

ABR-Mobile

Ein Simulationssystem zur Ausbreitung radioaktiver Schadstoffe unter Berücksichtigung kraftwerksunabhängiger Standorte

*A. Piater; W. Scheuermann
Institut für Kernenergetik und Energiesysteme
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 31
70569 Stuttgart*

*C. Krass
KE-Technologie GmbH
Pfaffenwaldring 31
70569 Stuttgart*

*H. Pohl
Umweltministerium Baden-Württemberg
Kernerplatz 9
70182 Stuttgart*

1. EINLEITUNG.....	83
2. BESCHREIBUNG VON ABR-MOBILE.....	83
2.1 BEREITSTELLUNG DER TOPOGRAPHIE	84
2.2 WINDFELDBERECHNUNG	84
2.3 BESCHREIBUNG DES SYSTEMS.....	85
2.3.1 <i>Web-Anwendung</i>	85
2.3.2 <i>Eingabeparameter</i>	86
2.3.3 <i>Systeminterne Modifikationen</i>	87
3. ERGEBNISSE VON SIMULATIONSRECHNUNGEN.....	89
4. ZUSAMMENFASSUNG.....	93
5. LITERATUR.....	94

1. Einleitung

Das Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe rührt nicht allein von den Kernkraftwerken her. Neben dieser potenziellen Gefahrenquelle müssen auch Unfälle beim Transport radioaktiver Stoffe und die Gefahr durch terroristische Anschläge in Betracht gezogen werden. Die Unfallszenarien, die hierbei zu betrachten sind, unterscheiden sich im Wesentlichen durch

- die Menge und Art der freigesetzten radioaktiven Stoffe,
- die Stärke der Radioaktivität und
- die Größe des betroffenen Gebiets

von den Szenarien, welche bei Unfällen in Kernkraftwerken zugrunde gelegt werden.

Mit dem zu entwickelnden Simulationssystem ABR-Mobile wird ein Werkzeug zur Verfügung stehen, das es erlaubt, die radiologische Lage bei dieser Art von Unfällen beurteilen zu können, um entsprechende Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung einzuleiten.

Die Modelle zur Simulation der Ausbreitung radioaktiver Schadstoffe im System ABR-Mobile basieren auf den Modellen, die auch im Rahmen der Kernreaktorfernüberwachung (KFÜ) /1/ des Landes Baden-Württemberg eingesetzt werden.

Durch Forschungsprojekte im Rahmen des Umweltinformationssystems Baden-Württemberg (UIS BW) konnte am Beispiel der Simulation der Ausbreitung radioaktiver Stoffe im Nahbereich der Kernkraftwerke /2/ gezeigt werden, dass diese Modelle flexibel eingesetzt werden können. Das System ABR-Mobile ist die folgerichtige Fortsetzung dieses Ansatzes unter Berücksichtigung kraftwerksunabhängiger Standorte.

2. Beschreibung von ABR-Mobile

Drei Größen bestimmen im Wesentlichen die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe und das Gefährdungspotenzial für Umwelt und Bevölkerung. Dies sind die freigesetzten Stoffe und ihre Aktivität, die Meteorologie, hier vor allem Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Regen sowie die Beschaffenheit des Geländes.

Grundlage für die Anforderungen an das System ABR-Mobile sind charakteristische Unfallszenarien. Aufgrund der wechselnden Standorte muss dabei berücksichtigt werden, dass, entgegen der Unfallszenarien bei Störfällen in Kernkraftwerken, der Anwender des Systems die Unfallsituation und die daraus resultierenden Eingabedaten für jede Simulationsrechnung jeweils neu zu bewerten hat.

Im Rahmen dieses Projekts wurde prototypisch der Großraum Stuttgart als topographischer Bereich verwendet. Dieser erstreckt sich von Echterdingen im Süden bis Kornwestheim im Norden und von Weilimdorf im Westen bis Untertürkheim im Osten.

Je nach Bebauung und Größe des betroffenen Gebiets betragen die Maschenweiten wenige Meter bis mehrere 10 m in freiem Gelände.

2.1 Bereitstellung der Topographie

Ausgangsbasis für die Bereitstellung der topographischen Daten sind die hoch aufgelösten Laserscandaten der Landesvermessung Baden-Württemberg /3/ in Form von Punktwolken. In diesen Datensätzen sind Gebäude und auch Wälder enthalten. Ausgehend von diesem Datenbestand wurden die Daten in einem ersten Schritt auf ein reguläres Gitter mit einer Maschenweite von 2 m umgerechnet. Für diese Berechnungen wurde das geostatistische Verfahren Kriging /4/, /5/ verwendet und mit dessen Hilfe die fehlenden Gitterpunktwerte angenähert.

Für die ersten Untersuchungen wurden aus diesen Basisdaten ausschnittsweise Gitter mit Maschenweiten von 5, 10 und 20 m erzeugt. Die daraus resultierenden Topographien wurden analysiert und hinsichtlich der Anforderungen verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass innerhalb bebauter Gebiete Maschenweiten von 10 m die Gebäudestrukturen hinreichend detailliert erfassen und somit einen guten Kompromiss zwischen Detaillierungsgrad und Modellgebietsgröße darstellen.

Bei ABR-Mobile wird der Emissionsort erst zu Beginn der Simulationsrechnung festgelegt. Dies bedeutet, dass für die topographischen Daten eine Speicherform zu finden ist, bei der sowohl die Topographie von Baden-Württemberg, als auch die unterschiedlichen Maschengrößen erfasst und abgerufen werden können. Für die Implementierung wurde als Speicherform eine relationale Datenbank (MySQL) gewählt, in der die Topographiedaten abgelegt werden. Das gewählte Datenbankschema ist so aufgebaut, dass die gespeicherten z-Werte den topographischen Höhen an der Koordinate (x, y) entsprechen. Die Koordinaten werden entweder im Gauß-Krüger- oder im UTM-System angegeben.

Entsprechend den Anforderungen nach hoher Auflösung in bebauten Gebieten und einer deutlich geringeren Auflösung für freies Gelände wurden für die Bereitstellung der Topographiedaten zusätzlich zu den Laserscandaten noch die frei verfügbaren Daten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) /6/ für Gebiete mit geringer Auflösung (Maschenweite 100 m und größer) hinzugenommen.

Zum Abrufen der Topographiedaten für ein spezifisches Gebiet wurde ein Webservice entwickelt, der aufgrund der Angaben zum Emissionsort und der gewünschten Maschenweite die jeweils aktuelle Topographie bereitstellt. Beim Design und der Implementierung des Webservices wurde darauf geachtet, dass dieser Dienst auch für das System der Ausbreitungsrechnungen (ABR) im Rahmen der KFÜ nutzbar ist, vor allem im Hinblick auf das erweiterte Modellgebiet mit einem Radius von 100 km, das zum Teil in die angrenzenden Nachbarländer reicht.

2.2 Windfeldberechnung

Die Berechnung der Windfelder erfolgt auf der Basis der vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung stehenden Prognosedaten. Diese Prognoserechnungen basieren auf

dem Lokalmodell des DWD mit Maschenweiten von 4,7 auf 7,0 km. Für kleinere Modellgebiete, speziell in bebauten Gebieten, kann die Auflösung des Lokalmodells dazu führen, dass innerhalb des Modellgebiets nur sehr wenige oder auch keine Prognosewerte liegen. Daher musste die Berechnungsstrategie in ABR-Mobile hinsichtlich der Meteorologie abgeändert werden.

Gewählt wurde ein zweistufiges Verfahren, ein sogenanntes „Nesting“, auf Modulebene: Ausgehend vom gewählten Modellgebiet wird der Ausschnitt aus dem Lokalmodell des DWD so gewählt, dass es mindestens vier Maschen umfasst und dass das gewählte Zielmodellgebiet (rot) ungefähr im Zentrum dieses Ausschnitts liegt (Abbildung 1).

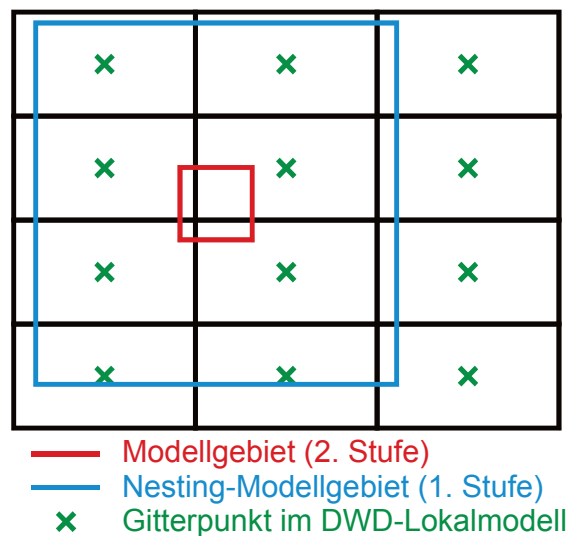


Abbildung 1: Nesting

Das Nesting-Verfahren beruht darauf, dass in einem ersten Schritt ein neues Nesting-Modellgebiet (blau) in den Ausschnitt des Lokalmodells gelegt wird, dessen Maschenweiten so bemessen sind, dass mehrere Maschen des DWD-Lokalmodells im Nesting-Modellgebiet liegen. Das Zielmodellgebiet (rot) ist dabei eine Teilmenge mehrerer Maschen des Nesting-Modellgebiets. Auf der Basis dieses Nesting-Modellgebiets wird nun eine erste Windfeldberechnung durchgeführt, wobei die Ergebnisdaten dieser Rechnung als Eingangsdaten für die zweite Windfeldberechnung im Zielmodellgebiet verwendet werden.

2.3 Beschreibung des Systems

In den folgenden Unterkapiteln werden die Web-Anwendung, die Eingabeparameter von ABR-Mobile sowie die systeminternen Modifikationen bei der Überführung von ABR-Research in ABR-Mobile beschrieben.

2.3.1 Web-Anwendung

Die Grundlage der Web-Anwendung des ABR-Mobile-Systems basiert auf ABR-Research /7/. Diese besteht serverseitig aus einer Kombination von Apache Cocoon /8/ und der Google Maps API /9/ und wurde speziell für die Anforderungen von ABR-Mobile erweitert. Die

Formulare für die Erfassung der Szenariodaten wurden angepasst und eine neue Eingabemöglichkeit für den Emissionsort geschaffen.

2.3.2 Eingabeparameter

Die Loslösung des Modellgebiets vom Kraftwerksstandort hat zur Folge, dass eine Reihe von Parametern, die als Stammdaten im System ABR-Research hinterlegt sind, nun vom Anwender vorzugeben ist. Dies betrifft die Koordinaten des Emissionsorts, die Angaben zum Modellgebiet und die Zusammensetzung und die Aktivität der freigesetzten Stoffe.

Koordinaten des Emissionsorts:

Zur Bestimmung der Koordinaten des Emissionsorts wurde Google Maps in die Benutzeroberfläche von ABR-Mobile (Abbildung 2) eingebunden. Dies ermöglicht es, den Emissionsort per Mausklick auf der Karte festzulegen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit zur Angabe einer Adresse oder der direkten Eingabe der Koordinaten im Gauß-Krüger-System. Die Funktionen „Suche Adresse“ und „Suche Koordinaten“ positionieren den Marker an der angegebenen Stelle. Danach kann der Marker verschoben werden, um die genaue Position des Emissionsorts festzulegen. Über die Funktion „Marker-Koordinaten übernehmen“ werden die Koordinaten in ABR-Mobile zur Verfügung gestellt.

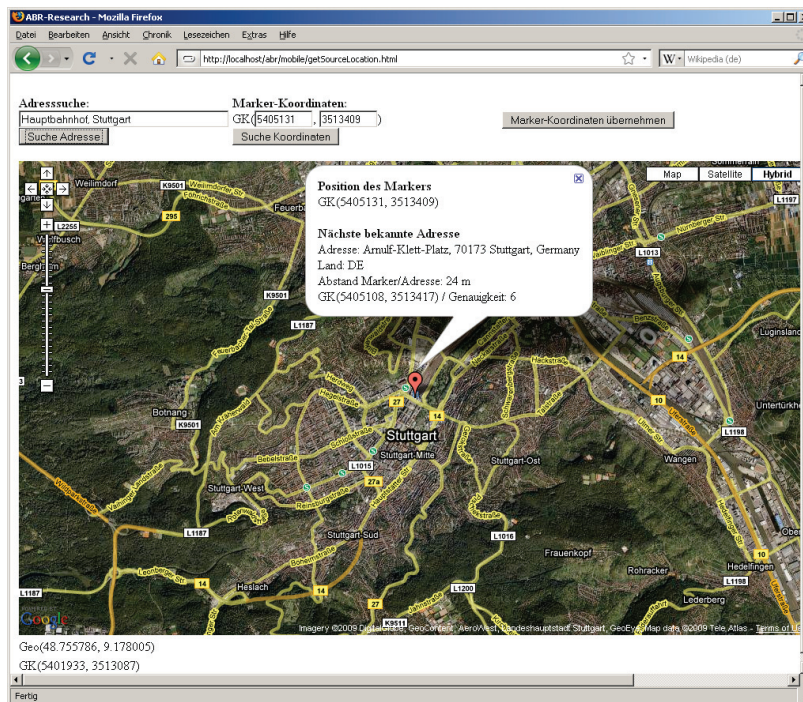


Abbildung 2: Auswahl des mobilen Emissionsorts – Adresssuche (Bildquelle: Google Maps)

Definition des Modellgebiets:

Die Festlegung des Modellgebiets erfolgt durch die Angabe der Anzahl der Maschen in West-Ost- und Süd-Nord-Richtung sowie durch die Angabe der Maschenweiten in beiden Richtungen. Der Emissionsort liegt im Zentrum des Modellgebiets.

Definition des Nuklidvektors:

Die Angabe der freigesetzten Stoffe und ihre jeweilige Aktivität bestimmt das Gefährdungspotenzial und ist aufgrund fehlender Informationen vom Anwender abzuschätzen.

In der vorliegenden ersten Version von ABR-Mobile beschränkt sich die Eingabe der Nuklide und ihrer Aktivität auf die vier Nuklidgruppen organisches Jod, elementares Jod, Edelgase und Aerosole mit jeweils einem Leitnuklid in jeder Gruppe. Die Angabe der Aktivität erfolgt in der Einheit Becquerel pro Sekunde.

Meteorologie:

In der derzeitigen Version des Systems werden nur die Prognosedaten des DWD verwendet. Diese Daten werden ohne Benutzerintervention direkt von der zentralen Datenhaltung (ZDH) der KFÜ abgerufen /10/.

2.3.3 Systeminterne Modifikationen

Durch die Einführung des breit einsetzbaren Webservices zur Bereitstellung der topographischen Daten unterscheiden sich die beiden Systeme ABR-Mobile und ABR-Research im Wesentlichen nur noch durch unterschiedliche Eingabeparameter. Daher lag es nahe zu untersuchen, inwieweit sich die Schnittstelle zur Übergabe der Eingabeparameter an den Berechnungskern vereinheitlichen lässt. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist die Definition eines gemeinsamen XML-Schemas (Abbildung 3), auf dessen Basis die Parameterübergabe in standardisierter Form erfolgen kann.

Auf der ersten Strukturierungsebene werden vier Bereiche

- Überwachungsbereich (monitoringArea),
- Zeitsteuerung der Simulation (computationTime),
- Simulationsmodell (simulationModel) und
- Meteorologie (environment)

unterschieden, denen die jeweiligen Parameter zugeordnet werden.

Im Zweig, der vom Überwachungsbereich ausgeht, befindet sich die Aufspaltung in die Bereiche

- „fixed“ für die kraftwerksgebundenen und
- „mobile“ für die kraftwerksunabhängigen Standorte.

Für die kraftwerksgebundenen Standorte besteht neben der Eingabe des Nuklidvektors die Möglichkeit, den Unfallablauf durch die Unfallkategorie und den Leitfaden (accidentCategoryandGuideline) zu beschreiben.

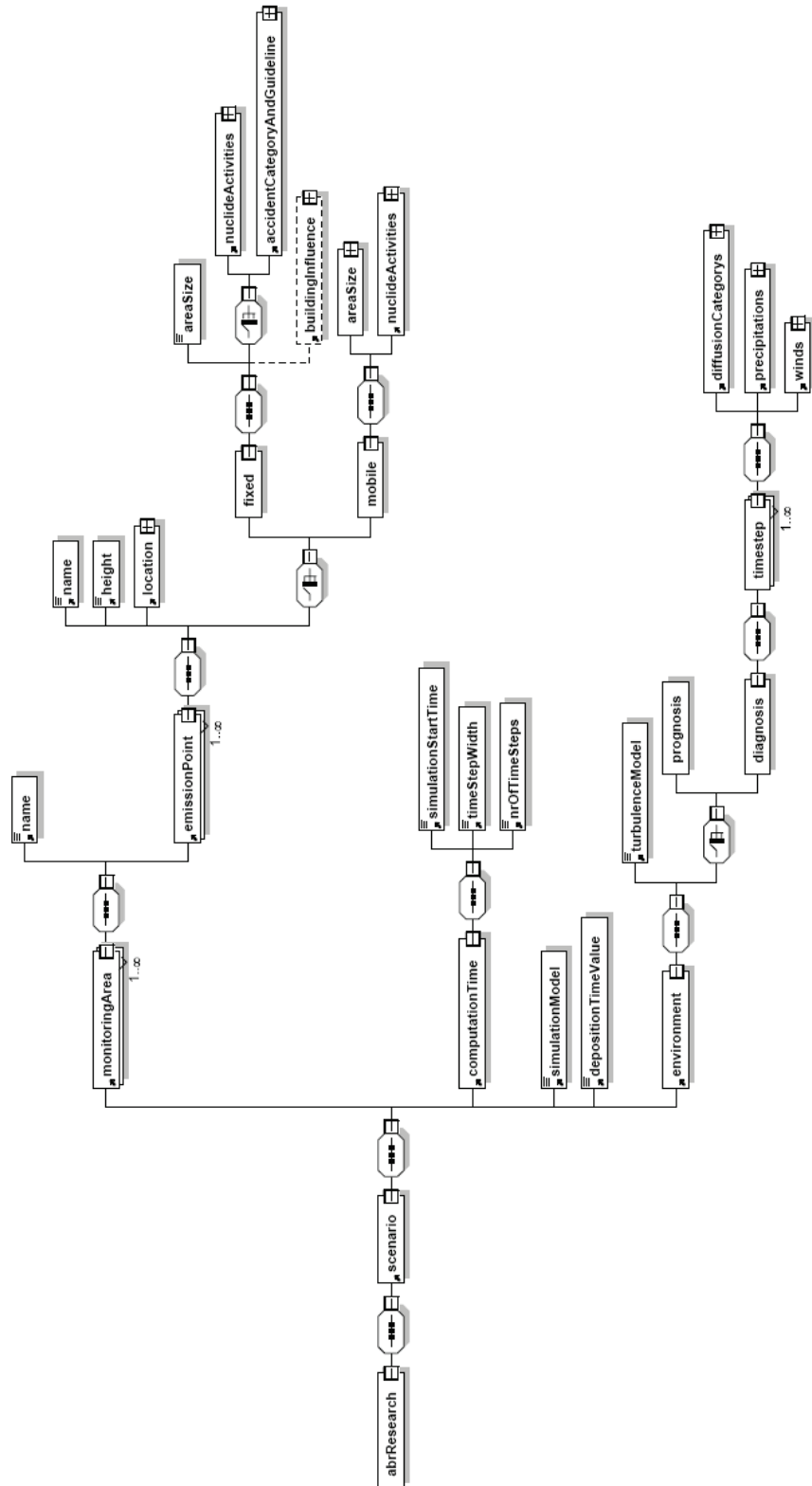


Abbildung 3: Gemeinsames XML-Schema der Inputdatei-Schnittstelle für Ausbreitungsrechnungen

Die Definition der Parameter des Modellgebiets ist ebenfalls diesen Zweigen zugeordnet. Dabei entspricht das Modellgebiet bei den kraftwerksgebundenen Standorten den aus der KFÜ bekannten Angaben groß, mittel und klein entsprechend den Radien der Überwachungsbereiche von 25 km, 10 km und 1 km, während bei den kraftwerksunabhängigen Standorten das Modellgebiet durch die Angaben

- Koordinaten der linken unteren Masche,
- Anzahl der Maschen in x- und y-Richtung und
- Maschenweite

definiert wird.

Um die Lesbarkeit der Abbildung 3 nicht zu sehr zu beeinträchtigen, wurden nicht alle Parameterdefinitionen dargestellt. Das Plus-Zeichen bei einem Kästchen zeigt an, dass hier weitere Parameterdefinitionen folgen.

Für ABR-Mobile wurde die Schnittstelle umgesetzt, für ABR-Research stehen diese Arbeiten noch aus. Ein Sessionkonzept wurde in dieser Version von ABR-Mobile nicht implementiert.

3. Ergebnisse von Simulationsrechnungen

Der ersten der hier dargestellten Simulationsrechnungen lagen die Prognosedaten des DWD vom 17.02.2008 zugrunde. Zu diesem Zeitpunkt herrschte ein schwacher Wind aus östlicher Richtung. Als Emissionsort wurde der Stuttgarter Hauptbahnhof gewählt (siehe Abbildung 6). Die Gauß-Krüger-Koordinaten waren 3513458 m in West-Ost-Richtung und 5405190 m in Süd-Nord-Richtung.

In dem Beispiel wurde ein Nuklidgemisch angenommen, das den fiktiven Fall eines Unfalls beim Transport radioaktiver Stoffe abbildet:

- Aerosole $6,94 \text{ e}+005$ [Bq/s]
- Edelgase $2,36 \text{ e}+011$ [Bq/s]
- Elementares Jod $6,392.3 \text{ e}+006$ [Bq/s]
- Organisches Jod $5,56 \text{ e}+006$ [Bq/s]

Abbildung 4 zeigt sowohl die zugrundeliegende Topographie als auch die herrschenden Windverhältnisse. Die Maschenweite beträgt 10 m. In der Darstellung erkennt man sehr gut die Hauptverkehrsstraßen, wie z.B. die Heilbronner Straße, aber auch den Hauptbahnhof und den daran anschließenden Schlossgarten. Die Farbe blau kennzeichnet die tiefsten Punkte in dieser Darstellung.

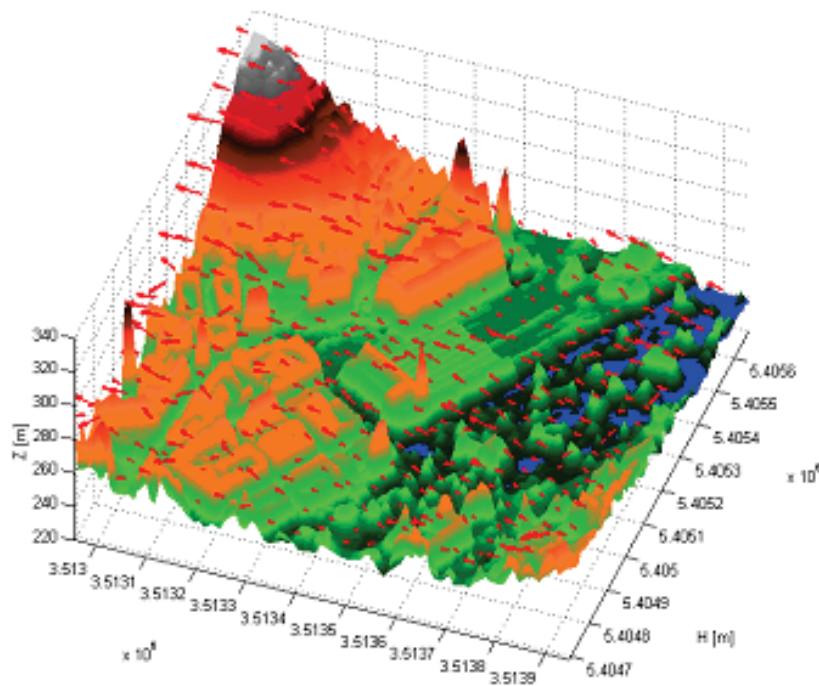


Abbildung 4: Topographie des Modellgebiets und herrschende Windverhältnisse

Abbildung 5 zeigt als ein Simulationsergebnis die Verteilung der effektiven Äquivalenzdosis für Erwachsene. Aufgrund der schwachen Winde zum angenommenen Unfallzeitpunkt liegt die maximale Dosis nur unweit entfernt vom Emissionsort. Die starke vertikale Turbulenz bei dieser Wetterlage führt zu einem Aufstieg der radioaktiven Wolke in eine größere Höhe, so dass das gesamte Modellgebiet von der radioaktiven Strahlung (Gammastrahlung) beaufschlagt wird.

Dargestellt werden zwei Marker auf der Karte. Der erste Marker enthält Informationen über den Ort der maximalen Dosis. Der zweite Marker enthält Informationen über den Emissionsort.

Über das Auswahlfeld unterhalb der Grafik hat der Anwender die Möglichkeit, sich unterschiedliche Simulationsergebnisse zu unterschiedlichen Zeitpunkten darstellen zu lassen.

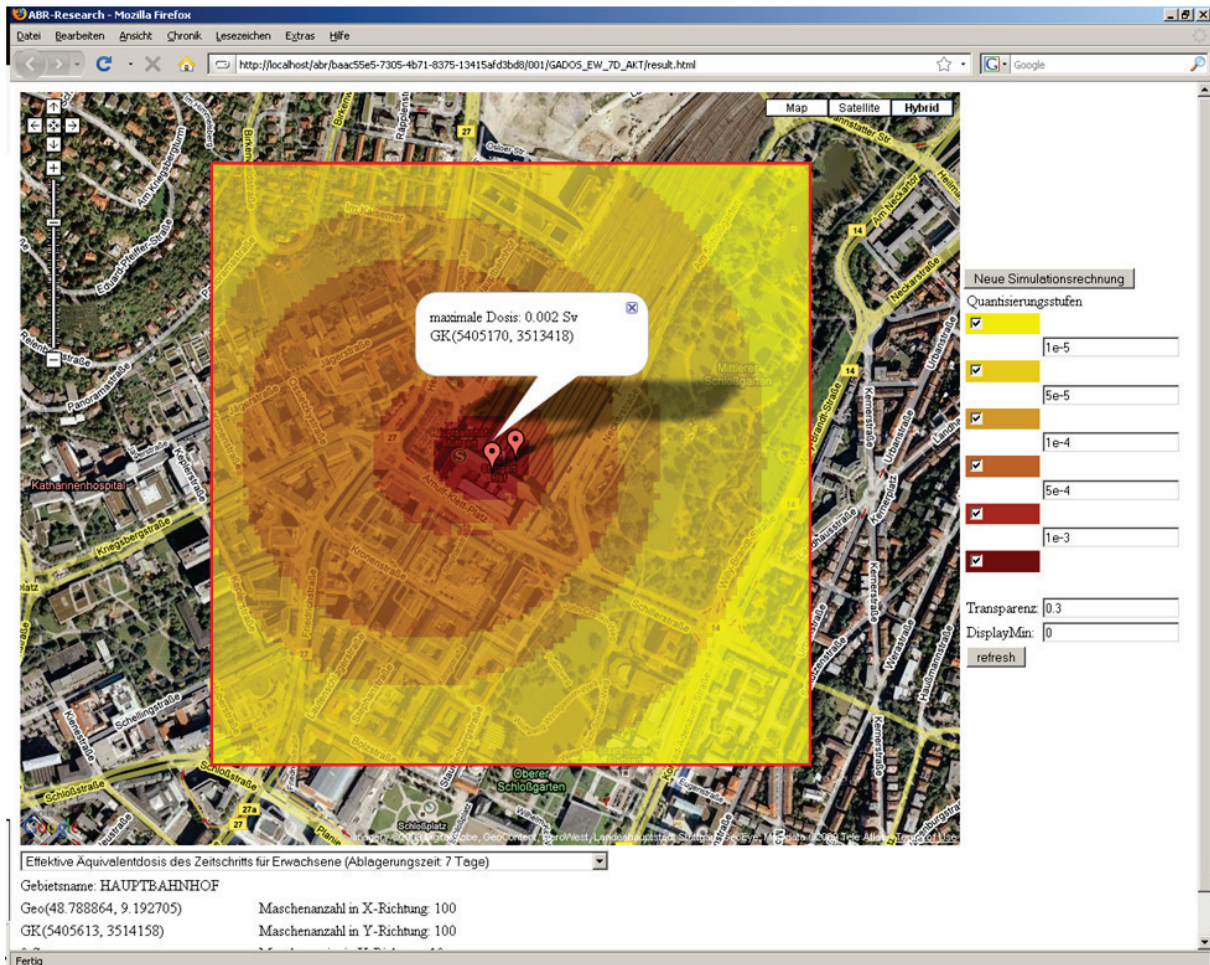


Abbildung 5: Ergebnisdarstellung einer Simulation (Bildquelle: Google Maps)

Abbildung 7 zeigt die Dosisverteilung einer weiteren Simulationsrechnung auf der Basis der in Abbildung 6 gezeigten Windverhältnisse mit der Hauptwindrichtung aus Süd-West. Die freigesetzten Aktivitätsraten entsprechen denen aus der zuvor beschriebenen Simulationsrechnung. Die Freisetzungshöhe bei diesem Beispiel beträgt 10 m. Emissionsort waren die Bahnsteige des Hauptbahnhofs. Vergleicht man die der Simulationsrechnung zugrundeliegende Topographie mit dem in Abbildung 7 dargestellten Ergebnis, kann man den Einfluss der Gebäude sehr gut erkennen. Bei diesem Beispiel führte der Turbulenzzustand zu einer bodennah verbleibenden Wolke; die Gammasubmersion trägt auch in diesem Beispiel primär zur Dosisbelastung bei. Durch die niedrig liegende Wolke erfolgt der Einfall der Strahlung sehr flach, und im Bereich der Gebäude zeigen sich Abschattungseffekte. Sehr gut zu erkennen ist auch der Bereich niedriger Dosis in der linken oberen Ecke im Bereich der Erhebung. Dieser liegt oberhalb der Wolke und wird aus einem Bereich mit niedrigerer Partikelkonzentration heraus bestrahlt.

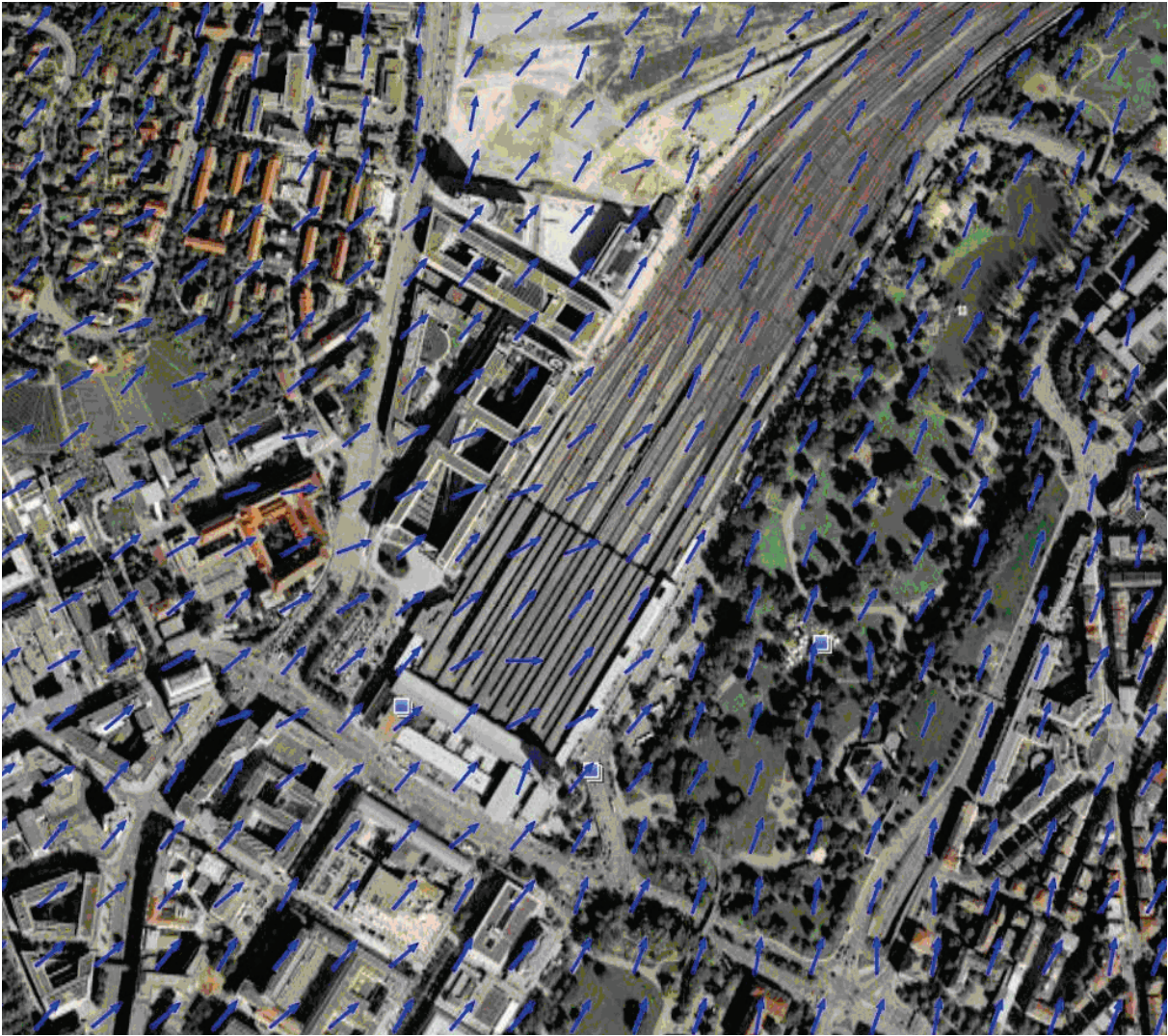


Abbildung 6: Windverhältnisse bei Emission auf den Bahnsteigen des Hauptbahnhofs Stuttgart (Bildquelle: Google Maps)

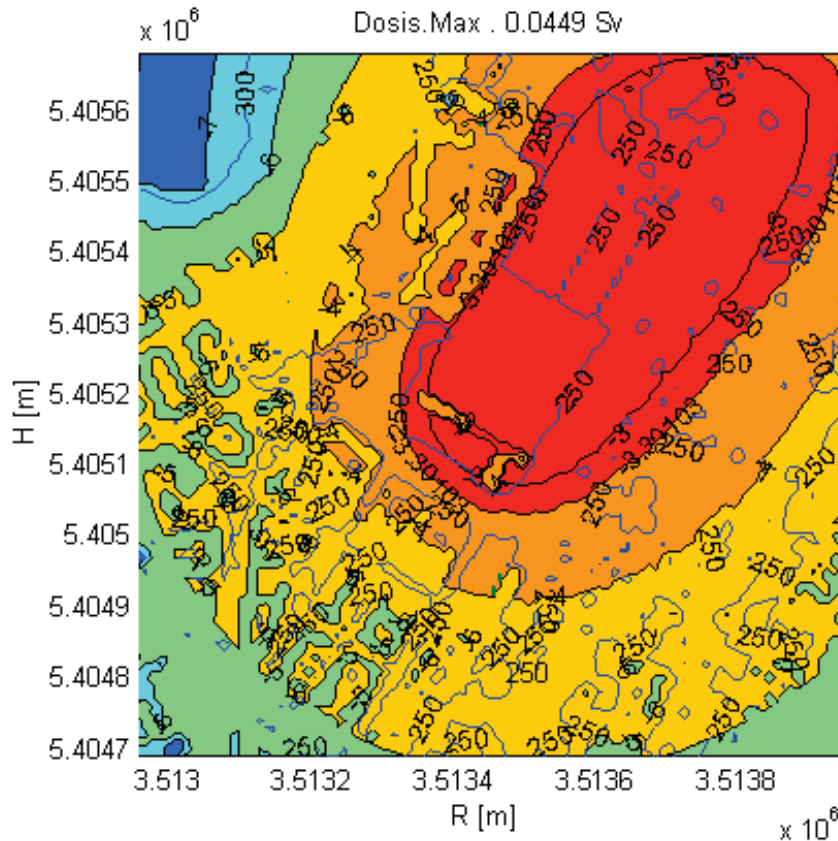


Abbildung 7: Dosisverteilung bei Emission auf den Bahnsteigen des Hauptbahnhofs Stuttgart

4. Zusammenfassung

Mit dem System ABR-Mobile steht in einer ersten Version ein System zur Verfügung, das als Werkzeug zur Analyse der radiologischen Lage bei einer Gefahrensituation außerhalb des Bereichs der Kraftwerksstandorte genutzt werden kann. Einschränkend ist anzumerken, dass sich der Anwendungsbereich des Systems, in dem eine hoch aufgelöste Topographie benötigt wird, auf den Großraum Stuttgart beschränkt, da im Rahmen des Projekts die Aufarbeitung der Laserscandaten nur für diesen Bereich vorgenommen werden konnte. Analysen von Unfallsituationen, bei denen keine hoch aufgelöste Topographie benötigt wird, sind durch die Integration der SRTM-Daten für ganz Baden-Württemberg möglich.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis ist die Definition einer einheitlichen, gemeinsamen Schnittstelle zwischen der Web-Anwendung, durch die die Benutzeroberfläche realisiert wird, und dem Berechnungskern für die Systeme ABR-Mobile und ABR-Research. Dies erlaubt es, bei der Erweiterung der Systeme Synergieeffekte zu nutzen und die Benutzerführung flexibler zu gestalten.

5. Literatur

- /1/ Obrecht, R. et al. (2002): KFÜ BW – Erneuerte Kernreaktorfernüberwachung in Baden-Württemberg. In: Mayer-Föll, R., Keitel, A., Geiger, W.; Hrsg.: Projekt AJA – Anwendung JAVA-basierter Lösungen und anderer leistungsfähiger Lösungen in den Bereichen Umwelt, Verkehr und Verwaltung, Phase III 2002, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6777, S. 141-160.
- /2/ Krass, C. et al. (2006): KFÜ-ABR – Untersuchung möglicher Erweiterungen des Anwendungsbereichs von ABR-Research hinsichtlich Diagnose- / Prognoserechnungen und Ausbreitung in kleinräumigen Gebieten. In: Mayer-Föll, R., Keitel, A., Geiger, W.; Hrsg.: F+E-Vorhaben KEWA – Kooperative Entwicklung wirtschaftlicher Anwendungen für Umwelt und Verkehr in neuen Verwaltungsstrukturen, Phase I 2005/2006, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 7250, S. 161-170.
- /3/ <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/13231/>
- /4/ Dutter, R. (1985): Geostatistik: eine Einführung mit Anwendungen. In: Lehn, J.; Neunzert, H.; Wacker, H. (Hrsg.): Mathematische Methoden in der Technik 2, Teubner, Stuttgart.
- /5/ Olea, R. A. (1999): Geostatistics for Engineers and Earth Scientists. Kluwer Academic, Boston.
- /6/ SRTM Daten, <http://srtm.usgs.gov> (06.04.2009).
- /7/ Weigele, M. et al. (2001): ABR-KFÜ – Der Dienst Ausbreitungsrechnung in der Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg. In: Mayer-Föll, R., Keitel, A., Geiger, W.; Hrsg.: Projekt AJA – Anwendung JAVA-basierter und anderer leistungsfähiger Lösungen in den Bereichen Umwelt, Verkehr und Verwaltung, Phase II 2001, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6700, S. 113-132.
- /8/ The Apache Cocoon Project, <http://cocoon.apache.org> (06.04.2009).
- /9/ Google Maps API, <http://code.google.com/apis/maps/> (06.04.2009).
- /10/ Piater, A., Scheuermann, W., Krass, C. et al. (2007): ABR-Research – Anbindung an die zentrale Datenhaltung der KFÜ zur Durchführung von Prognoserechnungen; In: Mayer-Föll, R., Keitel, A., Geiger, W.; Hrsg.: F+E-Vorhaben KEWA – Kooperative Entwicklung wirtschaftlicher Anwendungen für Umwelt und Verkehr in neuen Verwaltungsstrukturen, Phase II 2006/2007, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 7350, S. 135-142.