

6.3

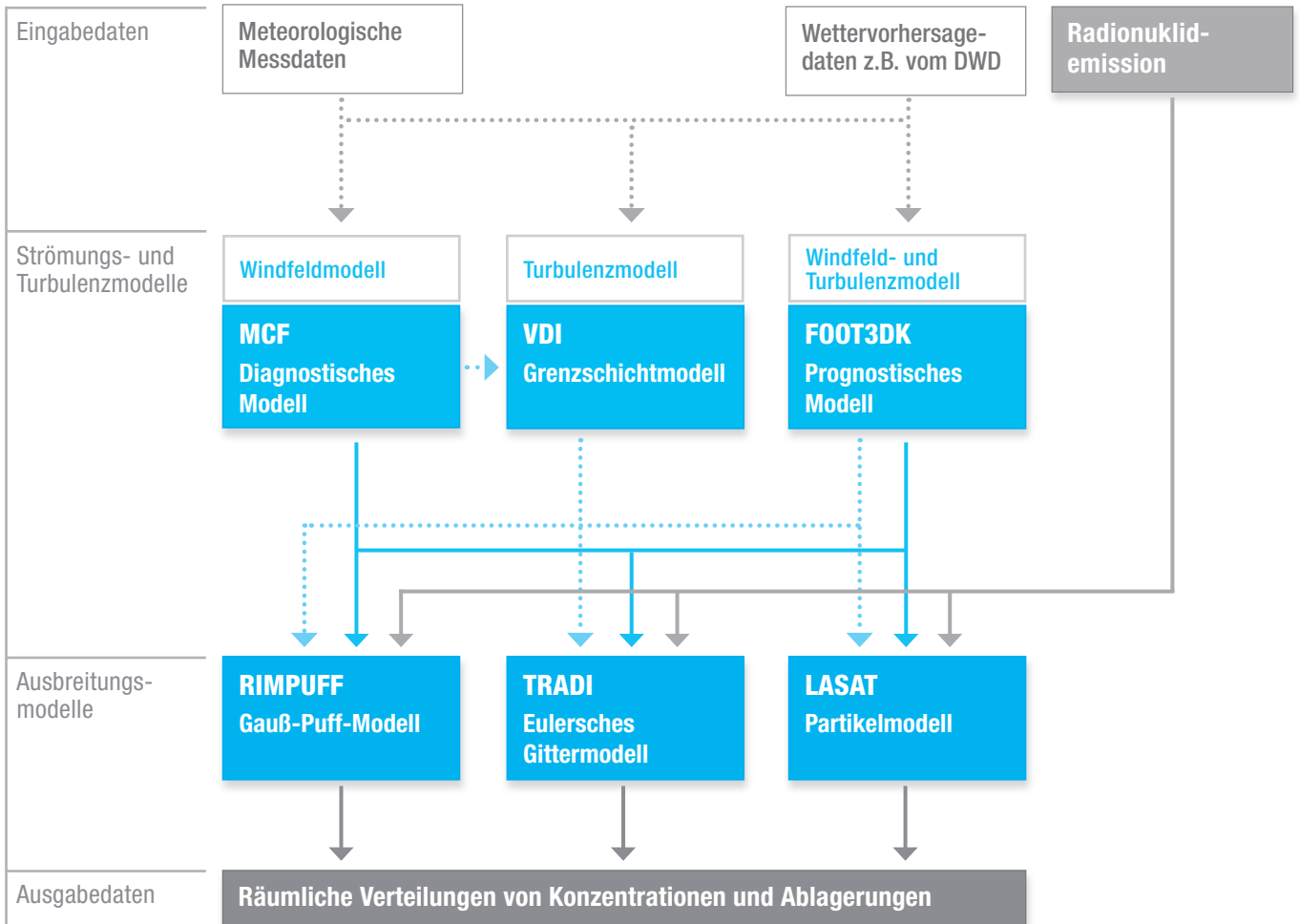
Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung bei Unfallsituationen



Dr. Reinhard Martens

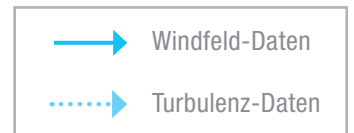
→ Nach einer Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre infolge eines Unfalls in einer kerntechnischen Anlage oder eines Transportunfalls ist eine möglichst schnelle und genaue Prognose über die atmosphärische Ausbreitung der freigesetzten Radionuklide unabdingbar für die Planung von Maßnahmen des Katastrophenschutzes. Auch im Zusammenhang mit sogenannten »Accident Management«-Maßnahmen in Kernkraftwerken während Stör- und Unfällen sind Ausbreitungsprognosen nützlich, beispielsweise um die Zeitpunkte zu identifizieren, zu denen eine bewusst eingeleitete Freisetzung aus der Anlage (z. B. durch Druckentlastung des Sicherheitsbehälters) zu möglichst geringen Strahlenexpositionen in der Umgebung führen.

Die GRS hat bereits in den 90er-Jahren zwei Modellketten zur Diagnose und Prognose der Ausbreitung und Ablagerung luftgetragener radioaktiver Stoffe in einem Entfernungsbereich von bis zu etwa 30 km entwickelt. Dieses sogenannte mesoskalige Modellsystem wurde erfolgreich zur Nachrechnung meteorologischer Messkampagnen und von Ausbreitungsexperimenten eingesetzt. Die beiden Modellketten in dem Modellsystem konnten mit den numerischen Wettervorhersagedaten des bis Ende 1999 operationellen Deutschlandmodells (DM) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) angetrieben werden. Dadurch war es möglich, die Ausbreitung und Ablagerung von radioaktiven Stoffen über den mehrere Tage umfassenden Prognosezeitraum des Wettervorhersagemodells realistisch zu ermitteln. Nach Inbetriebnahme eines neuen, verbesserten Vorhersagemodells beim DWD wurden die Modellketten im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft geförderten Forschungsvorhabens aktualisiert, weiter optimiert und validiert.



MESOSKALIGES MODELLSYSTEM

Bild 67
Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen einzelnen Komponenten des Modellsystems



Das mesoskalige Modellsystem der GRS

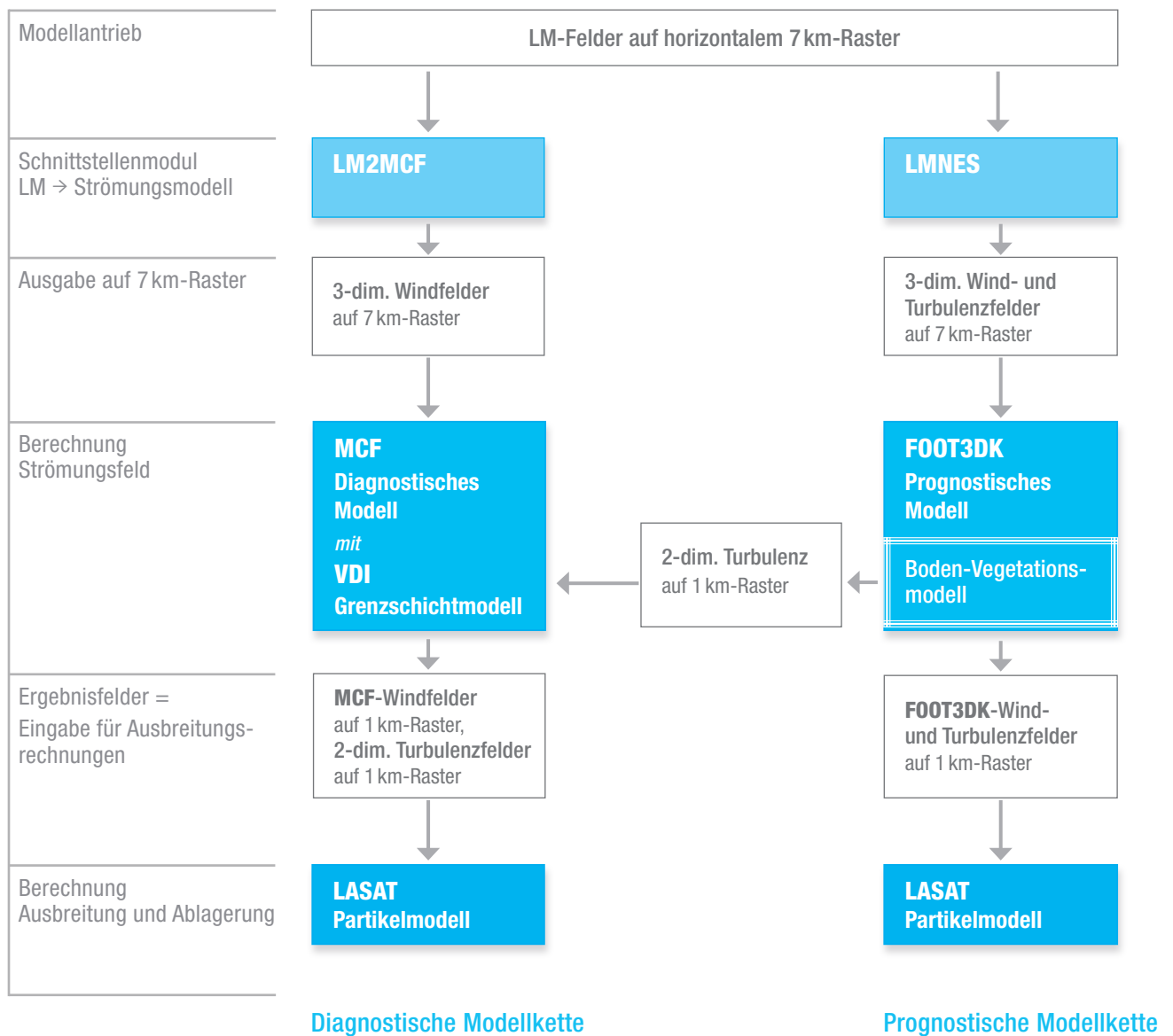
Bestandteile des Modellsystems. Das mesoskalige Modellsystem der GRS besteht aus einer diagnostischen und einer prognostischen Modellkette. Als meteorologische Eingangsdaten für das Modellsystem können entweder Messdaten – etwa von der meteorologischen Instrumentierung eines Kernkraftwerks – oder die Ergebnisfelder numerischer Wettervorhersagemodelle genutzt werden. Das Modellsystem enthält verschiedene Strömungsmodelle zur Beschreibung des Windfeldes sowie mehrere nachgeschaltete alternative Ausbreitungsmodelle, mit denen entlang des Transportweges die durch turbulente Bewegungen in der Atmosphäre verursachte Schadstoffverdünnung und die Ablagerung der Stoffe simuliert werden (s. Bild 67 »MESOSKALIGES MODELLSYSTEM«).

Diagnostische Modellkette. Bei der Berechnung des Strömungsfelds mit einem einfachen diagnostischen Modell werden dreidimensionale Windfelder auf der Grundlage der für einige Positionen im Rechengebiet bereits bekannten (d. h. gemessenen oder vorgegebenen) Winddaten diagnostiziert. Erfolgt der Antrieb mit Winddaten aus einem Wettervorhersagemodell, sind mit diagnostischen Modellen darüber hinaus auch Windfeldprognosen möglich. Die diagnostische GRS-Modellkette arbeitet mit dem massenkonsistenten Strömungsmodell MCF (Mass Consistent Flow). Die Ergebniswindfelder erfüllen die Kontinuitätsgleichung (Massenerhaltung). Turbulenzfelder liefert dieser Modelltyp nicht, sondern werden über das Turbulenzmodell der VDI-Richtlinie 3783, Blatt 8 bereitgestellt.

Prognostisches Strömungsmodell. Alternativ zur diagnostischen Modellkette kann das Strömungsfeld auch mit einem physikalisch aufwän-

digeren prognostischen Modell berechnet werden, das neben der Massenerhaltung auch die Impuls- und Energieerhaltung berücksichtigt. Weiter unterscheiden sich beide Modelltypen in der Berücksichtigung der unteren Begrenzung des Rechengebietes, die z. B. durch Erdboden, Wasserflächen, Bewuchs und Bebauung repräsentiert wird und je nach Landnutzung sehr heterogen sein kann. So wird der in prognostischen Strömungsmodellen als untere Randbedingung eingehende thermische Einfluss heterogener Oberflächen auf die bodennahe Strömung und Turbulenz bei diagnostischen Modellen nicht berücksichtigt. Damit lassen sich nur mit prognostischen Modellen thermisch induzierte Strömungsmuster, wie z. B. die bei Sonneneinstrahlung entstehenden Thermiken, realitätsnah simulieren. Neben dem mittleren Windfeld liefert dieser Modelltyp auch Turbulenzgrößen (z. B. Diffusionskoeffizienten) und erlaubt die Berechnung der zukünftigen Entwicklung (Prognose) der Wind- und Turbulenzfelder. Die prognostische Modellkette der GRS verwendet zur Strömungsfeldberechnung das nicht-hydrostatische Modell FOOT3DK (Flow Over Orographically Structured Terrain, 3-dimensionale Version der Universität zu Köln).

Modelle zur Diagnose der Ausbreitung. Für die den Strömungsfeldberechnungen nachgeschalteten Ausbreitungsrechnungen stehen ebenfalls unterschiedliche Ausbreitungsmodelle zur Verfügung, wie z. B. das einfache Gauß-Puff-Modell RIMPUFF, das Euler-Modell TRADI oder das Partikelmodell LASAT® in der GRS-Version. In der GRS werden für Ausbreitungsrechnungen vorzugsweise die beiden Modellketten FOOT3DK→LASAT und MCF→LASAT eingesetzt.



OPTIMIERUNG DES MODELLSYSTEMS

Bild 68

Kopplung der beiden Modellketten zur Verbesserung der Genauigkeit diagnostisch berechneter Windfelder

Trotz der modellbedingten Schwächen diagnostischer Strömungsmodelle gegenüber den physikalisch aufwändigeren prognostischen Modellen wird für zeitschnelle Ausbreitungsprognosen, z. B. in Entscheidungshilfesystemen, häufig dem Einsatz diagnostischer Modellketten der Vorzug gegeben, da die Verwendung prognostischer Modelle auf Grund des großen Rechenzeit- und Ressourcenbedarfs immer noch nicht praktikabel erscheint.

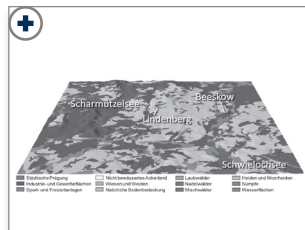
Anpassung und Optimierung des Modellsystems

Neue Randbedingungen durch verbesserte Wettervorhersagemodelle. Mit der Inbetriebnahme neuer, verbesserter Wettervorhersagemodelle beim DWD haben sich die Randbedingungen für den übergeordneten Antrieb der beiden Modellketten geändert: Das neue Vorhersagemodell des DWD (Lokal-Modell, LM) hat eine andere Modellphysik und eine feinere räumliche und zeitliche Auflösung als das bisher für den Antrieb der beiden Modellketten verwendete DM. Die GRS hat eine Anpassung der Schnittstellenmodule vorgenommen, mit denen die beiden Modellketten mit dem Lokal-Modell verknüpft werden (s. Bild 68 »OPTIMIERUNG DES MODELLSYSTEMS«).

Optimierung der Berechnung thermischer Einflüsse. Im Rahmen der Anpassungs- und Optimierungsarbeiten wurde auch geprüft, ob die Ergebnisse, die mit der prognostischen Modellkette in Bezug auf den thermischen Einfluss heterogener Oberflächen auf die bodennahe Strömung und Turbulenz erzielt werden, zur Verbesserung der Genauigkeit der mit dem diagnostischen Modell berechneten Windfelder genutzt werden kön-

nen. Standardmäßig gehen bei der diagnostischen Modellkette nur Turbulenzinformationen ein, die allein aus LM-Antrieb auf dem 7 km-Raster abgeleitet werden. Der thermische Einfluss heterogener Oberflächen mit feinerer räumlicher Auflösung (z. B. 1 km-Raster) kann bei den hier eingesetzten MCF-Simulationen nicht berücksichtigt werden. In der prognostischen Modellkette werden dagegen solche feinauflösenden Strukturen der Oberfläche mit dem in FOOT3DK integrierten, hoch auflösenden Boden-Vegetationsmodul erfasst. Indem die dabei auf dem 1 km-Raster gewonnenen Grenzschichtparameter zur Initialisierung von MCF verwendet werden, können auch mit MCF Rückwirkungen auf das bodennahe Windfeld berücksichtigt werden. Ein Beispiel für derartige Rückwirkungen sind etwa die lokalen thermisch induzierten, bodennahen Flüsse, die an einem Sommertag durch starke Sonneneinstrahlung entstehen. Die Effektivität dieses Verfahrens konnte am Beispiel entsprechender Tagesverläufe der meteorologischen Messkampagne LITFASS2003 (Lindenberg Inhomogeneous Terrain – Fluxes between Atmosphere and Surface: a long term Study) nachgewiesen werden.

Validierung der Berechnungen. Die Validierung der Arbeiten zur Anpassung und Optimierung beider Modellketten erfolgte auf der Grundlage der für LITFASS2003 vorliegenden Daten und Ergebnisfeldern des LM. Das ca. 60 km südöstlich von Berlin gelegene, etwa 40 × 40 km² große Untersuchungsgebiet dieser Kampagne zeichnet sich durch eine hervorragende Datenverfügbarkeit für eine sommerliche Untersuchungsperiode aus. Das Gebiet weist bei schwacher orographischer Gliederung eine ausgeprägte Heterogenität in der Landnutzung mit dem Wechsel von Waldflächen,



BODENNUTZUNG LITFASS2003

Bild 69

Bodennutzung im LITFASS2003-Gebiet
Die starke Oberflächenheterogenität im
30×30 km² großen Untersuchungsgebiets
ist deutlich zu erkennen

landwirtschaftlich genutzten Agrar- und Weideflächen sowie einzelnen Seen und dörflichen Siedlungen auf (s. Bild 69 »BODENNUTZUNG LITFASS2003«). Die LITFASS-Episode 2003 umfasst sowohl windschwache, fröhsummerliche Schönwetterlagen als auch ausgeprägte, windstarke Westwindlagen mit geringer Tageserwärmung und bietet somit bezüglich Intensität und Variationsbreite thermisch induzierter turbulenter Flüsse ein breites Spektrum unterschiedlicher Situationen.

Zusammenfassung

Erfolgreiche Aktualisierung des mesoskaligen Modellsystems. Das in der GRS betriebene mesoskalige Modellsystem zur Diagnose und Prognose der Ausbreitung und Ablagerung luftgetragener radioaktiver Stoffe in gegliedertem Gelände wurde erfolgreich aktualisiert und an die aktuelle Struktur der numerischen Wettervorhersagemodellierung des DWD angepasst. Mit den Untersuchungen wurde die Prognosefähigkeit der beiden Modellketten und der hohe Grad an Realitätsnähe der damit berechneten Verteilungen der luftgetragenen Konzentration und Deposition nach Radionuklidfreisetzungen nicht nur erhalten, sondern verbessert. Das für die diagnostische Modellkette entwickelte Verfahren zur Berücksichtigung des thermischen Einflusses der Oberflächeninhomogenität lässt zukünftige Einsatzmöglichkeiten diagnosebasierter Modellsysteme in integrierten Entscheidungshilfesystemen aus dem gesamten Umweltbereich (z. B. in RODOS/RESY) erwarten. ■

BODENNUTZUNG LITFASS2003

Bild 69

Bodennutzung im LITFASS2003-Gebiet
Die starke Oberflächenheterogenität im
30×30 km² großen Untersuchungsgebiets
ist deutlich zu erkennen

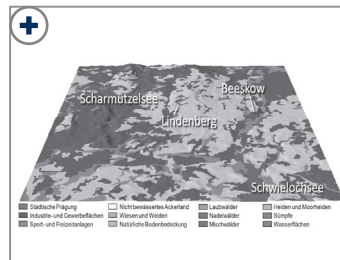


Bild 69 Originalabbildung

