingesetzten Feststoffe die Eigenschaften eines Versatzstoffgemisches beeinflussen. Ein erster Feldversuch mit dem optimierten Dickstoffversatz wurde im Mai 2008 erfolgreich durchgeführt. Diese Untersuchungen wurden 2009 im Rahmen der Dissertation „Systematic Selection and Application of Backfill in Underground Mines“ von Herrn Dr.-Ing. Manoon Masniyom an der TU BAF öffentlich verteidigt. Bei Feldarbeiten in Queergou Mai 2008, Oktober 2008, Mai 2009 sowie August 2009 wurden mehrere Arbeiten zu den Themen Injektionsverfahren und Dickstoffversatz durchgeführt. Die Ergebnisse von Studien und durchgeführten Arbeiten wurden den chinesischen Partner aus Urumqi vorgelegt. Ebenso die Untersuchungen bezüglich der chemischen, thermischen und geomechanischen Eigenschaften des Versatzes. Diese konnten mit den Projektpartner in Queergou am 4. August 2009 erörtert werden.

Parallel zu den thermischen und geomechanischen Eigenschaften wurde die Umweltverträglichkeit der Steinkohlenaschen untersucht. Hierbei konnten vor allem im Material aus Manasi eine erhöhte Konzentration an Schwermetallen nachgewiesen werden. Bei den untersuchten Aschen wurden die Grenzwerte sowohl nach deutschem als auch nach chinesischem Recht überschritten. Damit ist ein Einsatz als Versatzmaterial als kritisch zu betrachten.

#### WP 7100

Untersuchungen bezüglich geeigneter Ausbaurverfahren nach DIN 21530 wurden in der Versuchshalle der TU BAF durchgeführt. Zur Vermeidung von Rissbildungen und von Ablösungen von Restkohle im Hangenden der Grubenbaue, die Brände verursachen können, wurden Untersuchungen bezüglich geeigneter Ausbaurverfahren durchgeführt (Ausbau Typ GI 100, Typ TH 34, Typ TH 34 und Typ TH 21). Die Prüfung wurde an Stützschuhen von SZ Schacht- und Streckenausbau GmbH an Holz-, Metallstempeln und an TH 34, 21, genockte GI 100 Ausbauprofile durchgeführt. Als Metallstempel wurden zur Prüfung TH 34 Ausbauprofile empfohlen und im Versuch verwendet. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Schuhe die minimale Belastung des Kraftsystems auf den Stempel ( $F_1 = 400 \text{ kN}$ ) und auf das Ausbauprofil ( $F_2 = 50 \text{ kN}$ ) abtragen müssen. Im Ergebnis wurde der zulässige Neigungswinkel der Stempel ermittelt, bei dem die Standsicherheit des Ausbaus noch gewährleistet ist. Damit wird ein leicht messbares Entscheidungskriterium bereitgestellt, mit dem der Ausbau in Kohlebergwerken begutachtet und ggf. rechtzeitig die Erneuerung eingeleitet werden kann. So können übermäßige Rissbildungen und damit einhergehender unkontrollierter Sauerstoffzutritt durch Steckenverbrüche (Zusammenbrechen der Stecken) vermieden werden. Der Schwerpunkt der letzten Arbeiten liegt auf der Weiterentwicklung und Anpassung von Abbaurverfahren und -technologien für einen Kohlebergbau ohne Brände in China.

#### WP 7000

Für das Handbuch „Bergbau ohne Brände“ wurden die Grundlagen durch die Befahrungen chinesischer und deutscher Bergwerke seitens der TU BAF geschaffen. Dabei wurden unter Beteiligung der DSK Erfahrungen zum Brandschutz im untertägigen Steinkohlenbergbau in Deutschland bei Befahrungen und anschließenden Diskussionen gesammelt und ausgetauscht. Mit Grubenzuschnitt, Aus- und Vorrückung, Gewinnung und Förderung bzw. Bewetterung sollen hier nur einige Schwerpunkte des Handbuches genannt werden. Es ist geplant, das Handbuch zweisprachig (englisch/ chinesisch) zu erstellen.

Die Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse wurde darüber hinaus durch Vorträge bei der „International Conference on Mine Planning and Equipment Selection“ 2008 in Beijing und an der China University of Mining and Technology (CUMT) in Beijing ermöglicht. Im Mai 2009 hat die TU BAF an einem Workshop an der China University of Mining and Technology (CUMT) Beijing zum Thema Rekultivierung teilgenommen. Bei der „Second International Conference on Coal Fire Research“ (ICCFR2) im Mai 2010 in Berlin wurden die aktuellen Ergebnisse vorgestellt.

Eine Verwendung der Ergebnisse aus der Berichtsphase kann derzeit für den optimierten Einsatz von Versatzmaterialien und zur genaueren Modellierung genutzt werden. Konkrete Planung und die Prüfung der vor Ort benötigten Ressourcen für die Löscharbeiten wurden im Mai 2009 durchgeführt und in der Sommerkampagne in Abstimmung mit den chinesischen Partnern zur Anwendung gebracht. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten bestehen in einer Verwertung des entwickelten Simulations-know-hows, der Brandpräventions- und Löschmaterialien.

## **2.6 Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes**

Die durchgeführten Arbeiten, sowie die erreichten Ergebnisse sind im Rahmen von Publikationen und Konferenzbeiträgen der wissenschaftlichen Öffentlichkeit vorgestellt worden. Besondere Bedeutung haben das durchgeführte internationale Symposium in Urumqi in 2008 und die 2. Internationale Konferenz im Mai 2010. Darüber hinaus existiert seit 2008 eine internationale Vernetzungsplattform (<http://www.coalfire.org>), über die Informationen zum Projekt und auch zur Abschlusskonferenz der internationalen Öffentlichkeit vorgestellt werden.

Der aktuelle Stand der Entwicklung der CDM-Methodologie ist auf der Seite des UNFCCC unter (<http://cdm.unfccc.int/EB/047/eb47rep.pdf>, bzw. unter <http://cdm.unfccc.int/methodologies/~PAmethodologies/pnm/byref/NM0267>) frei verfügbar.

Derzeit existieren seitens LIAG, DLR und HD erste Aktivitäten, um zu prüfen, unter welchen Bedingungen eine weitere Überarbeitung der Methoden und Dokumente im Rahmen internationaler Kooperationen erfolgen kann.

Durch den Industriebegleitkreis konnten die wesentlichsten Aspekte und existierenden Probleme für eine Anerkennung der entwickelten Methoden und Verfahren im Rahmen der CDM-Mechanismen des Kyoto-Protokolls relevanten Interessenten aus dem Bereich der Zertifizierung, (TÜV Rheinland), Finanzierung (kfw-Bank) und möglichen Nutzung (RWE) vorgestellt werden. Eine aktuelle Nutzung der Ergebnisse ist derzeit allerdings sehr von den förderpolitischen Randbedingungen sowie von dem Fortgang und einer Ratifizierung eines zukünftigen internationalen Klimaschutzabkommens abhängig.

## **2.7 Bekannt gewordene Fortschritte Dritter**

Einzig bekannte internationale Initiative, in deren Rahmen ebenfalls als wissenschaftliches Thema eine Kohlebrandbekämpfung in China erfolgen soll, ist die Asian-Pacific-Partnership-Initiative (<http://www.asiapacificpartnership.org/english/default.aspx>). Nach Auskunft der Experten vom FFB in Xinjiang sind im Rahmen der Initiative allerdings bisher keine Aktivitäten vor Ort in China erfolgt.

Aufgrund der web-basierten Kommunikation über die internationale Vernetzungsplattform und insbesondere im Rahmen der Vorbereitung und Durchführung der internationalen Konferenz hat sich gezeigt, dass derzeit keine vergleichbaren internationalen Forschungsaktivitäten existieren. Dieser Eindruck hat sich im Rahmen der Abschlusskonferenz bestätigt. Aufgrund der bisherigen durchgeführten Forschungsaktivitäten und der bereits durchgeführten internationalen Konferenzen in 2005 und 2010 konnte durch diese Aktivitäten eine hohe internationale Sichtbarkeit der deutsch-chinesischen Forschungen erreichen werden.

Der Projektpartner der Phase A, die Fa. DMT GmbH, führt derzeit kommerziell erste Löscharbeiten auf Kohlebrandzonen in Indien durch, nachdem erste Machbarkeitsstudien in 2008 und 2009 erstellt worden sind. Diese Aktivitäten zeichnen die Exzellenz der DMT auf dem Gebiet der Kohlebrandbekämpfung aus. Eine Einbettung dieser Arbeiten in die CDM-Mechanismen des Kyoto-Protokolls erfolgt unseres Wissens derzeit nicht. Es ist allerdings zu erwarten, dass Indien aufgrund der dort herrschenden Kohlebrandproblematik seine wissenschaftlichen und technischen Aktivitäten in diesem Bereich intensivieren wird.

## **2.8 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen**

Die angegebenen Veröffentlichungen sind Schriftpublikationen (Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift, Buchbeitrag oder mehrseitiger Beitrag in einem Tagungsband) und in Konferenzbeiträge (Vortrag oder Poster ohne mehrseitigen Abstract) unterteilt.

- **BAM**

### Schriftpublikationen:

#### 2010

Krietsch, Arne; Suhendra; Schmidt, Martin; Helmig, Mario: Laboratory Investigations on the Ignition and Burning Process of Coal: Fire Characteristics and Gas Emissions. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 147-152. ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Schmidt, Martin; Suhendra; Rueter, Horst: Heat Pipes - Suitable for Extinguishing Coal Fires? In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 433-437, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

#### 2009

Krause, Ulrich; Schmidt, Martin; Ferrero, Fabio: Investigation of the development of conflagration of solid material via analysis of coupled heat, mass and momentum transport. In: Chemical engineering & technology (32) 2009, pp. 292-305.

### Konferenzbeiträge

#### 2009

Suhendra; Schmidt, Martin: Integrated Research on Underground Coal Fire in North China: Lessons from Research on Mitigating Global Warming Challenge. In: 2009 International symposium: Vision of Indonesian Intellectual Overseas: Indonesian Development Strategy towards 2020, 3.-5. July 2009.

Suhendra; Schmidt, Martin; Rueter, Horst: Coal Fire Fighting: Removal of Thermal Energy by Heat Pipes. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-12440, EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2009 (Poster).

Suhendra; Schmidt, Martin: Underground Coal Fire Extinction Model using Coupled Heat and Mass Transfer Model in Porous Media. In: COMSOL Multiphysic Konferenz, 13.-16. October 2009, Mailand, Italy, 2009 (Poster).

#### 2008

Suhendra; Schmidt, Martin; Krause, Ulrich: Extinguishing Underground Coal Seam Fires: Experimental and Numerical Investigations of Coal Fire Propagation. In: 2008 International Symposium on Safety Science and Technology ISSST, Beijing, 24.-27.09.2008, Conference Proceedings, 2008.

### In Vorbereitung

Suhendra, Schmidt, Martin; Krause, Ulrich: Underground Coal Fire Extinction Model: Laboratory Experiment and Numerical Simulation using Coupled Models of Reactive Heat and Mass Transfers. In: Journal of Loss Prevention in the Process Industries.

- **BGR**

#### Schriftpublikationen:

##### 2010

Gundelach, Volker: Contributions to the exploration of coal seam fires in China with ground penetrating radar. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 93-98. ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Kus, Jolanta; Kaufhold, Stephan; Klosa, Detlev; Jianwei, Ma Schmidt, Martin; Suhendra: Coal fire geothermometer: controlling the extent and temperature field of underground coal fire zones. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 75-85. ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Meyer, Uwe; Rüter, Horst; Chen-Brauchler, Dai; Schlömer, Stephan; Kus, Jolanta; Wuttke, Manfred W.; Fischer, Christian: Alternative methods for baseline estimations – Political and scientific aspects. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 371-376. ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Vasterling, Margarete: Correlation of surface temperature and remote TIR measurements using an UAV. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 221-230. ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

##### 2009

Misz-Kennan, Magdalena; Kus, Jolanta; Flores, Deolinda; Avila, Claudio, Christanis, Kimon; Hower, James; Kalaitzidis, Stavros; O'Keefe, Jennifer; Marques, Maria; Pusz, Slawomira; Ribeiro, Joana; Suárez-Ruiz, Isabel; Sýkorová, Ivana; Wagner, Nikki; Životić, Dragana: Report of the 2009 Round Robin Exercise of the Self-heating of Coal and Coal Wastes Working Group, 2009, ICCP News, No. 48: pp. 58 - 60, November 2009.

##### 2007

Gundelach, Volker: Erste Georadarmessungen im Projekt zur Kohlefeuertbekämpfung in China in der Provinz Xinjiang, 2007, Rundtischgespräch, Freiberg. In: DGG Sonderband 2008, Extended Abstract.

#### In Vorbereitung:

Kus, Jolanta; Gundelach, Volker; Vasterling, Margarete; Jianwei, Ma; Lambrecht, Anja; Meyer, Uwe: Detection of near subsurface coal fires with the aid of coal petrographic and selected electromagnetic methods. In: Journal of Coal Geology.

Vasterling, Margarte; Schloemer, Stefan; Fischer, Christian, Ehrler, Christoph & Meyer, Uwe: Determination of surface temperature by UAV-borne thermal imaging. In: Geology of Coal Fires: Case Studies from Around the World

#### Konferenzbeiträge

##### 2010

Gundelach, Volker: Ground Penetrating Radar: a method for exploration and monitoring of coal fires in China. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-4134, 2010, EGU General Assembly 2010, Vienna, Austria (Poster).



Misz-Kennan, Magdalena; Flores Deolinda; Kus, Jolanta: Round Robin Exercise – Self heating of coal and coal wastes. In: *Advances in Organic Petrology and Organic Geochemistry*, 62nd ICCP Meeting, 29 September - 02 May 2010, Belgrade, Serbia.

Meyer, Uwe; Noell, Ursula and the CFRI research group: Results of the Sino-German Research Initiative on Coal Fire Research - Lessons Learned & Manuals Written. In: *GeoDarmstadt 2010 - Geowissenschaften sichern Zukunft*. 162. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften & 99. Jahrestagung der Geologischen Vereinigung & 8th European Coal Conference, 9. - 14. Oktober 2010, Frankfurt am Main & Darmstadt.

Meyer, Uwe; Rüter, Horst; Chen-Brauchler, Dai: Estimation of the Energy Release of Coal Seam Fires and its Relevance for CDM. In: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-9604, 2010, EGU General Assembly 2010, Vienna, Austria (Poster).

Kus, Jolanta; Meyer, Uwe, Ma, Jianwei; Chen-Brauchler Dai: Oxidation and carbonisation of coals: a case study of coal fire affected coals from the Wuda coalfield, Inner Mongolia, China. In: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-11851, 2010, EGU General Assembly 2010, Vienna, Austria (Poster).

Schlömer, Stefan; Fischer, Christian; Cai, Z.; Wuttke, Manfred W.; Ehrler, Christoph; Vasterling, Margarete: Ground based temperature measurements over subsurface coal fires: lesson learned and guidelines. In: *Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010*, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 105, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Vasterling, Margarete; Schlömer, Stefan; Ehrler, Christoph; Fischer, Christian: Thermal Imaging of Subsurface Coal Fires by means of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in the Autonomous Province Xinjiang, PRC. In: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-8664, 2010, EGU General Assembly 2010., Vienna, Austria.

Vasterling, Margarete; Schlömer, Stefan; Ehrler, Christoph; Fischer, Christian: Thermalaufnahmen mit einem unbemannten Flugsystem über Kohlebrandgebieten in der nordchinesischen Provinz Xinjiang. 70. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG), Bochum, Germany, 2010.

## 2009

Chen-Brauchler, Dai ; Meyer, Uwe; Schlömer, Stefan; Kus, Jolanta; Gundelach, Volker; Wuttke, Manfred Wolfgang; Christian; Rüter, Horst: Estimation of near subsurface coal fire gas emissions based on geophysical investigations, 2009 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA (Poster).

Gundelach, Volker: GPR: a method for exploration and monitoring of coal fires in China. In: *Novel methods for subsurface characterization and monitoring: From theory to practice (NovCare 2009)* 13-16 May 2009, Leipzig, Germany.

Kus, Jolanta; Jianwei, Ma, Chen-Brauchler, Dai: Natural cokes, chars, tar-like forms, pyrolytic carbon: a case study of thermally affected coals from the Wuda coalfield, Inner Mongolia, China. In: *Joint 61st ICCP and 26th TSOP Meeting on Advances in Organic Petrology and Organic Geochemistry*, September 19-26, 2009 - Gramado/Porto Alegre, Brazil (Poster).

Meyer, Uwe; Chen-Brauchler, Dai; Rüter, Horst.; Fischer, Christian; Bing, Kong : Political and technical issues of coal fire extinction in the Kyoto framework. In: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU2009-9911, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria.

Meyer, Uwe; Chen-Brauchler, Dai; Schlömer, Stefan; Lambrecht, Anja; Kus, Jolanta; Wuttke, Manfred Wolfgang; Rüter, Horst; Fischer, Christian; Bing, Kong: Geophysics and clean development mechanisms (CDM) – Applications to coal fires. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-9847-1, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria (Poster).

Meyer, Uwe; Gundelach, Volker; Vasterling, Margarete; Lambrecht, Anja; Rüter, Horst; Lindner, Harald: Geophysical methods for coal fire detection and monitoring. 2009 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA.

Misz-Kennan, Magdalena; Flores Deolinda; Kus, Jolanta: 2009 Round Robin Exercise – Self heating of coal and coal wastes. In: Advances in Organic Petrology and Organic Geochemistry, Joint 61st ICCP and 26th TSOP Meeting, 19-26 September 2009, Gramado, Brazil.

Schlömer, Stefan; Fischer, Christian; Teschner, Manfred; Hirner, Andreas: Gas and temperature measurements on Xingjian coal field fires. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-13837, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria.

Schlömer, Stefan; Teschner, Manfred: Combustion gases of natural coal fires: composition and interpretation. In: 18th Annual V. M. Goldschmidt Conference: From Sea to Sky, 13-18 July 2008, Vancouver, Canada.

#### 2008

Gundelach, Volker: GPR as a method for exploration and monitoring of coal fires in China. In: 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, 16-19 June 2008, Birmingham, UK.

Rüter, Horst; Meyer, Uwe: Spontaneous coal fires, CDM aspects. In: Sino-German Symposium: Challenges of Climate Change and the Role of Coal Field Fire Fighting in China. 02-04 June 2008, Urumqi, P.R. China.

Schlömer, Stefan; Teschner, Manfred: Combustion gases of coal fires –Composition and interpretation. In: Abstracts of the 18th Annual Goldschmidt Conference, Vancouver, Canada, July 13th-18<sup>th</sup> 2008. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72/12, Supplement 1, p. A833.

#### 2007

Gundelach Volker: Erste Georadarmessungen im Projekt zur Kohlefeuerbekämpfung in China in der Provinz Xinjiang, 2007, Vortrag auf dem Rundtischgespräch Georadar, Freiberg.

- **BUW**

#### Schriftpublikationen:

Wünderlich, Thomas., Korten Alexander., Barth, Uli: A Systematic Approach for Coal Field Fire Fighting. Latest developments in coal fire research. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 312-318, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

#### Konferenzbeiträge

Korten, Alexander: Occupational Safety in Coalfield Fire Fighting. Latest developments in coal fire research: In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 432, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Barth, Uli, Korten, Alexander., Wünderlich, Thomas.: A Sino-German Initiative: Kohlebrandbekämpfung in Nordchina, 2009, A+A Messe, Düsseldorf, Germany

Wünderlich, Thomas, Korten, Alexander, Barth, Uli: Coalfield fire fighting – Practiced methods, strategies, and tactics. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-10183, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria.

Wünderlich, Thomas: Projektierte Löschdauer: 2 Jahre – Kohleflözbrandbekämpfung in Nordchina, 2009, VFDB Jahrestagung 2009, 24. – 27. Mai 2009, Mannheim, Germany.

- **DLR**

Schriftpublikationen:

Fischer, Christian; Wu, Jianjun, Meyer, Uwe, Kong, Bing, Schmidt, Martin, Wuttke, Manfred, Drebenstedt, Carsten, Barth, Uli, Rüter, Horst: Eight Years of Successful Bilateral Cooperation: Milestones of Sino-German Research. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 3-18, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Fischer, Christian; Ehrler, Christoph, Bayer, A.: Modelling Surface Energy Release to Validate ASTER Night Time Imagery. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 205-213, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

In Vorbereitung:

Fischer, Christian; Jing, Li, Ehrler, Christoph, Wu, Jianjun: Radiative energy release quantification of subsurface coal fires. 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 10.-15. April 2011, Sydney (Vortrag und extended abstract).

Konferenzbeiträge

2009

Jing, Ling; Fischer, Christian: Detection, Analysis and Risk Assessment of Coal Fires in northern China. 2009 DRAGON 2 Symposium, Proceedings, 22-26 June 2009, Barcelona, Spain.

Fischer, Christian; Schloemer, Stefan, Hirner, Andreas, Teschner, Manfred: Experiences of Coal Fire Detection and Quantification for Resources Management. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 12-17 July 2009, Cape Town, South Africa.

Fischer, Christian, Bayer, Anita, Heldens, Wieke: Reference measurements for surface temperature and emissivity analysis. 29th Annual EARSeL Symposium, 15-18 June 2009, Chania, Greece (Poster).

2008

Fischer, Christian, Jing, Li: Detection, Analysis and Risk Assessment of Coal Fires in northern China. Dragon 2 Symposium, Proceedings, 21-25 April 2008, Beijing, P.R. China.

Fischer, Christian: Innovative Technologies for Exploration, Extinction and Monitoring of Coal Fires in North China – The Sino-German Research Initiative. Sino-German Workshop on Advanced Technologies of Remote Sensing and its Application in Understand Earth Processes, 25-28 May 2008, Beijing, P.R. China.

Fischer, Christian: Main results of gas measurements and satellite image analysis of the Shouixi gou coal field. In: Sino-German Symposium: Challenges of Climate Change and the Role of Coal Field Fire Fighting in China. 2-4 June 2008, Urumqi, P.R. China.

Cai, Yu; Hirner, Andreas, Fischer, Christian, Voigt, Stefan: Environmental Impacts and Land Use Changes caused by Coal Mining in China. International Conference: "Policy meets Land Management: Contributions to the Achievement of the MDGs", 17-18 April 2008, Munich (Poster).

- **LIAG**

#### Schriftpublikationen:

Wessling, Stefan, Kuenzer, Claudia, Kessels, Winfried and Wuttke, Manfred W.: Numerical modeling to analyze underground coal fire induced thermal surface anomalies. International Journal of Coal Geology, Vol. 74, Issues 3-4, May 2008, pp175-184.

Wessling, Stefan, Kessels, Winfried, Schmidt, Martin and Krause, Ulrich: Investigating dynamic underground coal fires by means of numerical simulation. Geophysical Journal Int., Vol. 172, 2008, pp. 439-454.

Wessling, Stefan, Krause, Ulrich, Kessels, Winfried, Wuttke, Manfred W.: Numerical modeling for analyzing thermal surface anomalies induced by underground coal fires. Coal Geology, Vol. 74, 2008, pp. 175-184.

Wuttke, Manfred W., Han, Jing; Guizhu, Liu: Applied Modeling of Underground Coal Fires: Aspects, Challenges and Results. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 253-259, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

#### Konferenzbeiträge

##### 2010

Wuttke, Manfred W., Fischer, Christian, Gusat, Dorel, Meyer, Uwe, Schmidt, Martin: Underground Coalfires as an Incentive and Challenge to THMC Modeling. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-11445, 2010, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

##### 2009

Wuttke, Manfred Wolfgang; Han, Jin; Liu, G.; Kessels, Winfried; Schmidt, Martin; Gusat, Dorel; Fischer, Christian; Hirner, Andreas; Meyer, Uwe: Aspects and Strategies of Numerical Modelling of Underground Coal Fires. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-9524, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria.

Wuttke, Manfred W., Kessels, Winfried, Han, Jing, Halisch, Matthias, Rüter, Horst, Lindner, Harald: Repeated Geophysical Surface Measurements to Estimate the Dynamics of Underground Coalfires. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-9980, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria (Poster).

##### 2008

Wuttke, Manfred W., Han, Jing, Kessels, Winfried: Onsite Modelling as a Tool for Coalfire Fighting. In: 68. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft 3.-6. März 2008, Freiberg, Germany (Poster).

Wuttke, Manfred W., Jing, Han, Halisch, Matthias, Kessels, Winfried: Application of numerical modeling to support underground coalfire fighting in the Wuda coal mining area. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-08034, 2008, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-08034, EGU General Assembly, 2008, Vienna, Austria.

## 2007

Wuttke, Manfred W., Wessling, Stefan, Kessels, Winfried: Defeat the Dragon: Coal Fires between Self Ignition and Fire Fighting. In: Proceedings of the 20th Anniversary Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems SAGEEP, 01.-05.04.2007, Denver, USA.

Wuttke, Manfred W., Kessels, Winfried, Wessling, Stefan, Han, Jing: Fires in Operating or Abandoned Coal Mines or Heaps of Reactive Materials and the Governing Transport and Reaction Processes. In: 2007 AGU Spring Meeting, Acapulco, 2007 (Poster).

- **TU BAF**

### Schriftpublikationen:

Drebenstedt, Carsten; Fischer, Christian; Meyer, Uwe; Jianjun, Wu; Bing, Kong: Proceedings of ICCFR2 Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 May 2010, dbb Forum Berlin, Germany, 439 S., Verlag TU Bergakademie Freiberg. ISBN: 978-3-86012-397-3 (Gefördert vom BMBF).

Drebenstedt, Carsten; Gusat, Dorel; Wang, Chunli: In. "Numerical Modelling of Surface Impact of Underground Coal Fires". In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 244-248, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Drebenstedt, Carsten, Knobloch, Andreas, Gusat, Olimpia, Fischer, Christian, Barth, Andreas (2010): Risk Assessment Modeling of Coal Fires in the P.R. China Using Artificial Neural Networks and GIS. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 260-269, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Drebenstedt, Carsten; Wagner, Sebastian: Aspects of Mining Without Fires. In: Second International Conference on Coal Fire Research 19-21 Mai 2010, dbb forum Berlin, Germany. Tagungsband: "Latest Developments in Coal Fire Research", S. 321-323, ISBN: 978-3-86012-397-3, 2010.

Gusat, Dorel (2010): Promotion zum Thema "Modellierung thermo-mechanischer Prozesse von Kohlebränden untertage". Herausgeber Drebenstedt, Carsten. Verlag TU Bergakademie Freiberg. ISBN: 978-3-86012-405-5. Gefördert vom BMBF.

Masniyom, Manoon (2009): Promotion zum Thema "Systematic Selection and Application of Backfill in Underground Mines". TU Bergakademie Freiberg.

### Konferenzbeiträge

## 2010

Gusat, Dorel; Drebenstedt, Carsten: „Geomechanische Modellierungen der Bodenbewegungen - angewendet auf Kohlebrände in China“. 11. Geokinematischer Tag. 6.-7. Mai 2010, Freiberg, Germany. Tagungsband, S. 363-372. ISBN: 978-3-86797-099-0.

Gusat, Dorel; Drebenstedt, Carsten: „Thermo-Mechanical Modelling of Surface movements induced by underground coal fires“. 12th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. SWEMP 2010. Prague, Tschechische Republik. Tagungsband: „SWEMP 2010“, S. 158-162. ISBN 978-80-213-2076-5.

Gusat, Dorel; Drebenstedt, Carsten: „Workflow between Rhinoceros3D-Kubrix-FLAC3D modeling applied on coal mining area in North China“. Freiburger Forschungsforum 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag. 9.-11. Juni 2010. Tagungsband „International University of Resources“ Vol 3, S. 231-238. Verlag TU Bergakademie Freiberg. ISSN: 2190-555X.

Klauke, Andreas; Drebenstedt, Carsten; Gusat, Dorel: „Comparison between Continuum and Discontinuum modelling of coal fires“. Freiburger Forschungsforum 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag. 9.-11. Juni 2010. Tagungsband „International University of Resources“ Vol 3, S. 239-251. Verlag TU Bergakademie Freiberg. ISSN: 2190-555X.

Knobloch, Andreas; Gusat, Olimpia: „Development of a coal fire prognosis map for China using artificial neural network and GIS“. Freiburger Forschungsforum 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag. 9.-11. Juni 2010. Tagungsband „International University of Resources“ Vol 3, S. 17-31. Verlag TU Bergakademie Freiberg. ISSN: 2190-555X.

Wagner, Sebastian; Drebenstedt, Carsten: „Coal fire prevention in near to surface coal seams“. Freiburger Forschungsforum 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag. 9.-11. Juni 2010. Tagungsband „International University of Resources“ Vol 3, S. 168-173. Verlag TU Bergakademie Freiberg. ISSN: 2190-555X.

## 2009

Drebenstedt, Carsten; Gusat, Dorel; Deng, Jun: „Numerical Thermo-Mechanical Modelling by FLAC on Coal Fires in North China“. 11th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. SWEMP 2009. 16-19 November 2009. Banff, Alberta, Canada. Tagungsband, S. 155-164. ISBN 978-0-97844-16-0-9.

Drebenstedt, Carsten Workshop „Rekultivierung“ 17.-19. Mai 2009. China University of Mining and Technology (CUMT).

Drebenstedt, Carsten; Gusat, Dorel: Workshop „Coal Fires Fighting Materials and Methods 2009“ 20.-23. Mai 2009. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, P.R. China.

Drebenstedt, Carsten: Weiterbildungskurs „Mine Site Reclamation and Mine Site Recultivation“. Herbst 2009. China University of Mining and Technology (CUMT), Beijing, P.R. China.

Gusat, Dorel; Drebenstedt, Carsten: Geomechanische Modellierungen – angewendet auf Kohlebrände in China. Challenges and Solutions in Mineral Industry. Freiburger Forschungsforum 60. Berg- und Hüttenmännischer Tag. 18.-19. Juni 2009. Tagungsband, S. 139-146. Verlag TU Bergakademie Freiberg. ISBN 978-3-86012-374-4.

Gusat, Dorel; Drebenstedt, Carsten: Numerical Modelling by FLAC on Coal Fires in North China. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-14045, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria.

Masniyom, M; Drebenstedt, Carsten: Application of Paste Backfill in Underground Coal Fires. Bei EGU 2009: Industrial Coal Fires. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-14046, 2009, EGU General Assembly 2009, Vienna, Austria (Poster).

## 2008

Drebenstedt, Carsten: Analytical and Numerical Computation in to the Underground Mining and Paste Backfill on Example of North of China. Colloquia Auslandsbergbau 2008. 18th – 19th November 2008, Aachen. Germany.

Drebenstedt, Carsten: The Sino-German Coal Fire Research Project. Innovative Technologies for Exploration, Extinction and Monitoring of Coal Fires in North China. In: 17th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection 2008 (MPES2008) and China International Mine Planning and Equipment Selection Exhibition, 20-22 October 2008, Beijing International Convention Center, Beijing, China.

Buhrow, Christian; Gusat, Dorel; Masniyom, Manoon: Abschlussbauwerke für den Dickstoffversatz in der flachen Lagerung – analytische Untersuchungen und numerische Modellierungen. K+S Forschungstag, Werk Werra, Standort Wintershall in Heringen, 27. April 2008.

## 2007

Buhrow, Christian: Integrated HSEQ-management systems and their application in practice. Kolloquium “Mining and the Environment 2007”, Baia Mare, Rumänien. Tagungsband, S. 109-112. ISBN: 978-3-86012-325-6.

Gusat, Dorel: Numerical Modelling to enhance roof and rock stability in and around mines. Kolloquium “Mining and the Environment 2007”, Baia Mare, Rumänien. Tagungsband, S. 117-121. ISBN: 978-3-86012-325-6.

Buhrow, Christian; Lippmann, Günter; Gusat, Dorel: Coal fires in China. BAUMA 2007 – VDMA Forum 2007. München, Germany.

Gusat, Dorel: Geomechanische Modellierungen - angewendet auf Kohlebrände in China. VDMA-Sitzung des Lenkungskreis Südostasien 2007, Hattingen, Germany.



## Verbundprojekt

**Innovative Technologien für die  
Erkundung, Löschung und Beobachtung von Kohlebränden  
- Phase B -**

## Berichtsblätter

Gefördert durch





## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN <b>978-3-86012-397-3</b>	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Tagungsband der ICCFR2</b>
3. Titel <b>Latest Developments in Coal Fire Research – Bridging the Science, Economics, and Politics of a Global Disaster</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  <b>ca. 100 Einzelautoren</b>  <b>Herausgeber:</b> <b>Drebenstedt, Carsten</b> <b>Fischer, Christian</b> <b>Meyer, Uwe</b> <b>Jianjun, Wu</b> <b>Bing, Kong</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>August 2010</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>Mai 2010</b>
	7. Form der Publikation <b>Buch</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>TU Bergakademie Freiberg</b> <b>Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau</b> <b>Institut für Bergbau und Spezialtiefbau</b> <b>Gustav-Zeuner Str. 1A</b> <b>09599 Freiberg</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>0330490J</b>
	11. Seitenzahl <b>439</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b> <b>53170 Bonn</b>	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  Die „Second International Conference on Coal Fire Research“ (ICCFR2), die im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes am 19.-21. Mai 2010 in Berlin veranstaltet wurde, diente der Veröffentlichung der in dem Projekt erlangten Ergebnisse sowie dem Erfahrungsaustausch mit projektexternen Wissenschaftlern.  Insgesamt wurden aus den Bewerbungen zu Konferenzbeiträgen 63 Vorträge und 32 Poster ausgewählt. Der Tagungsband, der die ausführlichen Papers aller Vorträge und die Abstracts der Poster enthält, wurde, gemeinsam mit der DLR, durch das Konferenz-Sekretariat an der TU BAF erstellt. Dieser wurde während Konferenz an die Teilnehmer ausgegeben. Er ist an der TU BAF verlegt worden und mittel ISBN-Nummer registriert. Über die TU BAF kann der Tagungsband weiterhin bezogen werden.  Entsprechend der Organisation der Konferenz teilt sich der Tagungsband in 8 Kapitel: Overview, Geosciences, Material Research, Remote Sensing, Modeling, Fire Fighting, Mining, CDM & Funding. Auf über 400 Seiten konnte so der gegenwärtige Stand des Wissens bezüglich aller relevanten Aspekte zu Kohleflözbränden zusammengetragen werden.	

19. Schlagwörter Internationale Konferenz, Kohlebrände, Tagungsband	
20. Verlag TU Bergakademie Freiberg	21. Preis 90,00 €

### **Vollständige Autorenliste der Buchveröffentlichung**

Univ.-Prof. Dr.- Carsten Drebenstedt  
TU Bergakademie Freiberg (TU BAF)  
Gustav-Zeuner-Str. 1A  
D-09596 Freiberg

Dr.-Ing. Christian Fischer  
Deutsches Zentrum f. Luft und Raumfahrt e.V. (DLR)  
- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum -  
Postfach 1116  
D-82234 Wessling

Dr. Uwe Meyer  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
Stilleweg 2  
D-30655 Hannover

Prof. Dr. Wu Jianjun  
Institute of Disaster Management,  
Academy of Disaster Reduction and Emergency Management  
Beijing Normal University (BNU)  
No.19, Xijiekouwai Street,  
Beijing 100875, P.R. China

Kong, Bing  
Shenhua (Beijing) Remote Sensing & Geo-Engineering Company Ltd. (BRSC),  
Building 5, NO.1 Avenue 4 , Shangdi, Haidian, Beijing 100085, P.R. of China

### Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-041-0	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Veröffentlichung</b>
3. Titel <b>Manual of Coal Fire Research, Volume I                  Remote and Ground Based Methods for Reconnaissance and Monitoring of Near                  Surface Coal Fires</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  (Hrsg.): Meyer, Uwe; Fischer, Christian; Rüter, Horst, Wu, Jianjun	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. August 2010</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>Mai 2011</b>
	7. Form der Publikation <b>Buch</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>S. U.</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>0330490</b>
	11. Seitenzahl <b>ca. 400</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für                  Bildung und Forschung (BMBF)                  53170 Bonn</b>	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  Das vorliegende Handbuch ein Teilband der im Rahmen des geförderten Verbundprojektes „Innovative Technologien für die Erkundung, Löschung und Beobachtung von Kohlebränden - Phase B“ erstellten fünf Handbücher.  Das Handbuch zur Erfassung und Überwachung von tagesoberflächennahen Kohlebränden umfasst die Darstellung und den Einsatz von bodengestützten und fernerkundlichen Mess- und Aufnahmeverfahren, sowie die Auswertung der aufgenommenen Daten. Der Schwerpunkt liegt auf ausgewählten Verfahren zur Erfassung und Bestimmung des Kohlevolumens, der brandbezogenen Gasemissionen, sowie der Tagesoberflächentemperaturen. Für die unterschiedlichen Verfahren werden jeweils Hinweise für den praktischen Einsatz gegeben. Die Darstellungen dokumentieren die durchgeführten Forschungen und Entwicklungen- Sie sollen zukünftigen Nutzern eine fachliche Unterstützung für den Einsatz unterschiedlichster Verfahren zur Erfassung und zur Langzeitüberwachung von Kohlebränden an die Hand geben.  Das Handbuch ist in Englisch veröffentlicht.	
19. Schlagwörter <b>Manual, spontaneous coal fires, geophysical measurements, geochemical measurements, remote sensing, petrographic investigations, numeric modelling</b>	
20. Verlag <b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt                  e.V. (DLR), Oberpfaffenhofen 2011</b>	21. Preis --

## **Vollständige Autorenliste der Buchveröffentlichung**

Dr. Uwe Meyer  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
Stilleweg 2  
D-30655 Hannover

Dr.-Ing. Christian Fischer  
Deutsches Zentrum f. Luft und Raumfahrt e.V. (DLR)  
- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum -  
Postfach 1116  
D-82234 Wessling

Prof. Dr. Horst Rüter  
HabourDom GmbH (HD)  
Riehler Platz 1  
D- 50668 Köln

Prof. Dr. Wu Jianjun  
Institute of Disaster Management,  
Academy of Disaster Reduction and Emergency Management  
Beijing Normal University (BNU)  
No.19, Xijiekouwai Street,  
Beijing 100875, P.R. China

### Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-042-7	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Veröffentlichung</b>
3. Titel <b>Manual of Coal Fire Research, Volume II          Modeling of Near Surface Underground Coalfires</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  (Hrsg.): <b>Wuttke, Manfred, W.; Schmidt, M.;          Gusat, D.</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. August 2010</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>Mai 2011</b>
	7. Form der Publikation <b>Buch</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>S.U.</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>0330490</b>
	11. Seitenzahl <b>ca. 110</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für          Bildung und Forschung (BMBF)          53170 Bonn</b>	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  <p>Das vorliegende Handbuch ist ein Teilband der im Rahmen des geförderten Verbundprojektes „Innovative Technologien für die Erkundung, Löschung und Beobachtung von Kohlebränden - Phase B“ erstellten fünf Handbücher.</p> <p>Das Handbuch zur Modellierung von tagesoberflächennahen Kohlebränden umfasst die Darstellung der hierzu notwendigen Theorie, der im Projekt zur Anwendung gekommenen numerischen Verfahren, der Entwicklungen von Softwaretools zu deren praktischen Handhabung sowie beispielhafter Modellergebnisse.</p> <p>Die Darstellungen dokumentieren die durchgeführten Forschungen und Entwicklungen. Sie sollen zukünftigen Nutzern eine fachliche Unterstützung für den Einsatz unterschiedlichster Verfahren zur Modellierung von Kohlebränden zwecks Prognose des Brandverlaufs und der relevanten Emissionen sowie des Aufwands für Löschungen an die Hand geben.</p> <p>Das Handbuch ist in Englisch veröffentlicht.</p>	
19. Schlagwörter <b>Manual, spontaneous coal fires, modeling,</b>	
20. Verlag <b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt          e.V. (DLR), Oberpfaffenhofen 2011</b>	21. Preis --

## **Vollständige Autorenliste der Buchveröffentlichung**

Dr. Manfred. W. Wuttke  
Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG)  
Stilleweg 2  
D-30655 Hannover

Dr.-Ing. Martin Schmidt  
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87  
D-12205 Berlin

Dr.-Ing. Dorel Gusat  
TU Bergakademie Freiberg (TU BAF)  
Gustav-Zeuner-Str. 1A  
D-09596 Freiberg

### Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-043-4	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Veröffentlichung</b>
3. Titel <b>Manual of Coal Fire Research, Volume III Fire Fighting and Sustainable Accomplishment of Near Surface Coal Fires</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  (Hrsg.): <b>Barth, Uli; Schmidt, Martin, Cai Zhongyong</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. August 2010</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>Mai 2011</b>
	7. Form der Publikation <b>Buch</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>S.U.</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>0330490</b>
	11. Seitenzahl <b>ca.160</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  Das Handbuch ist ein Teilband der im Rahmen des geförderten Verbundprojektes „Innovative Technologien für die Erkundung, Löschung und Beobachtung von Kohlebränden - Phase B“ erstellten fünf Handbücher.  Es befasst sich mit dem Themenschwerpunkt der Brandbekämpfung. Es werden Ursachen und Entzündungsmechanismen beleuchtet. Ebenso internationale und nationale Löschverfahren aufgezeigt sowie Erfolgsgrad und Kosten benannt. Integraler Bestandteil des Handbuches ist eine ganzheitliche Systematik zur nachhaltigen Bewältigung von Kohlebränden. Es ermöglicht den Schweregrad von Bränden benennen zu können und ihre Dringlichkeit festzulegen. Zudem werden die zuvor genannten Löschverfahren mit strategischen und taktischen Zielsetzungen verknüpft sowie Maßnahmen eines flankierenden Arbeitsschutzes beschrieben. Hieraus ergeben sich für jeden Brand individuelle Vorgehensweisen. Die Darstellungen sollen zukünftigen Nutzern eine fachliche Unterstützung für den praktischen Einsatz sowie unterstützende Verfahren an die Hand geben.  Das Handbuch ist in Englisch veröffentlicht.	
19. Schlagwörter <b>Coal fires, occupational health, safety, strategy and tactic, accomplishment, risk management</b>	
20. Verlag <b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Oberpfaffenhofen 2011</b>	21. Preis <b>--</b>

## **Vollständige Autorenliste der Buchveröffentlichung**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uli Barth  
Universität Wuppertal (BUW)  
Gaußstr. 20  
D-42119 Wuppertal

Dr.-Ing. Martin Schmidt  
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87  
D-12205 Berlin

Cai Zhongyong  
Xinjiang Coalfield Fire Fighting Bureau  
No 61 East Road of Karamay, Urumqi 830000, Xinjiang, P. R. of China



### Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-044-1	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Veröffentlichung</b>
3. Titel <b>Manual of Coal Fire Research, Volume IV Technical, Technological and Organisational Aspects for Fire Prevention in Coal Mining</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  <b>(Hrsg.): Drebenstedt, Carsten; Eichler, Richard A.</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. August 2010</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>Mai 2011</b>
	7. Form der Publikation <b>Buch</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>TU Bergakademie Freiberg Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau Institut für Bergbau und Spezialtiefbau Gustav-Zeuner Str. 1A 09599 Freiberg</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>0330490</b>
	11. Seitenzahl <b>ca. 100</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  Das vorliegende Handbuch ein Teilband der im Rahmen des geförderten Verbundprojektes „Innovative Technologien für die Erkundung, Löschung und Beobachtung von Kohlebränden - Phase B“ erstellten fünf Handbücher.  Das Handbuch zur Vermeidung von Gruben- und Kohlenbränden im Steinkohlenbergbau fasst die Forschungsergebnisse der Untersuchungen der TU Bergakademie Freiberg und die im Rahmen des Projektes gesammelten Erfahrungen zusammen. In den Kapiteln werden die wesentlichen Grundlagen zur Brandvermeidung bezüglich des Bergwerkszuschnittes, der Abbautechnologie, der Betriebsführung und der organisatorischen Verantwortlichkeiten beschrieben. Schwerpunkte der Betrachtung sind u.a. die geeignete Anwendung von Streckenausbau, die Wetterführung und der Einsatz von Versatzmaterial. Die Forschungen tragen damit wesentlich zur Vermeidung von Grubenbränden und der Selbstentzündung von Kohle im Bergwerk bei, wodurch die Entstehung neuer Flözbrände durch Bergbauaktivitäten verhindert wird.  Das Handbuch zur Vermeidung von Gruben- und Kohlenbränden im Steinkohlenbergbau ist in Englisch und Chinesisch veröffentlicht.	
19. Schlagwörter <b>Handbuch Steinkohlen-Bergbau Kohlebrände Brandvermeidung</b>	
20. Verlag <b>TU Bergakademie Freiberg</b>	21. Preis <b>?? €</b>

## **Vollständige Autorenliste der Buchveröffentlichung**

Univ.-Prof. Dr.- Carsten Drebenstedt  
TU Bergakademie Freiberg (TU BAF)  
Gustav-Zeuner-Str. 1A  
D-09596 Freiberg

Dipl.-Ing. Richard Eichler  
TU Bergakademie Freiberg (TU BAF)  
Gustav-Zeuner-Str. 1A  
D-09596 Freiberg

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN 978-3-89100-040-3 / 978-3-89100-045-8	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Veröffentlichung</b>
3. Titel <b>Manual of Coal Fire Research, Volume V          Clean Development Mechanisms -          Applications to Near Surface Coal Fires</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  <b>(Hrsg.):          Meyer, Uwe; Rüter, Horst; Fischer, Christian;          Chen-Brauchler, D.; Kong, B.</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>31. August 2010</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>S. U.</b>	6. Veröffentlichungsdatum <b>Mai 2011</b>
	7. Form der Publikation <b>Buch</b>
	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für          Bildung und Forschung (BMBF)          53170 Bonn</b>	10. Förderkennzeichen <b>0330490</b>
	11. Seitenzahl <b>ca. 100</b>
	12. Literaturangaben
16. Zusätzliche Angaben	14. Tabellen
	15. Abbildungen
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  <p>Das vorliegende Handbuch ein Teilband der im Rahmen des geförderten Verbundprojektes „Innovative Technologien für die Erkundung, Löschung und Beobachtung von Kohlebränden - Phase B“ erstellten fünf Handbücher.</p> <p>Ein wichtiger Aspekt des Projektes umfasste die Entwicklung von Verfahren und Methoden, die die Grundlage für eine zukünftige Berücksichtigung von Löschaktivitäten spontaner Kohlebrände im Rahmen des Clean Development Mechanismus des Kyoto-Protokolls bilden. Kohlebrände führen nicht nur zu einem Verlust an Energieressourcen, auch die Löschung solcher Brände ist zeit- und kostenintensiv. Die Möglichkeit, im Rahmen von Löschungen sog. certified emission rates (CERs) zu generieren, wird, eine Anerkennung der Verfahren durch das <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> vorausgesetzt, die notwendige Finanzierung der Löschvorhaben substantiell unterstützen.</p> <p>Umfangreiche Untersuchungen wurden vorgenommen, um zu untersuchen, wie die relevanten Bilanzgrößen von Kohlebränden für zukünftig in der Praxis anzuwendende Feuerlöschverfahren hinreichend genau quantifiziert werden können. Unter dem Gesichtspunkt der Praxistauglichkeit, wird für die relevanten Bilanzierungen ein ‚konservativer‘ Ansatz angestrebt.</p> <p>Das Handbuch ist in Englisch veröffentlicht.</p>	

19. Schlagwörter Manual, CDM, CER, emission, modelling	
20. Verlag Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Oberpfaffenhofen 2011	21. Preis --

### **Vollständige Autorenliste der Buchveröffentlichung**

Dr. Uwe Meyer  
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
 Stilleweg 2  
 D-30655 Hannover

Prof. Dr. Horst Rüter  
 HarbourDom GmbH (HD)  
 Riehler Platz 1  
 D- 50668 Köln

Dr.-Ing. Christian Fischer  
 Deutsches Zentrum f. Luft und Raumfahrt e.V. (DLR)  
 - Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum -  
 Postfach 1116  
 D-82234 Wessling

M.Sc. Dai Chen-Brauchler  
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
 Stilleweg 2  
 D-30655 Hannover

Kong, Bing  
 Shenhua (Beijing) Remote Sensing & Geo-Engineering Company Ltd. (BRSC),  
 Building 5, NO.1 Avenue 4 , Shangdi, Haidian, Beijing 100085, P.R. of China

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN <b>978-3-86012-405-5</b>	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Dissertationsschrift</b>
3. Titel <b>Modellierung thermo-mechanischer Prozesse von Kohlebränden untertage</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <b>Guşat, Dorel</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>August 2010</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>September 2010</b>
	7. Form der Publikation <b>Buch</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>TU Bergakademie Freiberg Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau Institut für Bergbau und Spezialtiefbau Gustav-Zeuner Str. 1A 09599 Freiberg</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>0330490J</b>
	11. Seitenzahl <b>168 S.</b>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>	12. Literaturangaben <b>119+27 URL</b>
	14. Tabellen <b>15</b>
	15. Abbildungen <b>115</b>
16. Zusätzliche Angaben <b>Herausgeber: Prof. Dr. Drebenstedt, Carsten</b>	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung	
<p>Im Norden Chinas vernichten Brände jährlich bis zu 200 Mio. t Kohle. Gegenstand dieser Arbeit sind vor allem unkontrollierte Kohlebrände, deren Dynamik und Umweltauswirkungen wenig erforscht sind. Ziele dieser Arbeit sind eine bessere Analyse der Brandursachen, der Brandauswirkungen, einer optimierten Brandbekämpfung vor allem unter dem Aspekt des Bergbaus, der Kohlebrandprävention sowie vorbereitender Arbeiten zur Modellierung der ablaufenden Brandprozesse mittels numerischer Berechnungsverfahren. Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Modellbeschreibung der Kohlebrände und deren Wirkungen dar.</p> <p>Es konnte mittels der FEM-Software FLAC gezeigt werden, dass die Bildung der Risse im Hangenden die Stabilität beeinträchtigen bzw. ein zweites im Hangenden parallel liegendes Flöz (Flöz II) in Brand setzen kann. Mittels Sensitivitätsanalyse (unterschiedlichen Kohleflözmächtigkeiten) wurde gezeigt, dass mit zunehmender Mächtigkeit des Flözes I, die Horizontalspannungen im Hangenden steigen bzw. sich die Bruchzonen vergrößern und die Rissbildung zunimmt.</p> <p>Die Analyse der thermisch-induzierten Spannungen (Modell #D) diente der Verfolgung der Entwicklung der Bruchzonen bzw. der Temperaturentwicklung zeitabhängig. Für die Simulation des Temperaturverlaufs wurde der Fourier-Ansatz angewandt. Eine Diskretisierung des Netzes erfolgte für eine Brandgeschwindigkeit von 7,7 m/a, wie im Feld beobachtet sowie in der COMSOL Simulation (von BAM) berechnet wurde. Die zwei Kohleflöze #9 und #10 in der Wuda „Brandzone 3-2“ waren als Basis für die Modellierung genommen worden.</p>	

Es stellte sich heraus, dass die temperatur-induzierten Bruchzonen nicht nur das Hangende beeinträchtigen, sondern auch das Liegende. Das bedeutet, dass die Flöze, die sich unter einem Brandherd befinden, ebenfalls in Brand gesetzt werden können. Eine der Analysen zeigte, dass für einen Brand in einer Teufe  $H = 60$  m nach 20 Jahren die Hauptnormalspannungen von 1,5 MPa auf  $> 7$  MPa ohne Temperatureinfluss bzw.  $>15$  MPa mit Temperatureinfluss steigen können, d.h. eine Erhöhung von bis zu 10-facher gegenüber den normalen Bedingungen.

19. Schlagwörter

Kohlebrände, thermisch-induzierten Spannungen, FLAC-Software

20. Verlag

TU Bergakademie Freiberg

21. Preis

?? €

### **Vollständige Autorenliste der Buchveröffentlichung**

Dr. Guşat, Dorel

TU Bergakademie Freiberg (TU BAF), Deutschland

Herausgeber: Prof. Dr. Drebenstedt, Carsten

TU Bergakademie Freiberg (TU BAF), Deutschland