

Vergleich aktuell eingesetzter Modelle zur Beschreibung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe

Abschlussbericht zum Arbeitspaket AP 5500 der Arbeitsgruppe „Erfahrungsfluss Fukushima“ des Ausschusses „Notfallschutz“ der Strahlenschutzkommission

Schriften



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SCHR-58/16

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2016022414011

Zur Beachtung:

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, Februar 2016

Vergleich aktuell eingesetzter Modelle zur Beschreibung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe

Abschlussbericht zum Arbeitspaket AP 5500 der Arbeitsgruppe „Erfahrungsfluss Fukushima“ des Ausschusses „Notfallschutz“ der Strahlenschutzkommission

Schriften

Dieser Bericht wurde erstellt im Rahmen eines Beratungsauftrags des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) an die Strahlenschutzkommission (SSK). An der Erstellung des Berichtes haben als Mitglieder der Unterarbeitsgruppe „AP 5500“ der Arbeitsgruppe „Erfahrungsrückfluss Fukushima“ mitgewirkt:

Cyrill von Arx

Hubert Glaab

Christian Grimm

Reinhard Martens

Jürgen Päsler-Sauer

Walter Scheuermann

Horst Schnadt

Peter Schumacher

Silke Torchiani

Thomas Wilbois

Hartmut Walter *)

*) Mitglied der Unterarbeitsgruppe „AP 5500“ und Bundesamt für Strahlenschutz

INHALT

1.	EINLEITUNG	8
1.1	Vorbemerkungen	8
1.2	Einsatz von atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen im radiologischen Notfallschutz	8
1.3	Betrachtete Modelle und Ziele des Vergleichs	9
2	VERGLEICHSSZENARIOEN	11
2.1	Übersicht	11
2.2	Betrachtete Modellergebnisse.....	11
2.2.1	Mengengerüst	12
2.2.2	Auswerteverfahren.....	12
2.3	Grundlegende Annahmen für alle Rechnungen	13
2.4	Freisetzung.....	13
2.5	Meteorologie.....	14
2.5.1	Szenarien E1: Variation von Stabilität, Rauigkeit und Niederschlag bei konstanten Windverhältnissen	14
2.5.2	Szenario E2M6: Winddrehung in Freisetzungsphase	15
2.5.3	Szenario E3M7: Konstante Windscherung	15
2.5.4	Szenario R1: Reale Wettersituation mit Drehung und Scherung im mittleren Rheingraben	15
3	ERGEBNISSE.....	16
3.1	Vorbemerkungen	16
3.1.1	Rolle der räumlichen und zeitlichen Auflösung.....	17
3.2	Szenario E1M1: Mässig labile Schichtung der Atmosphäre	18
3.2.1	Windprofil	18
3.2.2	Bodennahe Konzentrationen	19
3.2.3	Deposition	20
3.2.4	Bemerkungen zu den Ergebnissen von LASAIR bei trockener Deposition	21
3.2.5	Dosisparameter.....	22
3.3	Szenario E1M2: Einfluss der Bodenrauigkeit bei neutraler Schichtung.....	30
3.3.1	Windprofil	30
3.3.2	Bodennahe Konzentrationen	30
3.3.3	Deposition	31
3.3.4	Dosisparameter.....	31
3.4	Szenario E1M3: Neutrale Schichtung	37

3.4.1	Windprofil	37
3.4.2	Bodennahe Konzentrationen	37
3.4.3	Deposition	38
3.4.4	Dosisparameter.....	38
3.5	Szenario E1M4: stabile Schichtung	44
3.5.1	Windprofile	44
3.5.2	Bodennahe Konzentrationen	44
3.5.3	Deposition	45
3.5.4	Dosisparameter.....	45
3.6	Szenario E1M5: Einfluss des niederschlags bei neutraler Schichtung	52
3.6.1	Bodennahe Konzentrationen	52
3.6.2	Deposition	53
3.6.3	Dosisparameter.....	54
3.7	Szenario E2M6: Winddrehung während laufender Freisetzung.....	59
3.7.1	Windprofile	59
3.7.2	Bodennahe Konzentrationen	60
3.7.3	Deposition	61
3.7.4	Effektive Dosis	61
3.7.5	Inhalationsdosis	61
3.8	Szenario E2M7: Windscherung	74
3.8.1	Vorbemerkung zu den Puff-Modellen bei diesem Szenario	75
3.8.2	Vertikale Windprofile und Vorbemerkungen zum Einfluss der Turbulenzmodellierung in ARTM	75
3.8.3	Bodennahe Luftkonzentration	76
3.8.4	Deposition	77
3.8.5	Dosisparameter.....	77
3.9	Szenario R1: Realistische meteorologische Bedingungen: Windscherung im mittleren Rheingraben	81
3.9.1	Vorbereitungen zur Wetterlage.....	82
3.9.2	Bodennahe Luftkonzentration	86
3.9.3	Deposition	87
3.9.4	Effektive Dosis	88
3.9.5	Inhalationsdosis Schilddrüse	88
3.9.6	Resümee Szenario R1	89
4	ZUSAMMENFASSUNG, EMPFEHLUNGEN UND OFFENE FRAGESTELLUNGEN	95
4.1	Empfehlungen	95
4.1.1	Empfehlung 1	95

4.1.2	Empfehlung 2.....	95
4.1.3	Empfehlung 3.....	96
4.1.4	Empfehlung 4.....	96
4.1.5	Empfehlung 5.....	96
4.1.6	Empfehlung 6.....	96
4.2	Offene Fragestellungen.....	97
5	ANHANG: MODELLDOKUMENTATIONEN	98
5.1	SAFER	98
5.1.1	Systemübersicht	98
5.1.2	Modellgebiete und verwendete(s) Gitter.....	100
5.1.3	Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten.....	101
5.1.4	Behandlung des Quellterms	101
5.1.5	Strömungsmodell(e).....	103
5.1.6	Ausbreitungsmodell	104
5.1.7	Dosisberechnung	107
5.1.8	Berichte zur Anwendung von SAFER.....	108
5.2	RODOS.....	109
5.2.1	Systemübersicht	109
5.2.2	Modellgebiet(e) und verwendete Gitter.....	110
5.2.3	Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten.....	111
5.2.4	Behandlung des Quellterms	112
5.2.5	Strömungsmodell(e).....	113
5.2.6	Ausbreitungsmodell RIMPUFF	114
5.2.7	Dosisberechnung RIMPUFF	116
5.2.8	Ausbreitungsmodell ATSTEP	118
5.2.9	Dosisberechnung ATSTEP	121
5.2.10	Ausbreitungsmodell DIPCOT.....	122
5.2.11	Dosisberechnung DIPCOT	125
5.3	KFÜ-ABR.....	127
5.3.1	Systemübersicht	127
5.3.2	Modellgebiete und verwendete(s) Gitter.....	129
5.3.3	Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten.....	129
5.3.4	Behandlung des Quellterms	130
5.3.5	Strömungsmodell WINDO	132
5.3.6	Strömungsmodell MCF	133
5.3.7	Ausbreitungsmodell	134
5.3.8	Dosisberechnung	136

5.3.9	Beispiele zur Anwendung der ABR.....	138
5.4	LPDM.....	142
5.4.1	Systemübersicht	142
5.4.2	Modellgebiete und verwendete(s) Gitter.....	144
5.4.3	Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten.....	144
5.4.4	Behandlung des Quellterms	145
5.4.5	Strömungsmodell(e).....	146
5.4.6	Ausbreitungsmodell	147
5.4.7	Dosisberechnung	150
5.4.8	Berichte zur Anwendung von LPDM.....	150
5.5	ADPIC.....	151
5.5.1	Systemübersicht	151
5.5.2	Modellgebiete und verwendete(s) Gitter.....	152
5.5.3	Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten.....	153
5.5.4	Behandlung des Quellterms	154
5.5.5	Strömungsmodell(e).....	156
5.5.6	Ausbreitungsmodell	157
5.5.7	Dosisberechnung	161
5.5.8	Eingabe- und Ausgabeoberflächen	163
5.6	ARTM.....	165
5.6.1	Systemübersicht	165
5.6.2	Modellgebiete und verwendete(s) Gitter.....	168
5.6.3	Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten.....	169
5.6.4	Behandlung des Quellterms	169
5.6.5	Strömungsmodell(e).....	171
5.6.6	Ausbreitungsmodell	172
5.6.7	Dosisberechnung	175
5.7	LASAIR.....	177
5.7.1	Systemübersicht	177
5.7.2	Modellgebiete und verwendete(s) Gitter.....	179
5.7.3	Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten.....	180
5.7.4	Behandlung des Quellterms	180
5.7.5	Strömungsmodell(e).....	182
5.7.6	Ausbreitungsmodell	183
5.7.7	Dosisberechnung	186
5.7.8	Grafiken zur Anwendung von LASAIR.....	188
	Literaturverzeichnis.....	191

Abkürzungsverzeichnis	196
Abbildungsverzeichnis	198
Tabellenverzeichnis.....	204

1. EINLEITUNG

1.1 VORBEMERKUNGEN

Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 führte die Strahlenschutzkommission (SSK) im Auftrag des BMU mehrere Projekte im Umfeld der mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie in Deutschland verbundenen Risiken durch. Die Aufgabenstellung für die Arbeitsgruppe A510 („Erfahrungsrückfluss Fukushima“) bezog sich auf die nukleare Notfallvorsorge und Gefahrenabwehr. Zur Bearbeitung dieses Themas wurden sieben Teilbereiche und 42 Arbeitspakete eingerichtet. Der hier vorgelegte Abschlussbericht zum Arbeitspaket AP5500 befasst sich mit dem Themenkomplex Ausbreitungsmodelle, deren Ergebnisse eine wesentliche Grundlage bei der Ermittlung der radiologischen Lage im Ereignisfall bilden. Untersucht werden die Modelle, die aktuell im Rahmen des Notfallschutzes in Deutschland und in der Schweiz operationell eingesetzt werden (ABR, ADPIC, ARTM, LASAIR, LPDM, RODOS, SAFER). Die in diesem Bericht dokumentierten Ergebnisse bilden die Grundlage für das Thema Ausbreitungsrechnung in der SSK-Empfehlung zur „Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima“ (Abschnitt 5.5.4 in [1]).

Die Anregung für die Durchführung eines detaillierten Vergleichs aktueller Ausbreitungsmodelle entstand in den ersten Wochen und Monaten nach Fukushima. Diese erste Phase der Reaktorkatastrophe war gekennzeichnet durch eine hohe Unsicherheit bzgl. der Bewertung der radiologischen Lage und der damit verbundenen potentiellen gesundheitlichen Gefährdung der Bevölkerung in der Umgebung der Kernkraftwerke am Standort Daiichi. Auch nach den ersten tatsächlichen Freisetzungen in die Umgebung war es aufgrund der nur lückenhaft vorhandenen Umgebungsmessungen nur schwer möglich, eine verlässliche Diagnose der radiologischen Lage zu erstellen. Hinzu kam die Problematik, dass in diesem Zeitraum mit weiteren Freisetzungen gerechnet werden musste. Hierbei wurde auch der Zustand des Abklingbeckens von Block 4 bzgl. einer drohenden Freisetzung in die Bewertung einbezogen.

In Deutschland wurden Krisenstäbe einberufen, deren Aufgabe vor allem in der verlässlichen Information der Bevölkerung, insbesondere der Beratung der sich in Japan aufhaltenden Bundesbürger, bestand. Auch in einzelnen Bundesländern wurden eigene Informationsstellen eingerichtet. Eine zentrale Basis dieser Beratungstätigkeiten bildeten die von der GRS kontinuierlich aktualisierten Informationen zum Anlagenzustand. Beim BfS wurden auf Basis von Quelltermabschätzungen der GRS Ausbreitungsrechnungen durchgeführt, die dann zur Lagebewertung herangezogen wurden. Dabei wurden auch Rechnungen, die auf sehr hohen Freisetzungsmengen und ungünstigen meteorologischen Bedingungen basieren (z.B. Winddrehung in Richtung Tokio), durchgeführt. Beim DWD versuchte man parallel dazu, den globalen Transport der radioaktiven Stoffe mit Trajektorien vorherzusagen. Auf internationaler Ebene wurden bereits frühzeitig mehrere Ausbreitungsrechnungen im Internet publiziert (siehe z.B. [2], [3]). Die Ergebnisse der in Japan eingesetzten Ausbreitungsrechnungen wurden im Vergleich dazu aus deutscher Sicht erst vergleichsweise spät durch die Aufsichtsbehörde veröffentlicht. Allerdings wurde eine Quelltermabschätzung auf Basis der in Japan verwendeten Modelle (SPEEDI) zeitnah durchgeführt [4].

In Baden-Württemberg wurde .in den ersten Tagen des Unfalls der Standort Fukushima in das Programm ABR, welches in der KFÜ eingesetzt wird, integriert. Erste Ergebnisse auf Basis von Informationen aus Japan konnten intern ebenfalls zum Vergleich mit den Ergebnissen von GRS, BfS, KIT und den internationalen Arbeitsgruppen herangezogen werden. Von einer Veröffentlichung der Ergebnisse sah man zu diesem Zeitpunkt jedoch aus verschiedenen Gründen ab [5]. Mittlerweile stehen zahlreiche Publikationen mit Ausbreitungsrechnungen und Quelltermabschätzungen zur Verfügung (siehe hierzu die Referenzen in [1]).

In der ersten Phase des Unfalls ergab sich ein intensiver Informationsaustausch zwischen den Mitarbeitern der mit der Erstellung von Ausbreitungsrechnungen beteiligten Instituten und Behörden. Diese Zusammenarbeit führte zu einem ersten Treffen mit Beteiligung des BMU, des BfS, des UM Baden-Württemberg, der Universität Stuttgart, der GRS und dem DWD im UM Baden-Württemberg. Die im Nachhinein durchgeführten Vergleichsrechnungen und deren unterschiedliche Bewertung war der Ausgangspunkt für die Einrichtung der Unterarbeitsgruppe AP5500 der Arbeitsgruppe A510 der SSK. Dieser Bericht fasst die im Rahmen der Arbeitsgruppe erhaltenen Resultate zusammen.

1.2 EINSATZ VON ATMOSPHERISCHEN AUSBREITUNGSRECHNUNGEN IM RADIOLOGISCHEN NOTFALLSCHUTZ

Seit vielen Jahren stellen atmosphärische Ausbreitungsrechnungen eine zentrale Komponente im Umfeld des Betriebs kerntechnischer Anlagen sowie im radiologischen Notfallschutz dar. Im Routinebetrieb werden für die Umgebung von Kernkraftwerken die im Laufe eines Jahres abgeleiteten radioaktiven Stoffe bzgl. der möglichen radiologischen Auswirkungen mit Hilfe von Langzeitausbreitungsrechnungen abgeschätzt und bewertet. Das Ziel des Einsatzes von Ausbreitungsmodellen im kerntechnischen Notfallschutz liegt vor allem in

der möglichst realitätsnahen Ermittlung der radiologischen Lage im Fall eines Störfalls oder kerntechnischen Notfalls. Hierbei ist insbesondere die Vorhersage der zu erwartenden Dosis, auf deren Basis Katastrophenschutzmaßnahmen empfohlen werden, von zentraler Bedeutung. Zu nennen sind die Eingreifrichtwerte von 10 mSv effektive Dosis für die Maßnahmen „Aufenthalt im Gebäude“, 100 mSv effektive Dosis für die Maßnahme „Evakuierung“ des betroffenen Gebietes, sowie 50 mSv Schilddrüsendosis durch Inhalation von Radioiod (Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren sowie Schwangere) bzw. 250 mSv (Personen von 18 bis 45 Jahren) zur Empfehlung der Einnahme von Iodtabletten. Auch im Rahmen der Strahlenschutzvorsorge werden Ausbreitungsrechnungen für die Empfehlung oder Anordnung von Maßnahmen, wie z.B. Verzehrverbote, Handelsbeschränkungen oder die Vernichtung kontaminierter Lebensmittel, herangezogen.

Parallel zu den erheblichen Fortschritten bei der numerischen Wettervorhersage wurden auch die atmosphärischen Ausbreitungsmodelle immer weiter verbessert. Das betrifft sowohl die Modellierung der berücksichtigten physikalischen und chemischen Prozesse als auch die räumliche und zeitliche Auflösung der Modelle. So können auf heute verfügbaren Rechnersystemen recht komplexe Berechnungen innerhalb kurzer Zeit durchgeführt werden. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang auch die sich kontinuierlich weiterentwickelnde Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger meteorologischer Messdaten. Damit besteht auch die Möglichkeit, Ausbreitungsrechnungen bei der Bestimmung eines unbekanntem Emissionsorts (Rückwärtstrajektorie) sowie bei der Abschätzung der Freisetzungsmenge bei bekanntem Quellort einzusetzen. Hier zeigt sich aber, dass neben den grundlegenden physikalischen Problemen bei der Rückwärtsrechnung auch das Fehlen von experimentellen, d.h. unter definierten Bedingungen gewonnenen Messdaten für Schadstoffkonzentrationen in der Luft und am Boden problematisch ist. Das betrifft insbesondere den Bereich mittlerer Entfernungen vom Emissionsort (10-200km). Für diesen Anwendungsbereich erscheint die Untersuchung zu den Modellabhängigkeiten bei der Vorwärtsrechnung unerlässlich, denn diese sind unmittelbar in zu erwartende Unsicherheiten bei der Quelltermrekonstruktion zu übertragen.

Aufgrund der föderalen Struktur und der damit verbundenen spezifischen Verantwortlichkeiten der beteiligten Behörden und Firmen werden Ausbreitungsmodelle mit unterschiedlichen Schwerpunkten angewandt. Dies drückt sich durch die verwendete räumliche und zeitliche Auflösung, die berechneten Ergebnisparameter (z.B. Stoffkonzentrationen oder Dosisparameter) sowie die Implementierung der Algorithmen zur Beschreibung des Transportes in der Atmosphäre und der Dosisberechnung aus. Diese unterschiedlichen Schwerpunkte zeigen sich in den in diesem Vergleich beteiligten operationell eingesetzten Modellen. Man unterscheidet Gauß-Fahnenmodelle, Gauß-Wolkenmodelle (Puff-Modelle), Lagrange-Partikelmodelle, Euler'sche K-Modelle sowie sog. CFD-Modelle (eine Übersicht über die genannten Modellkategorien findet sich in zahlreichen Lehrbüchern, z.B. [6][7][8]). Die beiden letztgenannten Modelltypen sind im Vergleich nicht vertreten.

1.3 BETRACHTETE MODELLE UND ZIELE DES VERGLEICHS

In der Vergangenheit wurden bereits mehrmals Vergleiche von Ausbreitungsmodellen durchgeführt (siehe z.B. [9][10][11]). Auch auf internationaler Ebene finden sich seit vielen Jahren Bestrebungen zur Harmonisierung von Ausbreitungsmodellen [12]. Eine systematische Gegenüberstellung der aktuell produktiv in den Krisenstäben von Betreibern, Bund und Ländern eingesetzten Systeme liegt zurzeit jedoch nicht vor. Aufgrund der in den letzten Jahren erfolgten Weiterentwicklungen der Modelle sowie der deutlich gestiegenen Bedeutung der Modelle hinsichtlich ihrer Anwendung im Rahmen des radiologischen Notfallschutzes, erscheint die Durchführung einer erneuten Untersuchung sinnvoll.

Jedes der beteiligten Modelle (siehe Tabelle 1.3-1) wurde hinsichtlich seines jeweiligen Anwendungsbereichs optimiert. Das heißt, dass die zum Teil sehr komplexen Vorgänge durch unterschiedliche Modellannahmen beschrieben wurden, die sich unter Umständen in entsprechenden Unterschieden in den Ergebnissen fortpflanzen. Dies tritt insbesondere auf, wenn die Annahmen nicht durch die für eine spezielle Rechnung geltenden Ausbreitungsbedingungen erfüllt sind. Zentrale Zielsetzung des Vorhabens ist die Untersuchung zu den Gemeinsamkeiten und Unterschieden, die bei der Anwendung dieser Ausbreitungsmodelle zu erwarten sind. Vor allem bzgl. der Anwendung der Modelle im Notfallschutz erscheint die Abschätzung der Bandbreite der Modellergebnisse bzgl. der Richtwerte für Katastrophenschutz- oder Strahlenschutzvorsorgemaßnahmen notwendig.

In der ersten Projektphase wurde ein Fragenkatalog entwickelt, der die für den Vergleich relevanten Informationen tabellarisch zusammenfasst. Diese Übersicht beginnt mit einer Beschreibung der wichtigsten Eigenschaften und des Einsatzzwecks. Im Anschluss werden die räumliche und zeitliche Auflösung, die erforderlichen Anfangs- und Randbedingungen (inkl. verwendete Quellterme) zusammengestellt. Es folgen die wichtigsten Informationen zum eingesetzten Strömungsmodell, zur Umsetzung der Transportrechnung sowie zur Behandlung der Dosisberechnung. Die Dokumentation enthält dabei keine vollständige Beschreibung der zugrundeliegenden physikalischen und meteorologischen Prozesse. Diese sind nur kurz beschrieben und werden durch entsprechende Literaturverweise abgedeckt. Die von den Modellautoren selbst erstellten Modellbeschreibungen finden sich im Anhang an diesen Bericht (Kapitel 5).

Zur gezielten Untersuchung einzelner Aspekte der Modelle wurden verschiedene Vergleichsszenarien definiert (Kapitel 2). Die Ergebnisse der ebenfalls von den Modellautoren durchgeführten Rechnungen wurden dann mit zum Teil neu erstellten Auswerterroutinen einheitlich aufbereitet. Analysiert wurden Unterschiede, die aus der Verwendung verschiedener Modellparameter stammen sowie Abweichungen, die sich aus unterschiedlicher mathematischer Abbildung von physikalischen Prozessen ergeben. Für die definierten Szenarien wurden Vergleichsrechnungen nur für die Modelle durchgeführt, deren Anwendungsbereich das jeweilige Szenario abdeckt. So wurde aufgrund der starren Konfiguration der ADPIC-Software, die auf Simulationen für die Schweizer Kraftwerksstandorte begrenzt ist, auf die Durchführung von Modellrechnungen mit diesem Modell verzichtet. In der Vergangenheit wurden jedoch bereits mehrere interne Untersuchungen zum Vergleich zwischen ADPIC und der Baden-Württemberger KFÜ-ABR durchgeführt, wobei eine weitgehende Ähnlichkeit in den Ergebnissen festgestellt wurde [13]. Der Bericht schließt mit der Zusammenfassung der auf Basis der Ergebnisse abgeleiteten Empfehlungen für das weitere Vorgehen.

Die Hinzunahme eines weiteren Modells ist mit den im Rahmen dieses Projekts erstellten Methoden vergleichsweise einfach möglich. Das seit vielen Jahren eingesetzte LASAT [14] konnte aus Zeitgründen nicht mehr im Vergleich aufgenommen werden. Dies ist jedoch im Zuge der Integration von LASAT in JRODOS-System vorgesehen.

Tabelle 1.3-1 Beim Modellvergleich beteiligte Modelle bzw. Systeme.

Modell bzw. System	Typ	Einsatzschwerpunkt	Dokumentation
SAFER	Gauß-Fahnenmodell	Notfallschutz	Anhang 5.1 - SAFER
RODOS-System RIMPUFF ATSTEP DIPCOT	Simulationssystem mit Gauß-Puffmodell Gauß-Puffmodell Lagrange-Partikelmodell	Notfallschutz und Strahlenschutzvorsorge	Anhang 5.2- RODOS
KFÜ-ABR	Simulationssystem mit Lagrange-Partikelmodell	Notfallschutz	Anhang 5.3 - ABR
DWD-LPDM	Simulationssystem mit Lagrange-Partikelmodell	Weiträumiger Transport	Anhang 5.4 - LPDM
ADPIC	Simulationssystem mit Lagrange-Partikelmodell	Notfallschutz	Anhang 5.5 - ADPIC
ARTM	Simulationssystem mit Lagrange-Partikelmodell	Langzeitausbreitung	Anhang 5.6 - ARTM
LASAIR	Simulationssystem mit Lagrange-Partikelmodell	Nukleare Gefahrenabwehr; kleinräumiger Bereich	Anhang 5.7 - LASAIR

2 VERGLEICHSSZENARIEN

2.1 ÜBERSICHT

Zunächst werden Szenarien betrachtet, welche eine gezielte Untersuchung der Modelle einzelner Aspekte bei definierten Änderungen der Anfangs- und Randbedingungen erlauben. Das betrifft sowohl den Quellterm als auch die gewählten meteorologischen Bedingungen. Da die meteorologischen Anteile der Ausbreitungsmodelle den Schwerpunkt dieses Projekts bilden, wurde bzgl. des Quellterms beschlossen, nur die Freisetzung von Einzelnucliden mit konstanten Abgaberraten zu betrachten. Dadurch entfallen die Unterschiede in den Ergebnissen, die durch unterschiedliche Behandlung der Nuklidgemische in den verschiedenen Modellen verursacht werden. Unterschiede zwischen den Modellen bestehen dabei in der Anzahl der berücksichtigten Radionuklide sowie in der Modellierung von deren Zusammensetzung, die sich z.B. für bestimmte Unfallabläufe ergibt. Ferner werden der radioaktive Zerfall und die unter Umständen damit verbundene Änderung der Transporteigenschaften unterschiedlich behandelt. Durch die Einschränkung auf drei Nuklide lassen sich die Resultate der Dosisberechnungen einfacher miteinander vergleichen. Gleichwohl geben die Ergebnisse bereits eine gute Orientierung für die bei realen Quelltermen zu erwartenden Unterschiede.

Die betrachteten Szenarien lassen sich wie folgt charakterisieren:

- TYP E: Einfache meteorologische Bedingungen („Einfaches Szenario“)
 - E1: Konstante Emissionsrichtung bei konstanter Freisetzung über 2 Stunden und Variation der Stabilität sowie Einfluss von Niederschlag und Bodenrauigkeit
 - E2: Kontinuierliche Winddrehung bei laufender kontinuierlicher Freisetzung über 6 Stunden
 - E3: Künstliche Windscherungssituation bei laufender kontinuierlicher Freisetzung über 6 Stunden
- TYP R: Realistische meteorologische Bedingungen
 - R1: Untersuchung zum Modellverhalten bei komplexer, realistischer Meteorologie und kontinuierlicher Freisetzung sowie bei Verwendung von Gelände am Beispiel des Standorts Biblis bei einer typischen Wettersituation mit unterschiedlichen Strömungsrichtungen am Boden und in der Höhe.

Ursprünglich war vorgesehen, die Rechnungen mit möglichst ähnlichen Ansätzen für Modellparameter (z.B. nach [15]) durchzuführen. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass diese Forderung in einzelnen Modellen nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand umgesetzt werden könnte, weshalb sämtliche Rechnungen – sofern nicht anders dokumentiert – mit den Default-Parametrisierungen durchgeführt werden. Die Unterschiede sind in den enthaltenen Modellbeschreibungen bzw. bei der Diskussion der Ergebnisse dokumentiert.

Die ebenfalls ursprünglich vorgesehenen Rechnungen für den Standort Fukushima Daiichi sowie Rechnungen mit einem vollständigen Nuklidvektor wurden auf eine mögliche spätere Phase verschoben.

2.2 BETRACHTETE MODELLERGEBNISSE

Die Ergebnisse für die bodennahen Luftkonzentrationen und Depositionen stellen die wichtigsten Größen dieser Untersuchung dar. Zum Verständnis der Ergebnisse ist zudem die Dokumentation der bei den Rechnungen verwendeten Windfelder, insbesondere die vertikalen Windprofile am Quellort, für die Beispielszenarien erforderlich. Aus Sicht des Notfallschutzes und im Rahmen der Strahlenschutzvorsorge stellen jedoch die auf Basis der Konzentration und Deposition bestimmten Dosisgrößen die wichtigsten Parameter dar. Daher werden auch die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang wichtigsten Dosisgrößen zusammengestellt. Daraus lassen sich bereits erste Aussagen bzgl. der Übereinstimmungen oder Abweichungen bei der Anwendung der Modelle im Bereich des Katastrophenschutzes ableiten.

Im Einzelnen werden die folgenden Ergebnisse der Rechenmodelle für den Vergleich herangezogen:

- Ausgewählte Windfelder und vertikale Windprofile am Quellort
- Berechnete nuklidspezifische Immissionen (Xe133, I131, Cs137)
 - Konzentration der Nuklide in der bodennahen Schicht beim Durchzug der Wolke
 - Bodenkontamination (ohne Edelgas)
- Berechnete Dosis (nicht nuklidspezifisch; Personengruppe Erwachsene)
 - Gammastrahlendosis
 - Gammabodenstrahlung
 - Inhalation Schilddrüse (nur für I131)
 - Effektive Dosis
- Berechnete Gammastrahlendosisleistung

Neben zweidimensionalen Auswertungen werden auch Zeitverläufe an ausgewählten Punkten betrachtet, z.B. in 0, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75 und 100 km Entfernung zur Quelle in verschiedenen Richtungen (z.B. in 30°-Segmenten). Die Auswahl der Punkte hängt ab vom entsprechenden Szenario (im Fall E1 (s.u.) ist z.B. die Hauptwindrichtung ausreichend).

Zur Ergebnisaufbereitung wurden soweit möglich die üblichen Office-Produkte Excel und Word und für die graphische Darstellung allgemein zugängliche Programme eingesetzt. Aufgrund der umfangreichen Funktionalität wurde hierzu das Open-Source-Tool QGIS [16] ausgewählt.

2.2.1 Mengengerüst

Um einen Eindruck bzgl. der zu behandelten Datenmenge zu vermitteln, wird in diesem Abschnitt das Mengengerüst abgeschätzt. Zu berücksichtigen sind dabei:

- Die Anzahl von Szenarien,
- Die Anzahl von Modellen (ABR und ARTM werden hier doppelt gezählt, da die Auswertungen mit je zwei verschiedenen räumlichen Auflösungen durchgeführt werden)
- Die Anzahl von Parametern für die Darstellung, sowie
- Die Anzahl von Zeitschritten (E1: 6; E2: 12; E3:12; R1: 12)

Eine einfache Abschätzung ergibt die Zahl von ca. 5 000 auszuwertenden Ergebnisdateien. Im Projekt wurden am Ende jedoch deutlich mehr Dateien verarbeitet, was z.B. auf die separate Behandlung von organischem und elementarem Iod oder die Verwendung einer anderen Zeitauflösung in den Rechnungen von RODOS (zur Verfügung gestellt wurden z.T. 30-Minuten-Werte, die dann im Zuge der Datenaufbereitung auf Stundenwerte verdichtet wurden) zurückzuführen ist.

2.2.2 Auswerteverfahren

Aufgrund des oben erläuterten Umfangs der auszuwertenden Modellergebnisse ist der Einsatz eines automatisierten Auswerteverfahrens naheliegend. Hierdurch ergibt sich insbesondere die Möglichkeit, mit vertretbarem Aufwand weitere Modelle in den Vergleich aufzunehmen oder auch bestimmte Modifikationen an den bereits beteiligten Modellen bzgl. ihrer Auswirkungen auf die bisherigen Ergebnisse zu vergleichen.

Alle Modelle – mit Ausnahme von SAFER – stellen die Ergebnisse als zwei- bzw. dreidimensionale Felder zur Verfügung. Die grundlegende Idee besteht nun darin, die Modell-spezifischen Formate in ein einheitliches und idealerweise bereits durch Standard-GIS-Werkzeuge darstellbares offenes Format (hier gml (Geography markup language)) zu konvertieren. Der Einsatz eines GIS-Tools ist auch dahingehend empfehlenswert, da sich die Modelle auf zum Teil unterschiedliche geographische Koordinatensysteme beziehen und eine gemeinsame Darstellung der Ergebnisse ansonsten aufwändiger wäre. Zur Erzeugung der gml-Dateien wurden unterschiedliche Werkzeuge entwickelt und verwendet.

Tabelle 2.2-1 Verwendete Ausgabeformate und Koordinatensysteme der Modelle bzw. Systeme.

Modell	Format	Koordinatensystem
SAFER	pdf, bmp	Gauß-Krüger
ARTM	Dmna	Gauß-Krüger
ABR	Mesyst	Gauß-Krüger
ADPIC	ASCII-csv	Schweizer Landeskoordinaten
LASAIR	ASCII-csv	Gauß-Krüger
LPDM	GRIB	Rotiertes geografisches Koordinatensystem
RODOS	ASCII-csv	Gauß-Krüger

Die generierten gml-Dateien wurden via Skriptdateien für die verschiedenen Szenarien und Parameter zu QGIS-Projektdateien zusammengefasst. Die in diesem Bericht gezeigten Abbildungen stammen alle aus diesen Auswertungen.

Zum quantitativen Vergleich der Modellergebnisse sind Auswertungen in Form von Verlaufskurven besser geeignet. Hierzu wurden Excel-Sheets generiert, die die Modellergebnisse entlang vorgegebener Pfade (z.B. definiert durch die Hauptwindrichtung) aus den gml-Dateien als Tabellen zusammenstellen.

2.3 GRUNDLEGENDE ANNAHMEN FÜR ALLE RECHNUNGEN

Die folgende Tabelle fasst die bei allen Rechnungen verwendeten gemeinsamen Parameter zusammen. Für die Turbulenzparameter, Dosiskoeffizienten, Depositionsgeschwindigkeiten und Atemraten werden die Defaultparameter gemäß Dokumentation (siehe Anhang) verwendet bzw. falls möglich die Werte aus der AVV zu § 47 StrlSchV [15] bzw. den Störfallberechnungsgrundlagen [22]. Dies ist bei den Rechnungsergebnissen entsprechend vermerkt.

Tabelle 2.3-1 Grundlegende Annahmen für die Rechnungen

Größe	Werte
Modellgebietsgröße	Radius: 100 km (falls möglich)
Gelände	Ebene Topographie bei den einfachen Szenarien (E1-E3) und Geländeberücksichtigung (sofern in den Modellen realisiert) bei den realistischen Szenarien (R1)
Gebäudeeinfluss am Standort Quelltermüberhöhung	Wird nicht betrachtet
Aufenthaltsdauer	7 Tage
Verhältnis: elementares zu organisch gebundenem Iod	Je 50%
Simulationsbeginn	01.07.2012 08:00 Uhr bzw. 30.07.2013 00:00 Uhr (UTC) für R1
Simulationsdauer (so gewählt, dass die Fahne das Gebiet weitgehend verlassen hat)	E1: 6 h E2: 12 h E3: 12 h R1: 12 h
Zeitliche Auflösung	1 h

2.4 FREISETZUNG

Da sich diese Untersuchung auf die Freisetzung von Einzelnucliden beschränkt, sind keine weiteren Angaben zum Kerninventar oder zu den in einem speziellen Notfall gegebenen Freisetzungsfaktoren erforderlich. Die Nuklide entsprechen den üblicherweise verwendeten Leitnucliden. Sie werden jedoch als Einzelnuclide für die Dosisberechnung verwendet und es erfolgt kein Zuschlag für die anderen Nuklide in den Gruppen Edelgase, Iod, Schwebstoffe über modifizierte Dosiskoeffizienten.

Für alle Rechnungen ist Emissionsanfang gleich Rechnungsanfang. Emissionsort ist der Kamin (allerdings mit unterschiedlichen Höhen in den Szenarien). Zur Vereinfachung der Darstellung (insbesondere für den Vergleich der 2D-Ergebnisse) und zur Berücksichtigung des Geländes im Fall des Szenarios R1 wurde der

Standort Biblis ausgewählt (die reale Kaminhöhe von 96m wird allerdings nur im Fall realistischer Bedingungen (Szenario R1) verwendet). Eine effektive Quellüberhöhung wurde nicht unterstellt.

Tabelle 2.4-1 In den Szenarien verwendete Freisetzungen und Emissionsparameter

	E1	E2, E3	R1
Emissionsdaten:			
Emissionsdauer	2 h	6 h	6 h
Emissionshöhe	150 m	150 m	96 m
Freigesetzte Aktivität:			
Xe133	1E+17 Bq entspricht 0,5E+17 Bq/h	1E+17 Bq entspricht 0,167E+17 Bq/h	Wie E2/E3
Cs137	1E+13 Bq d.h. 0,5E13 Bq/h	1E+13 Bq d.h. 0,167E+13 Bq/h	Wie E2/E3
I131 -Gesamt	1E+14 Bq d.h. 0,5E+14 Bq/h	1E+14 Bq d.h. 0,167E+14 Bq/h	Wie E2/E3

2.5 METEOROLOGIE

2.5.1 Szenarien E1: Variation von Stabilität, Rauigkeit und Niederschlag bei konstanten Windverhältnissen

Im Rahmen der Typ E1-Szenarien werden über die gesamte Simulationsdauer konstante Windfeldverhältnisse angenommen. Unterschieden werden die meteorologischen Randbedingungen M1 bis M5, die sich durch die Wahl der Diffusionskategorie (gemäß der ‚klassischen‘ Einteilung in 6 Kategorien: A sehr labil, B labil, C labil bis neutral, D neutral bis stabil, E stabil, F sehr stabil) und im Einfluss des Niederschlags unterscheiden. Zusätzlich wird in einer Rechnung die Rauigkeitslänge variiert.

Tabelle 2.5-1 Meteorologische Randbedingungen für die E1-Szenarien

	M1	M2	M3	M4	M5
Windgeschwindigkeit in 10m Höhe	3 m/s				
Windrichtung in 10 m Höhe	135°	135°	135°	135°	135°
Diffusionskategorie	B	D	D	E	D
Niederschlag (Hier als konstant im gesamten Modellgebiet angenommen)	0 mm/h	0 mm/h	0 mm/h	0 mm/h	2 mm/h
Rauigkeitslänge im Modellgebiet	0,1 m	1,5 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m

2.5.2 Szenario E2M6: Winddrehung in Freisetzungsphase

Das Szenario E2M6 beschreibt die Situation einer kontinuierlichen Freisetzung über 6 Stunden in Verbindung mit einer gleichförmig laufenden Winddrehung um 180° bei konstanter Windgeschwindigkeit und Diffusionskategorie. Aufgrund der Verwendung von Stundenwerten wird diese Drehung in den Modellen stufenweise in 30°-Schritten wiedergegeben. Es gilt für alle Zeitschritte:

- Windgeschwindigkeit in 150 m Höhe: 5m/s
- Rauigkeitslänge: 0,1 m
- Niederschlag: 0 mm/h
- Diffusionskategorie D

Als Zeitpunkt des Freisetzungsbegins wurde der 01.07.2012 08:00 festgelegt. Die Rechnungen sollen über einen Zeitraum von 12 Stunden durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Wolke das Modellgebiet bei Rechnungsende verlassen hat. Die Winddrehung erfolgt wie in Tabelle 2.5-2 dargestellt (die Werte beziehen sich auf die ganze folgende Stunde).

Tabelle 2.5-2 Verlauf der Winddrehung für E2M6

Zeitschritt, Uhrzeiten in UTC	Windrichtung 150 m Höhe
01.07.2012 08:00	180°
01.07.2012 09:00	210°
01.07.2012 10:00	240°
01.07.2012 11:00	270°
01.07.2012 12:00	300°
01.07.2012 13:00	330°
01.07.2012 14:00 - 01.07.2012 20:00	0°

2.5.3 Szenario E3M7: Konstante Windscherung

Das Szenario E3 beschreibt in Verbindung mit der Meteorologie M7 die Situation einer für die atmosphärische Grenzschicht typische Windscherung im Modellgebiet, die hier als zeitlich konstant über dem gesamten Modellgebiet angenommen wird. Diese Randbedingung wird natürlich kaum in der Realität zu beobachten sein. Der Einfachheit halber bleibt der Simulationsbeginn im Vergleich zu E2 unverändert, obwohl eine wie hier beschriebene Situation eher abends/nachts in Verbindung mit einer stabilen Schichtung zu erwarten ist.

Es gilt für alle Zeitschritte:

- 10 m Höhe: Windgeschwindigkeit: 2 m/s, Windrichtung 180°
- 150 m Höhe: Windgeschwindigkeit: 5 m/s, Windrichtung 220°
- Rauigkeitslänge: 0,1 m
- Niederschlag: 0 mm/h
- Diffusionskategorie E

2.5.4 Szenario R1: Reale Wettersituation mit Drehung und Scherung im mittleren Rheingraben

Bei diesen Rechnungen sollen als Erweiterung des zuvor definierten Szenarios E3M7 realistische meteorologische Bedingungen bei einer für den Standort Biblis häufig vorkommenden Situation einer Windscherung zwischen einer Strömung in nördlicher Richtung im Rheintal und einer höher überlagerten Strömung nach Nordost bis Ost verwendet werden. Zusätzlich soll der Einfluss der Orographie betrachtet werden. Auch eine separate Betrachtung von nasser und trockener Deposition ist vorgesehen.

Die Basis für die durchzuführenden Rechnungen bildet für die Wettervorhersage des DWD mit COSMO-DE vom 30.07.2013 00:00UTC, die im Detail in Kapitel 3.8 beschrieben wird. Die Wetterlage weist vor allem in der Emissionsphase eine starke Windscherung aus mit einer in der Höhe vorherrschenden Westwindströmung und einem durchziehenden Niederschlagsgebiet. Die verwendete Freisetzung ist analog zu E2/E3 bis auf die nunmehr reale Kaminhöhe am Standort Biblis.

3 ERGEBNISSE

3.1 VORBEMERKUNGEN

Vor der Zusammenstellung und Diskussion der Ergebnisse soll zunächst die verwendete Vorgehensweise und die Auswahl der vorgestellten Ergebnisparameter erläutert werden. Die Szenarien E1M1-E1M5, E2M6, E3M7 basieren auf vergleichsweise einfachen und für das gesamte Modellgebiet homogenen meteorologischen Randbedingungen. Windrichtung und Windgeschwindigkeit werden hier nur für eine bzw. zwei (E3M7) verschiedene Höhen über Grund vorgegeben. Bzgl. der Beschreibung der Wettersituation sind daher zunächst Unterschiede aufgrund der verschiedenen Ansätze für die Modellierung der Windfelder zu erwarten, weshalb die vertikalen Windprofile der Modelle zu Beginn der Auswertungen gegenübergestellt werden. Diese Ergebnisse sind für die weitere Interpretation der radiologischen Parameter besonders wichtig, da sie den advektiven Anteil der Ausbreitung beschreiben. Eine am Boden geringere Windgeschwindigkeit bedeutet ferner eine längere Zeitspanne für die vertikale und laterale Ausbreitung durch turbulente Diffusion sowie eine zeitlich längere Exposition und hat daher unmittelbare Auswirkungen auf die Dosis. Neben dem starken Einfluss der Diffusionskategorie auf die Windprofile, wird sich deren Einfluss vor allem über die unterschiedliche Umsetzung des turbulenten Transports in den Ergebnissen der radiologischen Parameter bemerkbar machen, z.B. durch unterschiedliche Fahnenformen.

Wegen der hohen Anzahl von Ergebnissen ist eine Einschränkung auf ausgewählte und möglichst repräsentative Teilergebnisse erforderlich: So beziehen sich die diskutierten Ergebnisse vorrangig auf die zeitlich integrierten bzw. gemittelten Größen. Detaillierte Ergebnisse zur Untersuchung der Zeitabhängigkeit liegen ebenfalls vor, die vollständige Diskussion dieser Resultate würde jedoch den Rahmen dieses Berichts sprengen, auch wenn sich hier durchaus interessante Resultate (z.B. unterschiedliche Reisegeschwindigkeiten der Wolken) zeigen. Durch die vorrangige Verwendung der dosisrelevanten zeitintegrierten Aktivitätskonzentrationen wird auch ein Vergleich mit SAFER möglich, wobei zu beachten ist, dass die in SAFER angegebenen Ergebnisse für die Aktivitätskonzentration die in der Rechnung verwendete Transportdauer enthalten. Da die Partikelmodelle bereits mittlere Konzentrationen pro Zeitschritt verwenden, kann die Zeitintegration hier durch Summation über alle Zeitschritte umgesetzt werden.

Nicht jedes Modell stellt diese Daten in den gespeicherten Ergebnisdateien zur Verfügung (LASAIR, ARTM). Für den Vergleich mit ARTM musste ein hier nicht näher beschriebenes Verfahren zur Extraktion der einzelnen Zeitschritte entwickelt werden. Beim RODOS-System ist darauf zu achten, dass die zeitintegrierten Werte (im System mit ‚tic‘ für ‚time integrated values‘ bezeichnet) und nicht die bei der Darstellung von Zeitverläufen oftmals gezeigten Momentanwerte verwendet werden. Sofern die Zeitabhängigkeit untersucht wird, werden ausschließlich Stundenmittelwerte betrachtet. Die einzelnen Zeitschritte aus RODOS wurden durch Differenzbildung der benachbarten Zeitschritte der zeitintegrierten Werte bestimmt.

Bei den Depositionen wird analog zur Konzentration hauptsächlich die Gesamtdeposition betrachtet. Die Zeitabhängigkeit bei der Ablagerung aufgrund einer komplexeren Wettersituation wird nur im Szenario R1 betrachtet. Die Diskussion der Dosisparameter beschränkt sich generell auf die integrierten Werte.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Auswahl von Parametern für die zweidimensionale Darstellung. Da die Verteilung der Ergebnisse in der Fläche vom Verlauf her ähnlich ist, werden für Konzentration und Deposition nur jeweils Ergebnisse für ein Nuklid als Fläche dargestellt. Ausgewählt wurden die bodennahe Luftaktivitätskonzentration von Xe133 und die Deposition von elementarem I131 (der Anteil von organisch gebundenem I131 ist aufgrund der geringen Ablagerungsgeschwindigkeit deutlich kleiner und daher nicht zusätzlich dargestellt). Zur Begründung dieses Vorgehens wird für das Szenario E1M1 auch die Luftkonzentration von Cs137 angegeben. Aufgrund der für den Katastrophenschutz besonderen Bedeutung werden die effektive Dosis sowie die Schilddrüseninhalationsdosis (allerdings für die Personengruppe Erwachsene) gezeigt,

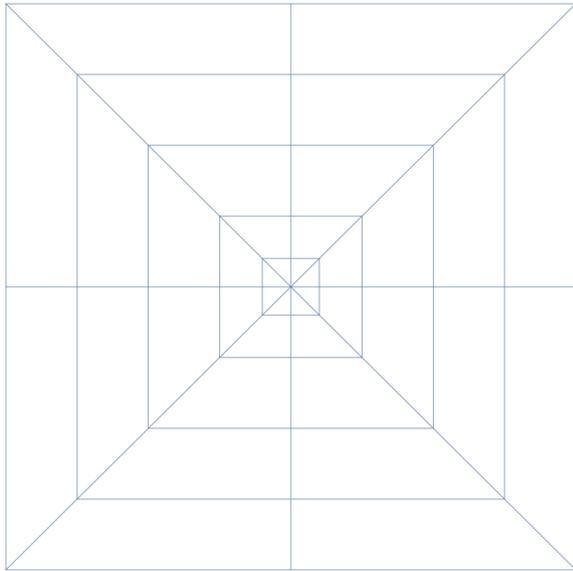


Abbildung 3.1-1: Bei den 2D-Darstellungen hinterlegtes Raster. Zur Orientierung eingezeichnet sind die Abstände 10, 25, 50, 75, 100 km sowie die Richtungen von 0° bis 315° in 45° Schritten.

wobei zu beachten ist, dass die berechneten Dosiswerte nur auf drei Einzelnukliden basieren. Bei der Flächendarstellung sind je nach Szenario sowohl die Gesamtfahne (d.h. ca. 100x100 km²) als auch der Bereich in Quellnähe gezeigt. Zur besseren Orientierung ist ein quadratisches Raster mit Abständen von 10, 25, 50, 75 und 100 km zur Quelle hinterlegt (siehe Abbildung 3.1-1).

Alle in Kapitel 2 benannten Parameter werden als Verlaufskurven entlang definierter Szenario-abhängiger Achsen dargestellt, womit sich dann die Modellunterschiede für alle betrachteten Observablen auch quantitativ dokumentieren lassen. Die Farbzuordnung der Diagramme ist einheitlich über den gesamten Bericht und in Abbildung 3.1-2 dargestellt.

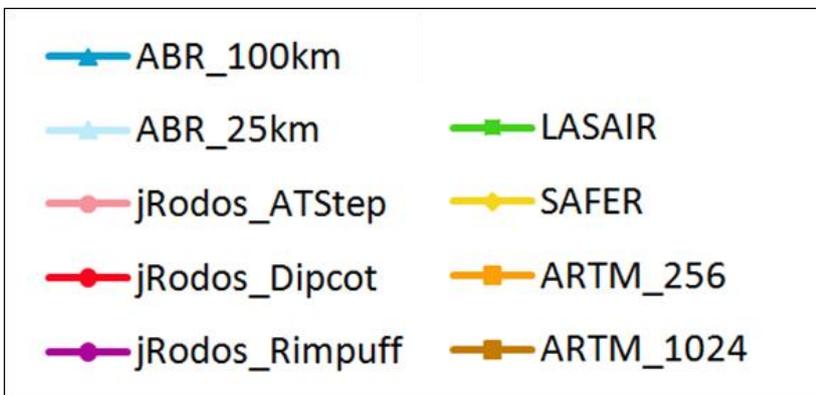


Abbildung 3.1-2: Zuordnung von Farben und Symbolen für die Kurvendarstellungen in diesem Bericht (Szenarien E1M1-E2M6).

3.1.1 Rolle der räumlichen und zeitlichen Auflösung

Die vorgestellten Ergebnisse der Modelle beziehen sich auf die in den Rechnungen verwendete räumliche und – sofern man auch die Zeitabhängigkeit betrachtet – zeitliche Auflösung. Bzgl. der räumlichen Auflösung und in der Größe des Rechengebiets unterscheiden sich die Modelle zum Teil recht stark. Allein aus der Geometrie des verwendeten Gitters lassen sich bereits große Unterschiede – vor allem in Quellnähe – erwarten, denn die Ergebnisse stellen letztlich Mittelwerte für die entsprechende Masche dar. Zur Abschätzung des Einflusses der Maschenweite werden daher bei den Modellen ABR und ARTM für jedes Szenario zwei unterschiedliche Rechnungen mit jeweils ähnlicher Auflösung betrachtet (mit jeweils ca. 200 bzw. ca. 1 000 m Maschenweite).

Im RODOS-System wird von vorneherein ein geschachteltes Gitter verwendet, dessen (horizontale) Auflösung mit zunehmender Entfernung vom Emissionsort stufenweise reduziert wird. Bei den LASAIR-Ergebnissen liegt die von allen Modellen höchste horizontale Auflösung vor. Die LPDM-Rechnungen basieren auf

dem größten Modellgebiet und haben naturgemäß auch die größte räumliche Auflösung, die hier derjenigen der zugrundeliegenden Wettervorhersage mit COSMO-DE entspricht. Das SAFER-System gibt die Ergebnisse nur Sektor-spezifisch an, weshalb auf eine 2D-Darstellung der SAFER-Ergebnisse verzichtet wird. Für eine genauere Analyse der Unterschiede in Quellnähe müssten die Ergebnisse streng genommen jeweils auf ein gemeinsames Referenzvolumen gemittelt werden, das mindestens der Maschengröße des Modells mit der größten Auflösung entspricht. Aus Zeitgründen wurde jedoch hierauf verzichtet.

Tabelle 3.1-1 In diesem Bericht verwendete Nomenklatur der ABR und ARTM-Rechnungen

Bezeichnung Modellrechnung	Auflösung	Gebietsgröße
ABR25	200x200 m ²	50x50 km ²
ABR100	1x1 km ²	200x200 km ²
ARTM256	256x256 m ²	51,2x51,2 km ²
ARTM1024	1024x1024 m ²	204,8x204,8 km ²

Auch die vertikale Auflösung ist in den Modellen recht unterschiedlich. Die Anzahl von Schichten variiert zwischen 10 (RODOS), 19 (ARTM, LASAIR), 25 (ABR) und 51 (COSMO-DE/LPDM), wobei die maximale Höhe mit Ausnahme der DWD-Modelle auf den unteren Bereich der Atmosphäre (Grenzschichthöhe) beschränkt ist.

Bei der Betrachtung der zeitlichen Auflösung (im Modell SAFER sind die Zeitabhängigkeiten bereits heraus integriert) wurde der Vergleich auf Basis von Stundenwerten durchgeführt. Die zum Teil mit Zehnminuten- und Halbstundenwerten zur Verfügung gestellten Ergebnisse wurden dazu – sofern erforderlich – bei der Auswertung auf Stundenintervalle gemittelt.

3.2 SZENARIO E1M1: MÄSSIG LABILE SCHICHTUNG DER ATMOSPHERE

Zunächst wird eine durch die Diffusionskategorie B beschriebene mäßig labile Schichtung der Atmosphäre betrachtet. Hier ist ein starker Einfluss der turbulenten Diffusion zu erwarten, was im Ergebnis zu breiten Fahnen und nah am Emissionsort liegenden Maximalwerten führen sollte.

3.2.1 Windprofil

Neben dem Einfluss auf die turbulente Ausbreitung wirkt sich die Stabilität vor allem auf die Gestalt des vertikalen Windprofils aus. Bei Hindernissen oder stark strukturiertem Gelände resultiert hieraus insbesondere auch die Gestalt des horizontalen Windfeldes (Umströmen bei stabilen Lagen bzw. Überströmen bei labilen Situationen). Abbildung 3.2-1 zeigt die vertikalen Geschwindigkeitsprofile der Systeme ABR, ARTM und RODOS am Emissionsstandort. Das in LASAIR integrierte Windfeldmodell ist identisch zu demjenigen von ARTM und daher nicht separat gezeigt. RODOS und ABR verhalten sich mit Ausnahme des Bereichs niedriger Höhen (die niedrigste Schicht in RODOS bezieht sich auf 25m über Grund) ähnlich. Das in ARTM verwendete Profil stimmt hingegen nur in Bodennähe (wie aus den Randbedingungen gefordert) mit den anderen Modellen überein. In größeren Höhen werden hier deutlich niedrigere Windgeschwindigkeiten vorhergesagt. Da die Freisetzung in einer Höhe von 150 m erfolgt, sind für dieses Szenario deutliche Unterschiede vor allem bzgl. des Zeitverhaltens zwischen RODOS und ABR einerseits und ARTM andererseits zu erwarten.

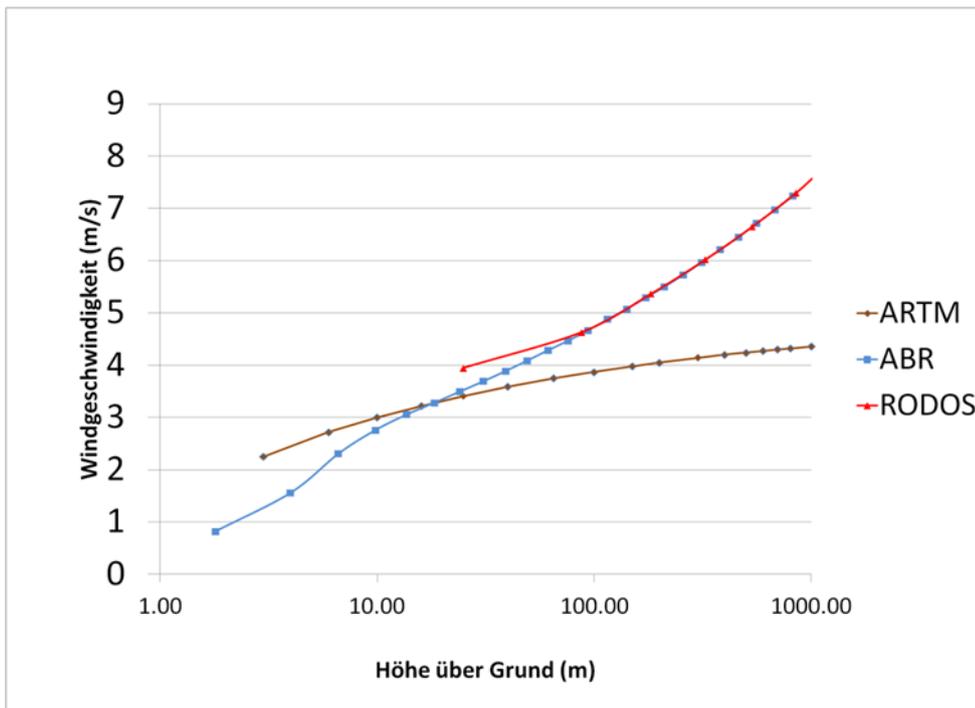


Abbildung 3.2-1: Windgeschwindigkeitsprofile der betrachteten Modelle aus RODOS, ABR, ARTM für das Szenario E1M1. Das Windfeld in LASAIR ist identisch zu ARTM und daher nicht gezeigt.

3.2.2 Bodennahe Konzentrationen

Zur Begründung der oben erwähnten Beschränkung der Darstellungen auf ein Radionuklid sind in den folgenden Abbildungen 3.2-2 bis 3.2-5 die bodennahen Luftkonzentrationen der Radionuklide Cs137 und Xe133 dargestellt. Im oberen Teil der Abbildungen ist der Gebietsausschnitt mit ca. 100x100 km² für Gebietsausschnitte von ca. 100x100 km² und 25x25 km² gezeigt. Bei den Modellen ABR und ARTM ist im größeren Gebietsausschnitt die Rechnung mit der größten Maschenweite dargestellt. In den Abbildungen mit dem kleineren Gebietsausschnitt ist bei diesen Modellen die Rechnung mit 200x200m² (ABR) bzw. 256x256m² (ARTM) abgebildet. Wie man sofort erkennt, ist die Form der Fahnen für Edelgase und Aerosole fast identisch und skaliert wie erwartet linear mit der Freisetzungsmenge (Verhältnis ca. 1:10 000). Im Detail ergeben sich Unterschiede durch die Abreicherungen, die jedoch im hier verwendeten Maßstab nicht zu erkennen sind. In den folgenden Szenarien ist die Situation analog, weshalb ab sofort nur noch die Konzentration des Xe133 als 2D-Plot dargestellt wird.

Folgende Punkte sind festzuhalten:

- Qualitativ sind die Ergebnisse für alle Modelle bei diesem Szenario sehr ähnlich, insbesondere in dem für den Katastrophenschutz besonders wichtigen Bereich zwischen 2 und 25 km. Deutliche Unterschiede sind nur in größeren Entfernungen sowie in unmittelbarer Quellnähe festzustellen. Hier variieren die Ergebnisse zum Teil um mehr als eine Größenordnung.
- Die Ergebnisse in ABR und ARTM mit den geringeren Maschenweiten gehen im äußeren Bereich stetig in die Ergebnisse der Rechnungen mit den größeren Maschenweiten (ca. 1 km Auflösung) über, was letztlich eine Legitimation zur Verwendung von ‚nested grids‘ – zumindest für ebenes Gelände und konstante meteorologische Bedingungen – darstellt. Im Nahbereich weichen die Ergebnisse jedoch aufgrund der unterschiedlichen Auflösung voneinander ab. Quantitativ kann man das an den Verlaufskurven aus Abbildung 3.2-12 (Grafiken für summierte bodennahe Aktivitätskonzentrationen) ablesen. Wie erwartet zeigen dort die höher aufgelösten Modelle größere Werte für die Observablen in Quellnähe. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen desselben Modells (ABR oder ARTM) mit verschiedener Maschenweite liegen teilweise sogar in der Größenordnung der Unterschiede zwischen den Vorhersagen aller untersuchten Modelle. Die zum Teil konstanten Werte bei kleinen Abständen (ARTM1024 bei 0 und 1 km und ABR100 bei 1 und 2 km) kommen daher, dass in diesen Abständen die jeweils gleiche Masche getroffen wird. Hieraus erkennt man deutlich die unterschiedlichen Gitterdefinitionen: Während sich bei der ABR in den Vergleichsrechnungen der Maschenmittelpunkt am Emissionsort befindet, ist in den anderen Modellen dort die zentrale Maschengrenze (zurückgehend auf die Wahl der Koordinatensysteme mit der Quelle im Koordinatenursprung

und der Verwendung einer geraden bzw. ungeraden Maschenanzahl). Im Grunde genommen ist für die Modelle, bei denen sich am Emissionsort eine Maschengrenze befindet, keine eindeutige Zuordnung möglich. In den gezeigten Verlaufskurven wurde hier die benachbarte Masche in Emissionsrichtung ausgewählt. Die hier beobachteten ‚Plateaus‘ werden sich in Quellnähe natürlich auch in den anderen Szenarien ergeben und sollten nicht überbewertet werden.

- Die ABR liefert in der Regel die breiteren Fahnen. Verglichen mit den anderen Modellen sind in Quellnähe auch höhere Werte festzustellen, während die Verlaufskurven in weiterer Entfernung kleinere Werte anzeigen. Die ABR-Fahne hat das Modellgebiet im Unterschied zu ARTM (s.u.) bereits nach 6 Zeitschritten verlassen.
- Das Fahnenmodell SAFER (für welches keine 2D-Verteilungen vorliegen) zeigt zu den anderen Modellen ähnliche Ergebnisse. Die Abweichungen liegen in derselben Größenordnung wie die Unterschiede zwischen den anderen Modellen.
- Bei ARTM hat die Fahne nach den betrachteten 6 Zeitschritten den Rand des Modellgebiets noch nicht erreicht. Dieses Verhalten ist eine unmittelbare Folge aus dem Windprofil. Ansonsten zeigt ARTM in diesem Szenario gemeinsam mit LASAIR die schmalste Fahne (sofern man auch den äußeren Bereich mit niedrigen Werten berücksichtigt).
- Die Ergebnisse für die RODOS-Modelle sind in Verlauf und Fahnenform sehr ähnlich. Zu beachten ist, dass die sehr kleinen Werte für die RIMPUFF-Ergebnisse künstlich auf null gesetzt werden. Die optisch im Vergleich zu ATSTEP und DIPCOT schmalere Fahne hat also keine physikalische Ursache.

Die Beobachtung der größeren Fahnenbreiten bei der ABR zieht sich durchgängig durch die Ergebnisse dieses Berichts. Die Unterschiede gehen in erster Linie auf die verwendete Turbulenzparametrisierung zurück.

3.2.3 Deposition

Bei den Ergebnissen für die Deposition ist die Situation bzgl. der Abhängigkeit vom Radionuklid ähnlich (mit Ausnahme des weiter unten diskutierten Unterschiedes beim Cs137 in den LASAIR-Rechnungen). Daher sind hier und im Folgenden nur die Depositionsergebnisse eines Nuklids (I131) als Flächendarstellung gezeigt. Auf eine Flächendarstellung wird jedoch aufgrund der besonderen Bedeutung der Deposition bei der Ermittlung der radiologischen Lage nicht völlig verzichtet, zumal die Modelle bei der Ablagerung zum Teil deutlich unterschiedliche Depositionsgeschwindigkeiten verwenden. Zur Übersicht sind in der folgenden Tabelle 3.2-1 die in den Modellen im Rahmen der Vergleichsrechnungen verwendeten Werte für die Depositionsgeschwindigkeit in m/s zusammengefasst (siehe Anhänge zu den Modellbeschreibungen). In den im RODOS-System integrierten Modellen werden die Depositionsgeschwindigkeiten aus den atmosphärischen und den oberflächenspezifischen Widerständen für turbulenten Transport berechnet. Damit sind die im System verwendeten Werte abhängig von der Diffusionskategorie (sowie auch von der Bodenbeschaffenheit; diese wird jedoch in den durchgeführten Rechnungen nicht variiert).

Tabelle 3.2-1 Depositionsgeschwindigkeiten in m/s in den verschiedenen Modellen. Die Angaben für LASAIR werden aufgrund des dort verwendeten zusätzlichen Sedimentationsprozesses und der im Vergleich zu den anderen Modellen unterschiedlichen Korngrößenverteilungen weiter unten beschrieben

	ABR	RODOS (mittlere Werte für Rasen)	ARTM	SAFER	LPDM
Iod elementar	1E-2	0,54E-2 (A-D) 0,36E-2 (E-F)	1E-2	1E-2	1E-2
Iod organisch	1E-4	0,54E-4 (A-D) 0,36E-4 (E-F)	1E-4	1E-4	5E-4
Aerosole	1,5E-3	0,7E-3 (A-D) 0,65E-3 (E-F) (5E-4 bei M2)	1E-3	1,5E-3	1,5E-3

Damit ist zu erwarten, dass die Depositionsergebnisse bei den RODOS-Modellen bei gleicher Konzentration systematisch etwas kleiner sind als in den anderen Modellen. Bei den Aerosolen sollte sich bei der ABR die

größte Deposition ergeben, was sich dann entsprechend linear in die weiter unten diskutierte Bodendosis fortpflanzt. Beim Iod sollten die Modelle ARTM, SAFER, LPDM und ABR ähnliche Depositionsergebnisse zeigen, sofern die Konzentrationen vergleichbar sind. Es ist festzuhalten, dass die durch die Verwendung unterschiedlicher Depositionsgeschwindigkeiten entstehende Bandbreite der Modellergebnisse bei der Deposition mehr als einen Faktor zwei beträgt. Diese Unsicherheit wäre natürlich auch bei der Verwendung von Kontaminationsmessungen zur Quelltermrekonstruktion mit Ausbreitungsmodellen zu beachten.

In Abbildung 3.2-6 und Abbildung 3.2-7 sind nun die Ergebnisse für die Iod-Deposition und in Abbildung 3.2-12 (rechts oben) die Ergebnisse entlang der Ausbreitungsrichtung für Iod und Cäsium gezeigt. Der Verlauf der Deposition ist wie erwartet sehr ähnlich zu den bodennahen Konzentrationen. Die Verlaufskurven bestätigen die aus den unterschiedlichen Depositionsgeschwindigkeiten zu erwartenden Unterschiede. Betrachtet man die Kurven bzgl. des Verhaltens von LASAIR so fällt sofort die von diesem System vorhergesagte wesentlich höhere trockene Deposition beim Cs137 auf. Das ist zunächst überraschend, da die zugehörige bodennahe Konzentration einen ähnlichen Verlauf wie die anderen Modelle besitzt (Abbildung 3.2-12 oben links). Die Deposition des I131 ist hingegen vergleichbar mit den anderen Modellen. Dieser Sachverhalt wird im folgenden Abschnitt diskutiert.

3.2.4 Bemerkungen zu den Ergebnissen von LASAIR bei trockener Deposition

Partikelmodelle wie LASAIR berechnen die Konzentration in einer Zelle des Auszählgitters, in dem sie die Aufenthaltszeiten der einzelnen Simulationsteilchen aufaddieren. Unter der Annahme, dass jedes Simulationsteilchen eine definierte Schadstoffmenge repräsentiert, kann man daraus die luftgetragene Schadstoffkonzentration berechnen. Bei der Berechnung der trockenen Deposition wird bei LASAIR angenommen, dass ein Simulationsteilchen bei Bodenberührung zurück in die Luft reflektiert wird. Allerdings gibt das Simulationsteilchen bei Bodenberührung einen Teil des Schadstoffs an den Boden ab und verursacht damit trockene Ablagerung; der Rest bleibt auf dem sich weiter in der Luft bewegenden Simulationsteilchen. Die LASAIR-Rechnungen wurden mit dem in der folgenden Tabelle angegebenen Partikelgrößenspektrum (erste und zweite Spalte) durchgeführt. Die anderen Modellrechnungen verwendeten einheitlich Korngrößen kleiner als 2,5 µm. Die Tabelle enthält zusätzlich noch die Depositionsgeschwindigkeiten sowie die Sedimentationsgeschwindigkeiten (diese beschreibt das gravitative Absinken) für die vier Partikelgrößensklassen (siehe hierzu Dokumentation von ARTM im Anhang).

Tabelle 3.2-2 Übersicht über die zum Partikelgrößensbereich gehörenden Depositionsparameter.

Partikelgrößensbereich in µm	Massenanteil in %	Depositionsgeschwindigkeit v_d in m/s	Sedimentationsgeschwindigkeit v_s in m/s
0 ... 2,5	20	0,001	0,00
2,50 ... 10	40	0,01	0,00
10 ... 50	20	0,05	0,04
> 50	20	0,2	0,15

Ähnlich zu den anderen Modellen zeigen die Ergebnisse von LASAIR für labile und neutrale Situationen (siehe die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Ergebnisse zu Szenario E1M2, E1M3) eine vergleichbare Konzentration in Bodennähe. Auch die Deposition des I131 ist vergleichbar und entspricht dem erwarteten Verhalten. Bei der Ablagerung des Cs137 zeigt sich jedoch ein signifikanter Unterschied, der sich für diese atmosphärischen Bedingungen qualitativ anhand der oben erläuterten Konfiguration der Rechnung verstehen lässt, wenn man den einfachen Zusammenhang zwischen Konzentration c und Deposition $d = c \cdot v_d$ in Verbindung mit den Zahlenwerten der obigen Tabelle annimmt. Zum genaueren Verständnis ist jedoch zu beachten, dass bei LASAIR auch die Deposition aus höheren Schichten möglich ist und ferner bei den Aerosolen ein deutlicher Beitrag aus der in den anderen Modellen nicht betrachteten Sedimentation erfolgt.

Der Depositionsansatz bei LASAIR führt in Verbindung mit dem verwendeten Partikelspektrum bei stabiler Schichtung zu einem im Vergleich zu den anderen Modellen deutlich unterschiedlichen Ergebnis. Bei Freisetzung eines solchen Partikelgrößenspektrums bei stabiler Schichtung in 150 m Höhe (vgl. Szenario E1M4) treten folgende Effekte auf:

- Aufgrund der stabilen Schichtung gibt es nur wenig Turbulenz, die die Partikel schnell bis in Bodennähe transportieren könnte. Dies trifft besonders für Partikel in den Größensbereichen 0 bis 2,5 µm

und 2,5 bis 10 µm zu, bei denen die Sinkgeschwindigkeit 0 m/s beträgt, d.h. kein gravitatives Absinken auftritt.

- Größere und schwerere Partikel mit Sinkgeschwindigkeit größer Null bewegen sich infolge gravitativen Absinkens mehr oder weniger schnell zum Erdboden. Bei Partikeln mit einem Durchmesser von mehr als 50 µm ist vorstellbar, dass diese sehr schnell nach unten sinken und z.B. von oberhalb einer bodennahen Zelle des Auszählgitters während eines Zeitschritts direkt zum Erdboden transportiert werden, ohne dass registriert wird, dass das Simulationsteilchen diese bodennahe Zelle durchquert hat.

Auf diese Weise können sogar Situationen entstehen, bei denen das Modell trocken am Boden deponiertes aerosolförmiges Material berechnet, aber in der unmittelbar darüber liegenden bodennahen Zelle des Auszählgitters keine Luftschadstoffkonzentration auftritt. Diese Besonderheit ist beim Vergleich von Modellvorhersagen mit gemessenen Daten für Luftkonzentrationen zu beachten (Messgeräte würden hier natürlich auch die sedimentierten Aerosole registrieren). Genau dieser Sachverhalt wird bei den Ergebnissen für stabile Schichtung (E1M4) auftreten.

Zum genauen Verständnis der Resultate ist ferner noch folgende – rein implementierungstechnische – Besonderheit zu beachten. Aus historischen Gründen (Rechenzeit von Laptops zur Zeit der Realisierung von LASAIR im Jahre 2001) sind die Algorithmen in LASAIR auf geringe Rechenzeit ausgerichtet. Da LASAIR zur damaligen Zeit primär die Inhalationsdosis als Entscheidungshilfe nutzte, wurde auf die Berechnung von redundanter Information verzichtet. Zur Berechnung von Aktivität und Inhalationsdosis in LASAIR wird daher nur die Summe von Gas, PM1 (AED 0 - 2,5 µm) und PM2 (AED 2,5 - 10 µm) als lungengängige Stoffe verwendet; die Deposition sowie die aus Gammastrahlung resultierenden Anteile der sonstigen Dosisparameter werden hingegen aus der Gesamtkonzentration berechnet. Wegen dieser LASAIR-Besonderheit werden also bei dem zur Diskussion stehenden Fall in Quellnähe keine Aktivitätskonzentrationen beobachtet (bzw. ausgegeben). Die größeren Partikel mit höheren Sinkraten würden eine Aktivitätskonzentration in Quellnähe ergeben und erzeugen die Deposition, werden aber als Aktivitätskonzentration nicht ausgegeben. Gas-, PM1- und PM2-Konzentrationen dringen wegen der geringen Turbulenz erst in größerer Entfernung in bodennahe Schichten vor und erzeugen dann die beobachtete Aktivität.

Die in diesem Modellvergleich durchgeführten LASAIR-Rechnungen verwenden die Standardkonfiguration der Korngrößenverteilungen des Systems, die für den Anwendungsbereich des Systems korrekt und sinnvoll ist. Es wäre natürlich möglich, die LASAIR-Rechnungen mit gleichen Annahmen für die Korngrößen der Aerosole durchzuführen. Auf der anderen Seite sind die Ergebnisse zur Dokumentation des enormen Einflusses der Größe der Aerosolpartikel im Rahmen des Modellvergleichs wichtig, denn sie zeigen deutlich, mit welchen Abweichungen man bei Anwendung der Modelle zu rechnen hat und wie wichtig eine möglichst korrekte Parametrisierung der Eingangsgrößen ist.

3.2.5 Dosisparameter

Nach diesem Exkurs folgt die Diskussion der Dosisparameter. Hierzu sind in den Abbildungen 3.2-8 bis 3.2-11 die effektive Dosis sowie die Schilddrüseninhalationsdosis (jeweils für die Personengruppe Erwachsene) gezeigt. Die zugehörigen Verlaufskurven finden sich wieder in Abbildung 3.2-12. Zur Erinnerung wird darauf hingewiesen, dass eine Berechnung von Dosisparametern in ARTM nicht vorgesehen ist. Folgende Punkte sind festzustellen:

- Betrachtet man die effektive Dosis und die Wolkenstrahlung, so zeigt die ABR im Bereich kleiner als 25 km deutlich höhere Werte. Das Ergebnis dürfte auf das bei der ABR angewendete Berechnungsverfahren für die hier aufgrund der verwendeten Nuklidverteilung dominierenden Gammasubmersion zurückzuführen sein. Die direkt mit der bodennahen Konzentration korrelierte Inhalationsdosis der ABR ist hingegen ähnlicher zu den anderen Modellen.
- Während die Ähnlichkeit der Ergebnisse der RODOS-Modelle RIMPUFF und ATSTEP für alle aufgelisteten Dosisparameter festzustellen ist, zeigen sich deutliche Abweichungen bei den Resultaten von DIPCOT für die Wolkenstrahlung, die zu den entsprechenden Abweichungen in externer Gammadosis und effektive Dosis (hier ist die Abweichung natürlich etwas geringer) führt.
- Die hohen Werte für die Cs137-Konzentration dürften auch die Ursache für die verglichen mit den anderen Modellen höheren Werten für die Bodendosis in den LASAIR-Vorhersagen sein. Die Vorhersage für die Gammasubmersion in diesem Szenario von LASAIR ist wiederum ähnlich zu den anderen Modellen. In der verwendeten Version von LASAIR fehlt eine Ausgabe für die effektive Dosis.
- Bei der Inhalationsdosis liegen die Modelle ABR, SAFER und auch LASAIR deutlich oberhalb der RODOS-Vorhersagen – bei vergleichbaren Daten für die Luftkonzentration. Die Ursache für dieses Verhalten liegt hauptsächlich in den verwendeten unterschiedlichen Werten der Dosiskoeffizienten

(in den RODOS-Rechnungen wird der Faktor für aerosolförmiges Iod verwendet) und Atemraten. Die gemäß Modelldokumentation für die Personengruppe Erwachsene verwendeten Werte sind in Tabelle 3.2-3 zusammengefasst. Der Faktor 1,5 wurde für die bei einer Notfallsituation angenommene Erhöhung der Atemrate eingeführt. Damit ergibt sich ein systematischer Unterschied um ca. einen Faktor 2,7, der die auftretenden Unterschiede in den Ergebnissen erklärt. Dieser Sachverhalt ist bei der Anwendung der Modelle im Rahmen der Empfehlung von Katastrophenschutzmaßnahmen zu beachten.

- Die Ergebnisse von SAFER liegen für die Inhalationsdosis aufgrund des höchsten verwendeten Dosiskoeffizienten gemäß dem Leitfaden [18] im oberen Bereich, für die anderen Dosisparameter wieder innerhalb der Bandbreite der anderen Modelle.

Tabelle 3.2-3 Dosiskoeffizienten für I-131, Schilddrüse und Atemraten (Erwachsener) wie in den Vergleichsrechnungen verwendet.

Modell	Dosiskoeffizient [Sv/Bq]	Atemrate [m ³ /h]
RODOS	1,47E-7	0,93
ABR/LASAIR	2,60E-7	1,5*0,93 = 1,4
SAFER	3,90E-07	1,5*0,93 = 1,4

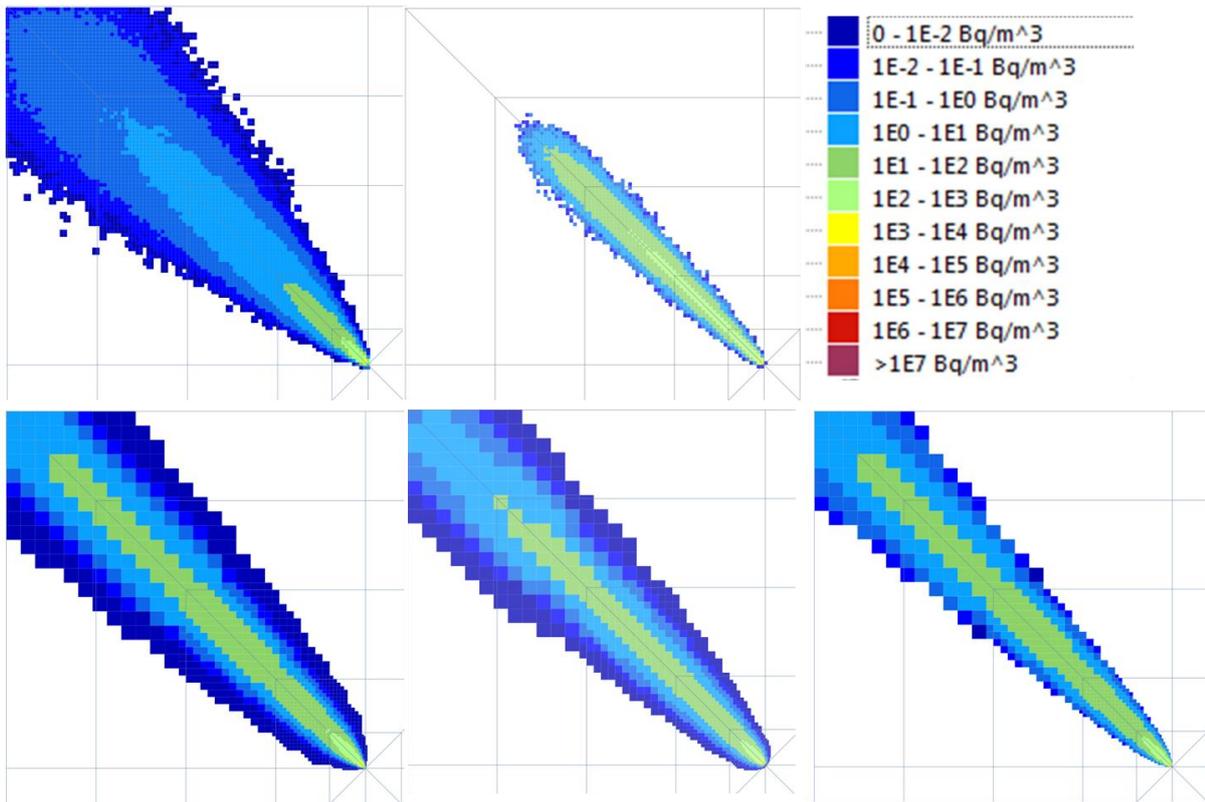


Abbildung 3.2-2: Summierte bodennahe Cs137-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

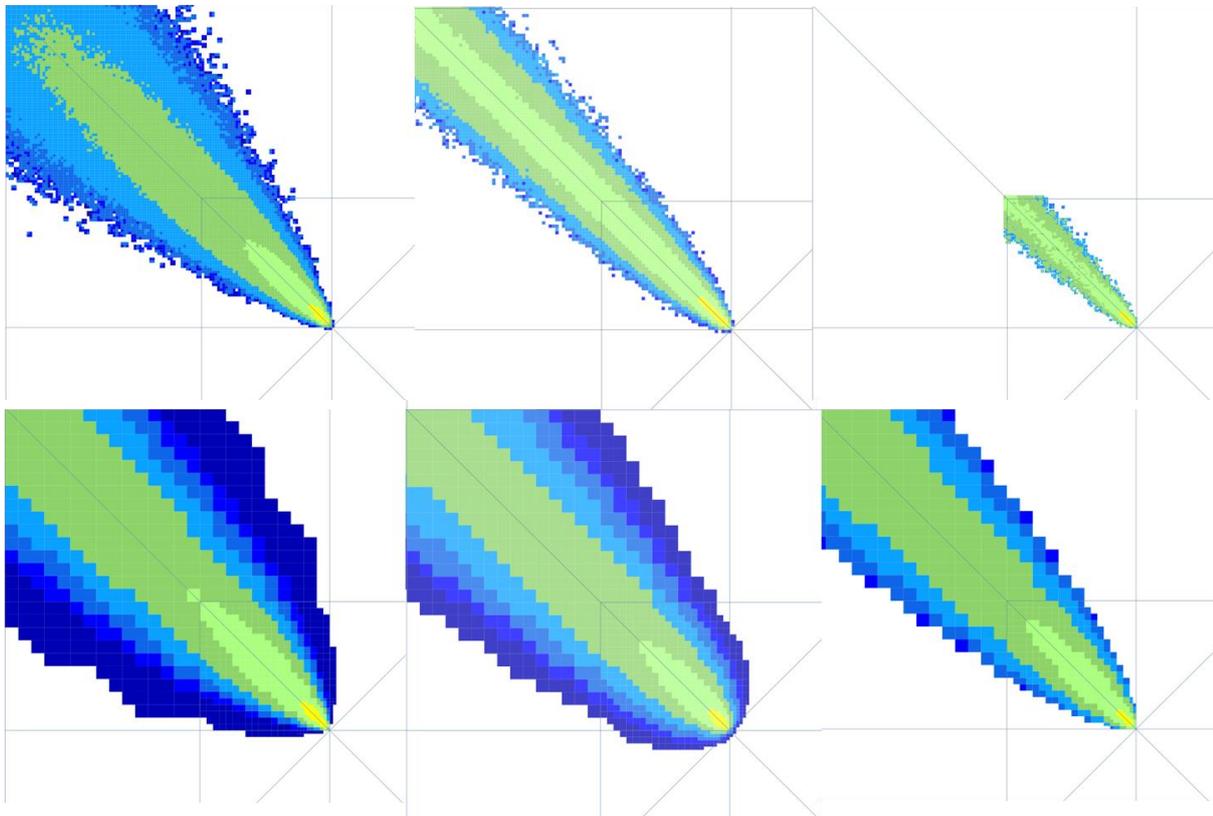


Abbildung 3.2-3: Summierte bodennahe Cs137-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

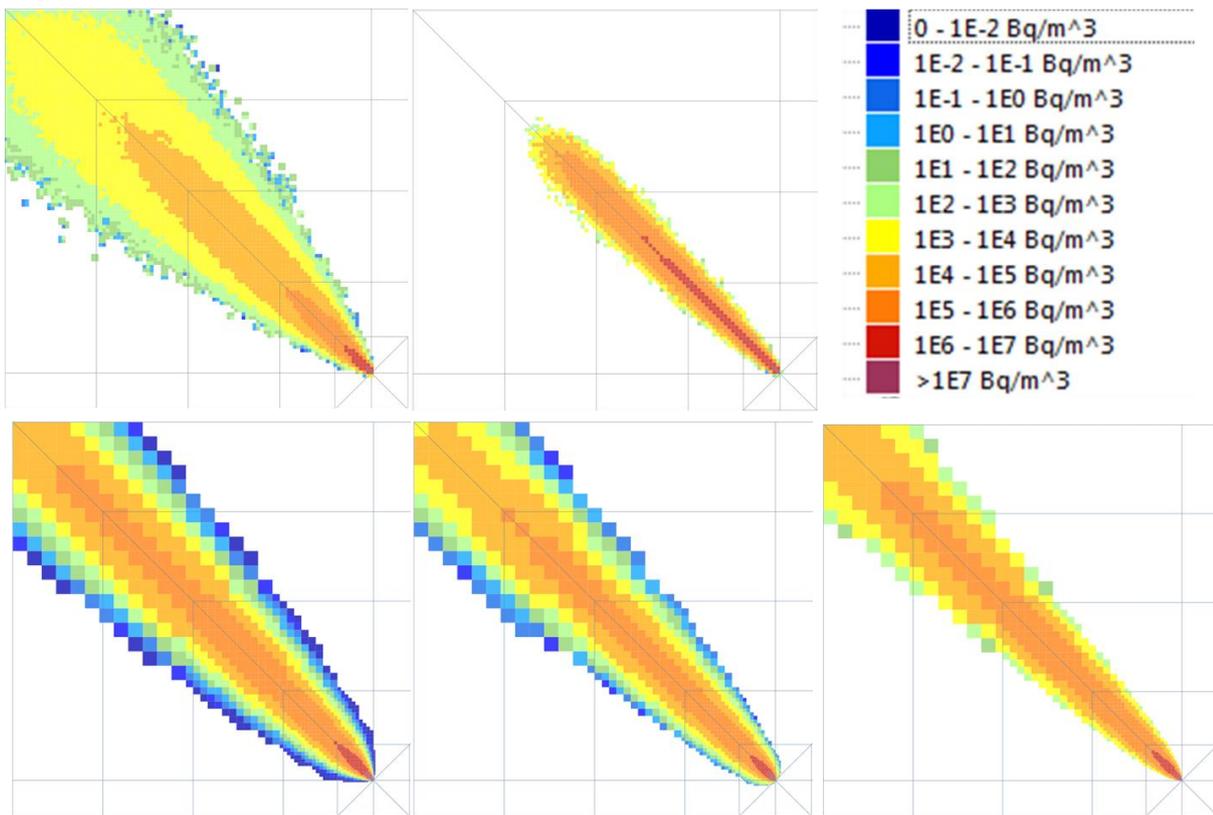


Abbildung 3.2-4: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

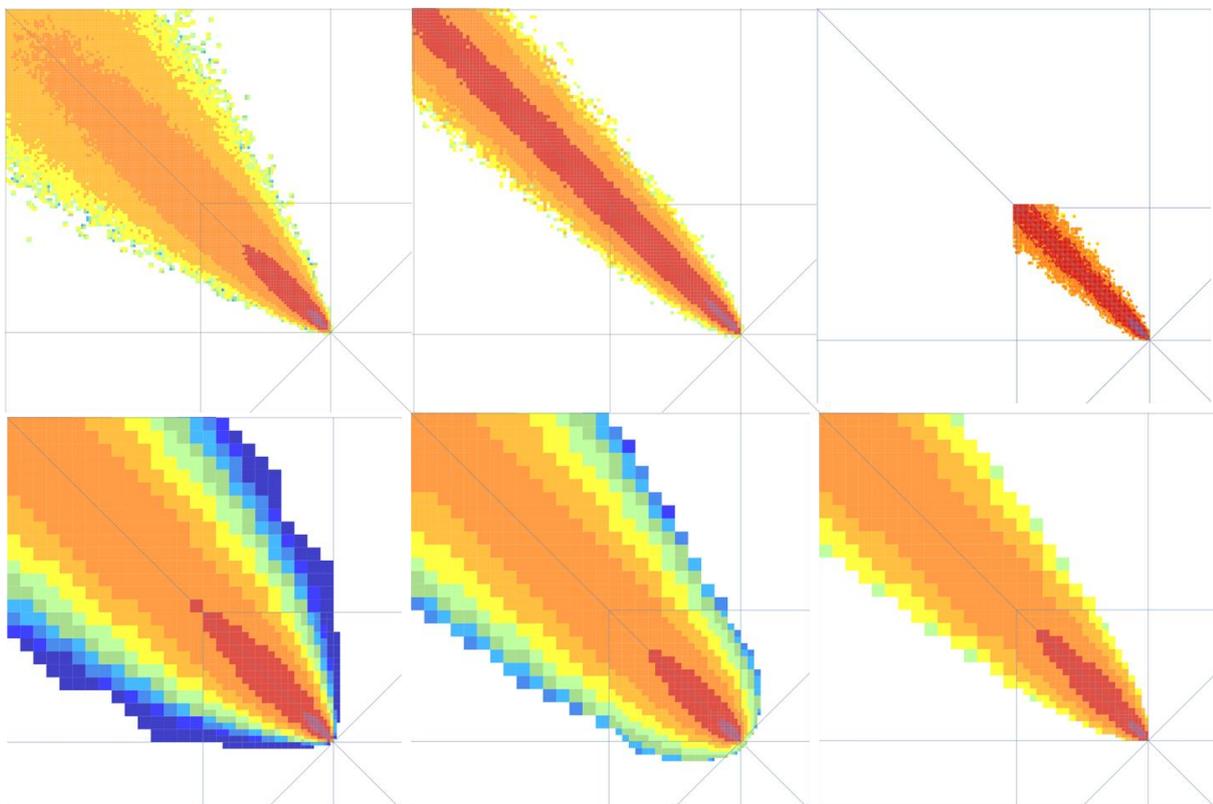


Abbildung 3.2-5: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

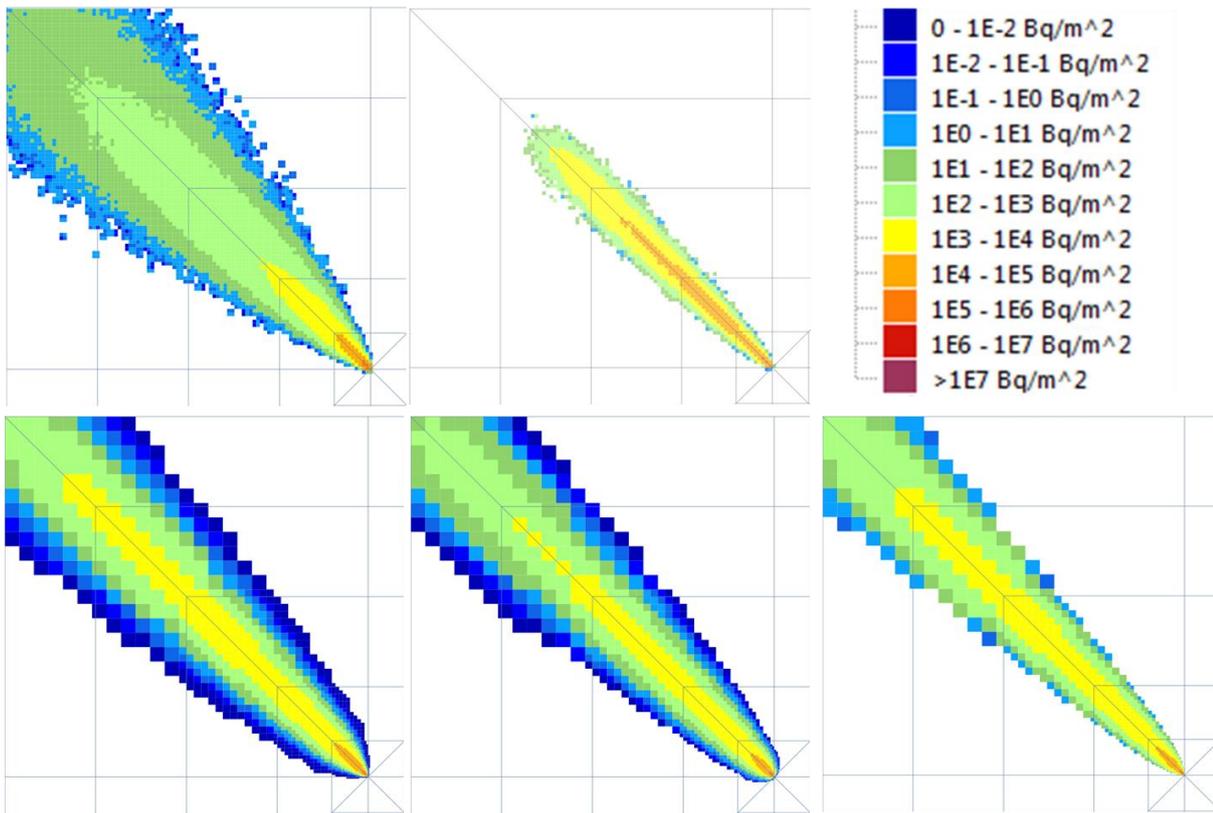


Abbildung 3.2-6: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

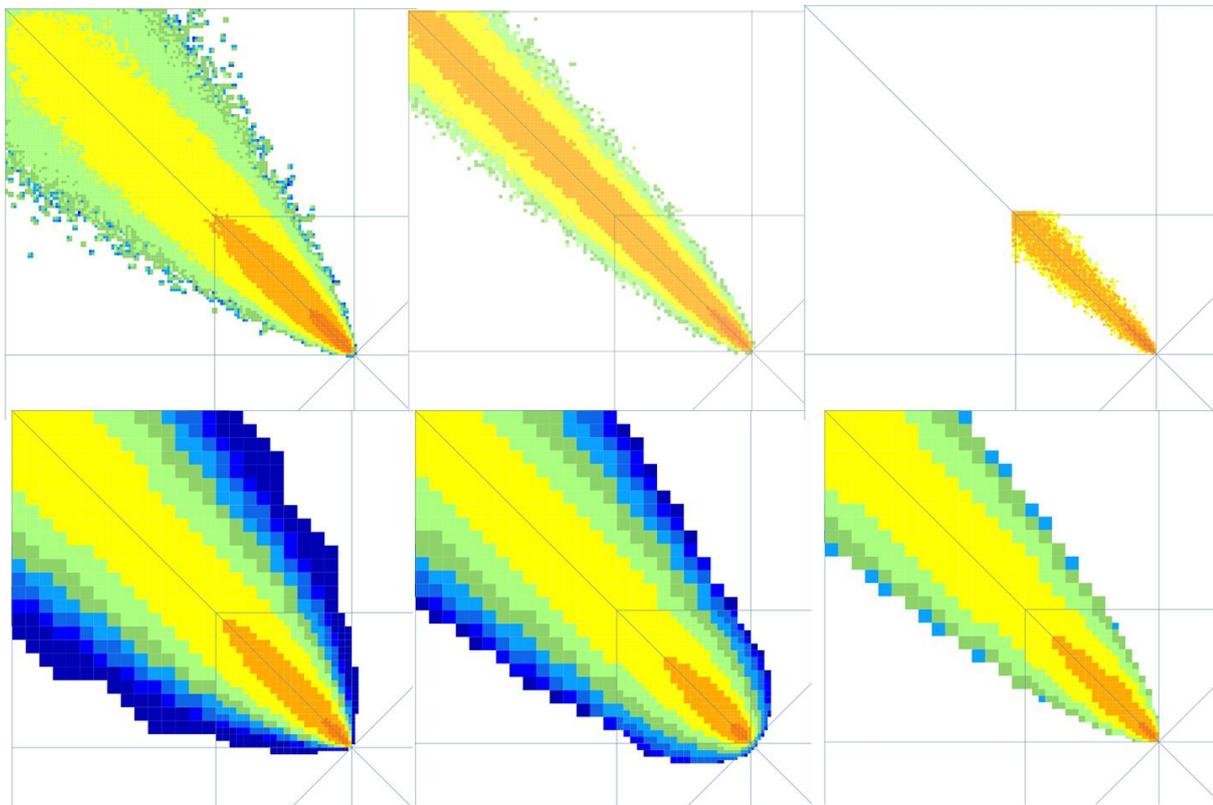


Abbildung 3.2-7: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

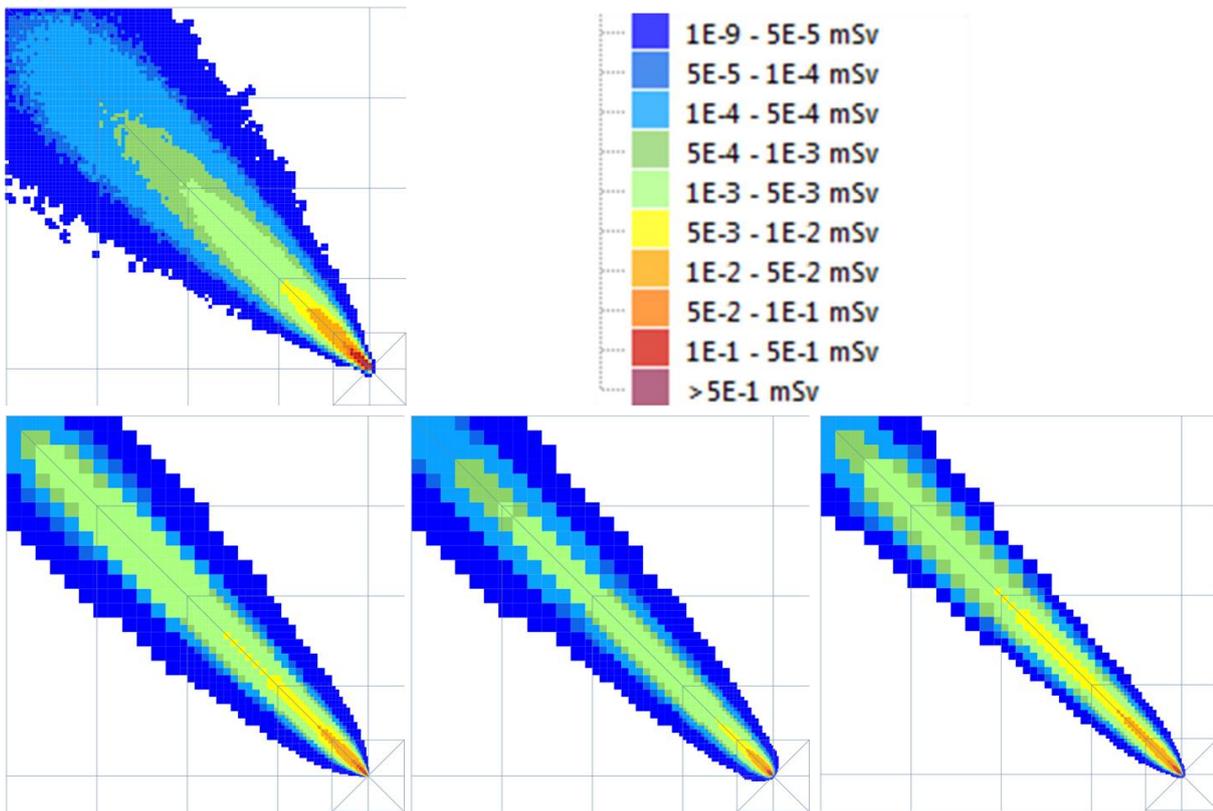


Abbildung 3.2-8: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

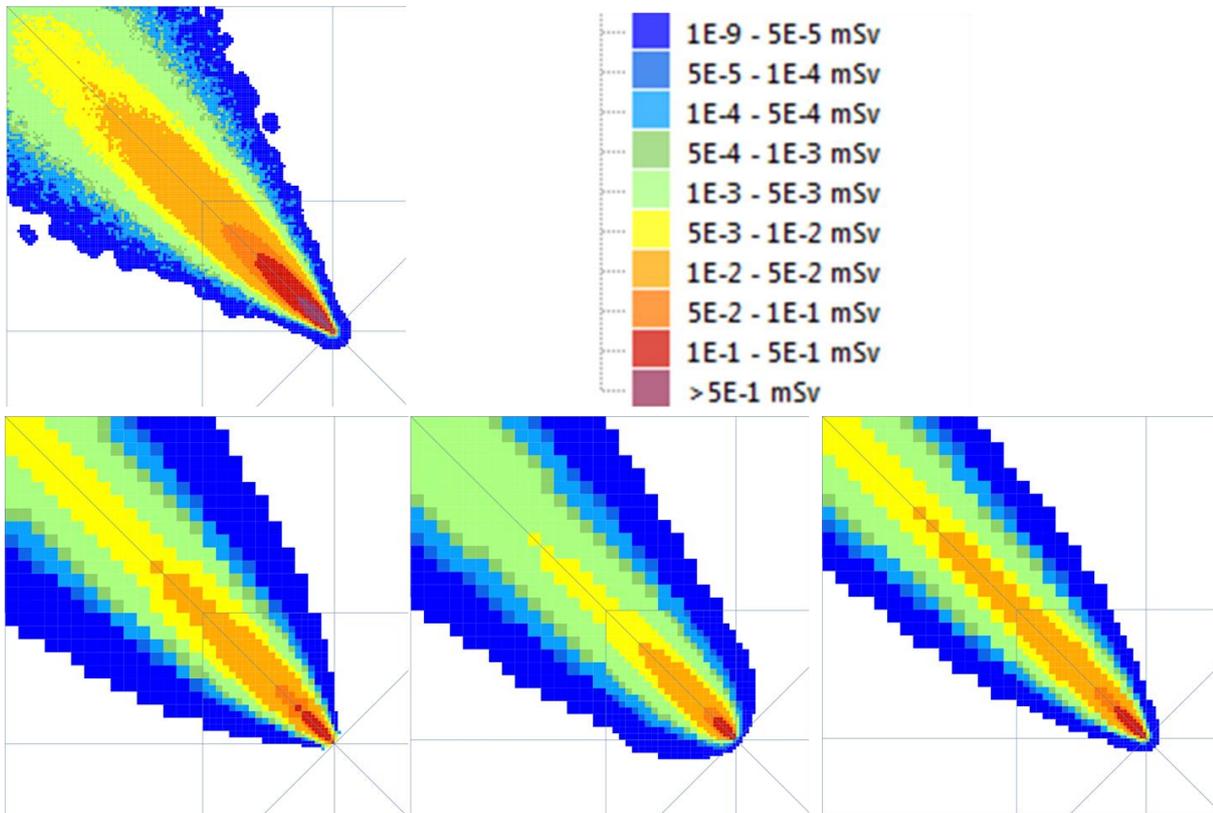


Abbildung 3.2-9: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

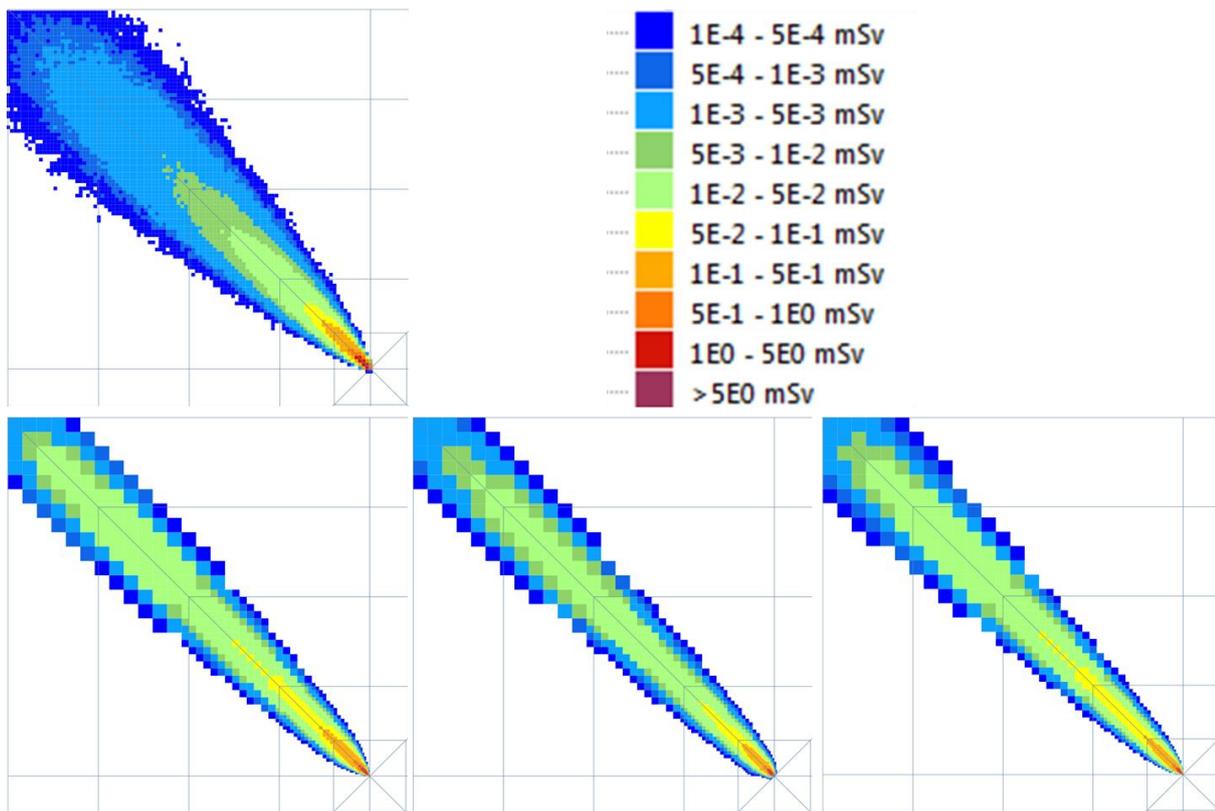


Abbildung 3.2-10: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIM-PUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

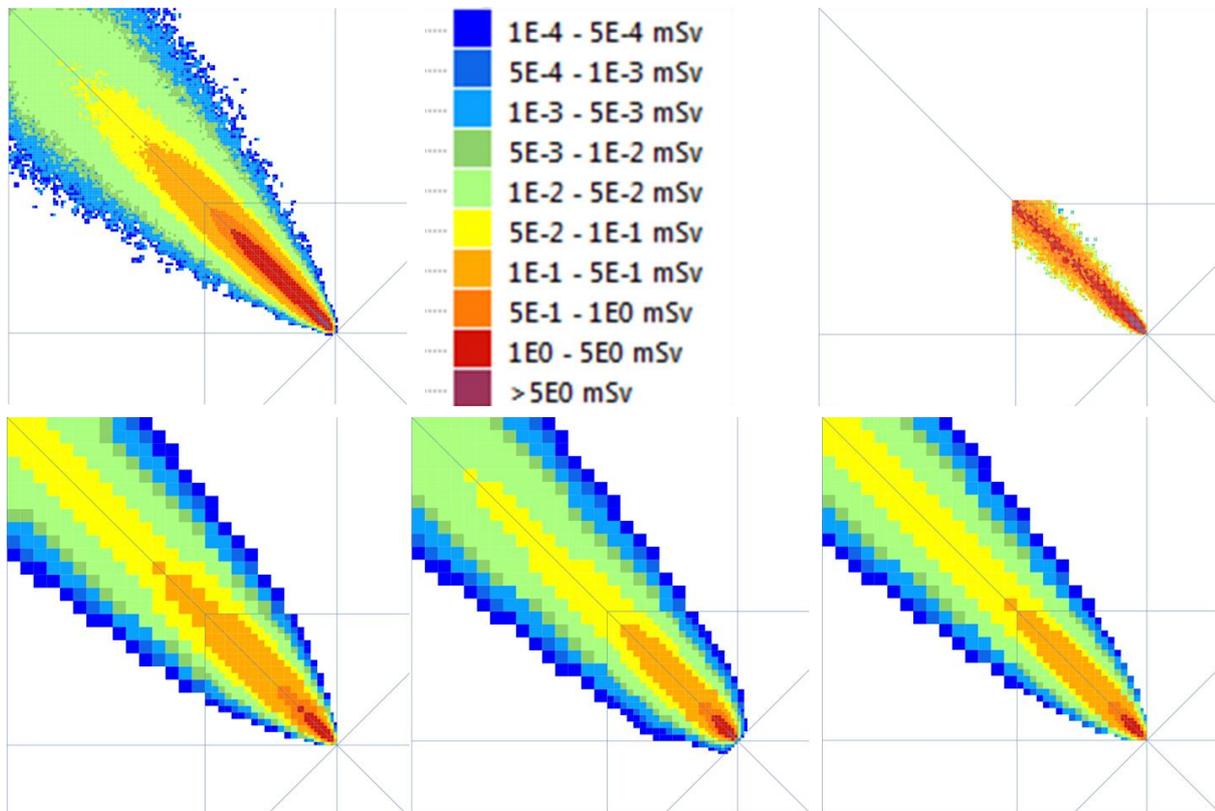


Abbildung 3.2-11: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), LASAIR (rechts oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIM-PUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

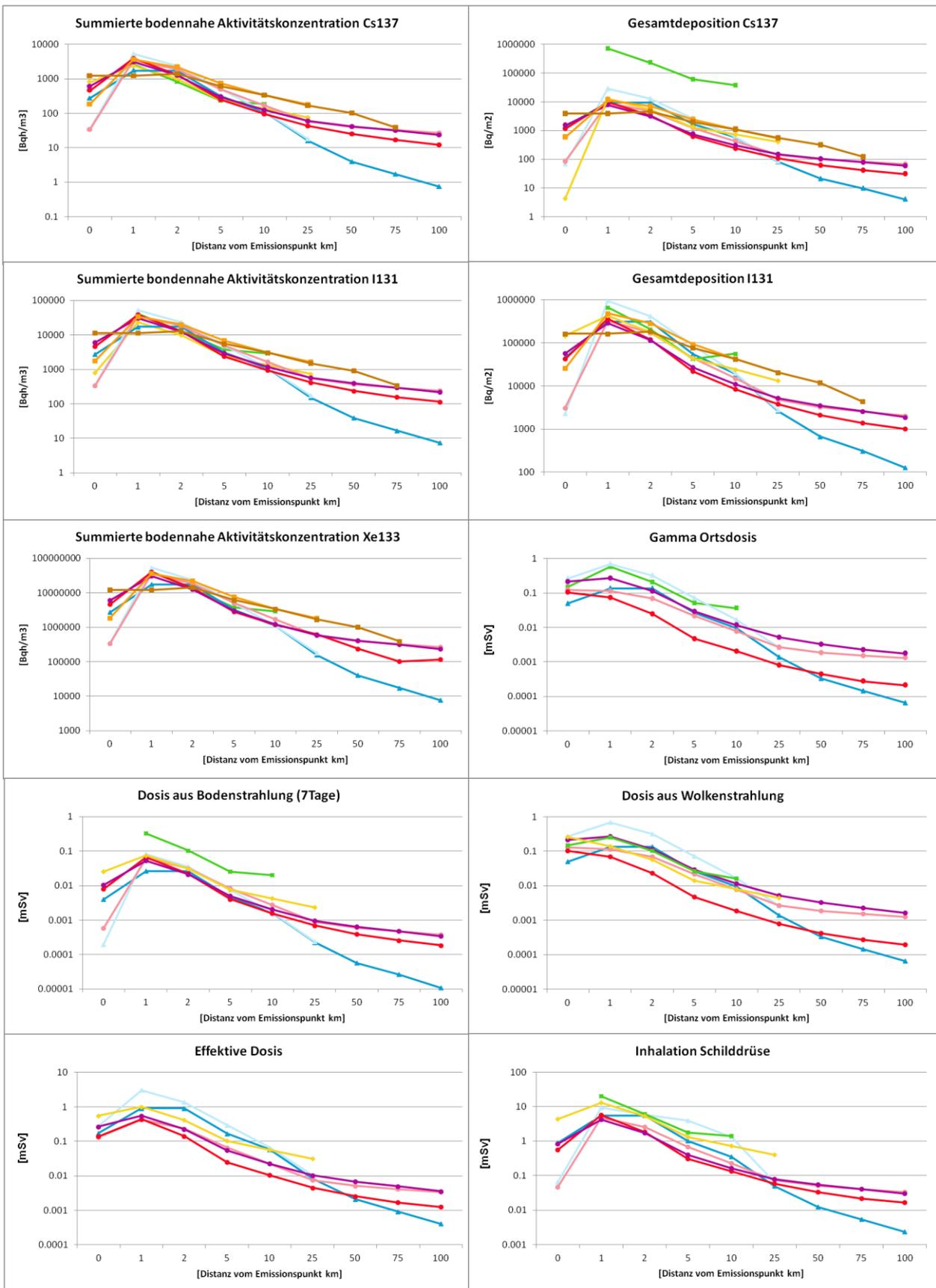


Abbildung 3.2-12: Verlauf von bodennahe Konzentration, Deposition und der verschiedenen Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M1.

3.3 SZENARIO E1M2: EINFLUSS DER BODENRAUIGKEIT BEI NEUTRALER SCHICHTUNG

In diesem Szenario wird der Einfluss der Bodenrauigkeit – ausgedrückt durch die sog. Rauigkeitslänge z_0 betrachtet. Im Vergleich zu dem in den anderen Szenarien verwendeten Wert $z_0 = 10$ cm (typisch für Wiesenbewuchs) wird hier ein sowohl für Laub- und Mischwälder als auch für ein Gebiet mit durchgängig städtischer Prägung typischer Wert von 150 cm angenommen. Die hier zusammengestellten Ergebnisse basieren auf einer neutralen Schichtung und sind mit dem im nächsten Abschnitt folgenden Szenario E1M3 zu vergleichen.

3.3.1 Windprofil

Die hier unterstellte Bodenrauigkeit von 1,5 m sollte im Vergleich zu E1M3 bei gleicher vorgegebener horizontaler Windgeschwindigkeit von 3 m/s in Bodennähe zu einer deutlich erhöhten Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe führen. Wie in Abbildung 3.3-1 dargestellt, gibt nur das ARTM-Windfeld diese Erwartung wieder. Dieses Profil zeigt zudem eine aufgrund der stärkeren Bodenreibung erwartete Krümmung in der unteren Prandtl-Schicht. Hierbei handelt es sich um den unteren Bereich der atmosphärischen Grenzschicht der durch die hier annähernd höhenkonstanten turbulenten Flüsse von Impuls und Wärme charakterisiert wird. Diese Schicht grenzt an die nur wenige Millimeter betragende laminare Bodenschicht und erstreckt sich bis zu etwa 100 Meter über Grund. Im Anschluss an die Prandtl-Schicht folgt die sog. Ekman-Schicht, in der die Drehung des Windes in Richtung des in der freien, d.h. nicht mehr durch die Erdoberfläche beeinflussten Atmosphäre herrschenden sog. geostrophischen Windes erfolgt (siehe hierzu z.B. [7]). Eine solche Winddrehung ist im Szenario E3M7 diskutiert. Im unteren Bereich des ARTM-Profiles könnte man den Wert der Rauigkeitslänge von 1,5 m extrapolieren. Das ABR-Windprofil zeigt nur eine leichte Veränderung gegenüber E1M3 während das RODOS-Profil identisch zu diesem Szenario erscheint.

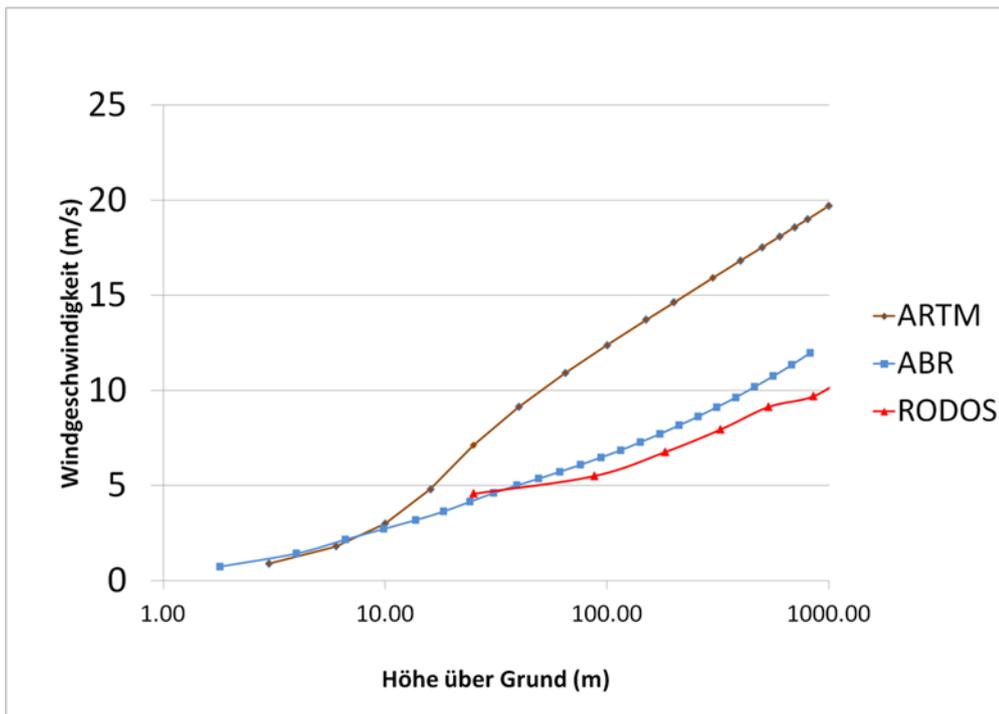


Abbildung 3.3-1: Windgeschwindigkeitsprofile E1M2 der betrachteten Modelle aus ABR, ARTM (LASAIR) und RODOS.

3.3.2 Bodennahe Konzentrationen

Hinsichtlich der betrachteten radiologischen Parameter sind zwei Effekte von Bedeutung, die allerdings bzgl. ihres Einflusses gegenläufig wirksam sind. Verbunden mit den Windprofilen ergeben sich deutlich kürzere Wolkentransportzeiten für ARTM und (etwas schwächer) bei der ABR, die insgesamt zu geringeren Werten führen sollten. Andererseits ist die durch die höhere Bodenreibung erzeugte Turbulenz größer, weshalb sich die Breite der Fahnen im Vergleich zu E1M3 etwas vergrößern dürfte.

Folgende Ergebnisse sind festzustellen (Flächendarstellungen siehe Abbildungen 3.3-2, 3.3-3 bzw. 3.3-10 für die Verlaufskurven):

- Die RODOS-Modelle zeigen die erwartete Verbreiterung der Fahne im Vergleich zu E1M3 (Abbildungen 3.4-2, 3.4-3) am deutlichsten. Die Reisezeiten der Wolke sind dabei ähnlich zu diesem Szenario.
- ARTM zeigt die schmalste Fahne (im Vergleich zu E1M3 jedoch geringfügig breiter, was sich nur aus dem Vergleich der 25x25 km²-Gebiete erkennen lässt). Die im Vergleich zur ABR hohe Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe führt dazu, dass die Wolke das Modellgebiet im Unterschied zu E1M1 und E1M3 nach 6 Zeitschritten bereits fast vollständig verlassen hat.
- Wie die Verlaufskurven zeigen, sind die Unterschiede zwischen den Modellen in Quellnähe besonders deutlich. Ab einer Entfernung von ca. 2km sind die Ergebnisse von ARTM und den RODOS-Modellen sehr ähnlich. Betrachtet man die starken Unterschiede in den vertikalen Windprofilen, ist diese Beobachtung eher etwas überraschend.
- Während alle anderen Modelle im Vergleich zu E1M3 zu einer deutlich geringeren Entfernung der Maximalwerte führen, sind die Werte der ABR nur unwesentlich verändert. Der Effekt der Bodenrauigkeit ist in diesem Modell vergleichsweise gering. Diese Aussage gilt jedoch nur für die in den Vergleichsrechnungen verwendete ABR-Default-Modellkette mit dem Windfeldmodell WINDO (vgl. Dokumentation zur ABR im Anhang).
- LASAIR wie auch SAFER liegen innerhalb der Streuung der anderen Modelle.

3.3.3 Deposition

Die in den Abbildungen 3.3-4, 3.3-5, und 3.3-10 gezeigten Ergebnisse für die Deposition sind völlig analog zu den Konzentrationen. Auch die unterschiedlichen Depositionsparameter sind in ihrem unterschiedlichen Einfluss in den Modellen sichtbar. Das ist deutlich aus dem Verlauf der ARTM-Kurven im Vergleich zu den ATSTEP- und RIMPUFF-Kurven zu sehen: In 100 km Abstand von der Quelle liegen die Ergebnisse für die Deposition näher zusammen als bei der Konzentration. Auch die aus der verwendeten Korngrößenverteilung resultierenden erhöhten Werte von LASAIR für die Deposition von Cs137 sind wieder festzustellen.

3.3.4 Dosisparameter

Im Vergleich zu E1M1 sind bei der Dosis größere Unterschiede festzuhalten (Abbildungen 3.3-6 bis 3.3-10):

- Die Ergebnisse variieren um deutlich mehr als eine Größenordnung.
- Am ähnlichsten verhält sich die gezeigte Dosis aus Bodenstrahlung, die unmittelbar mit den Ergebnissen für die Deposition skaliert.
- In größeren Quellentfernungen ist festzuhalten, dass vor allem die ABR bei allen Parametern deutlich oberhalb der anderen Modelle liegt.
- Die Abweichungen bei der effektiven Dosis betragen deutlich mehr als eine Größenordnung.
- Bei der Inhalation sind die Ergebnisse der RODOS-Modelle wie erwartet sehr ähnlich, liegen allerdings aufgrund der unter E1M1 diskutierten Verwendung anderer Dosiskoeffizienten unterhalb der hier wieder vergleichbaren Ergebnisse von ABR, SAFER und LASAIR (ab 5 km Entfernung).
- Bei der Dosis aus Wolkenstrahlung fällt auf, dass hier eine deutliche Abweichung bei den RODOS-Modellen zu verzeichnen ist. Besonders deutlich erscheint zudem die Abhängigkeit von der räumlichen Auflösung bei der ABR bei Abständen kleiner als 10 km. Dieses Ergebnis überträgt sich unmittelbar auf die für 6 Stunden integrierte Gammaortsdosis.
- Die Hauptunterschiede in Ortsdosis und effektiver Dosis dürften auf die unterschiedliche Behandlung der Berechnung der Gammasubmersion und der im Fall der ABR geringeren Windgeschwindigkeit in Bodennähe und der daraus resultierenden längeren Verweildauer der Wolke zurückzuführen sein.
- Die LASAIR-Ergebnisse liegen wieder bis auf die mit der höheren Gesamtdeposition verbundene Bodenstrahlung zwischen den ABR und RODOS-Modellen.
- Auch SAFER liegt wieder innerhalb der Streuung der anderen Modelle.

Abschließend lässt sich aus den E1M2-Ergebnissen festhalten, dass bei Anwendung der Modelle für Gebiete mit starker Bodenrauigkeit deutliche Unterschiede – vor allem in den Dosiswerten – zu erwarten sind. Als Hauptursache dürften die zum Teil sehr unterschiedlichen Windprofile sowie die unterschiedlichen Dosiskoeffizienten heranzuziehen sein. In der Praxis sollten daher die Windmessungen (oder Wettervorhersagen) für mehrere Höhenschichten als Randbedingung vorgegeben werden. Aber auch die Methodik zur Berechnung der Wolkenstrahlung liefert bereits Unterschiede, die im Bereich von mehr als einer Größenordnung liegen. Hier erscheint eine weitere Klärung erforderlich. Insbesondere müssen die dreidimensionalen Konzentrationsfelder genauer miteinander verglichen werden.

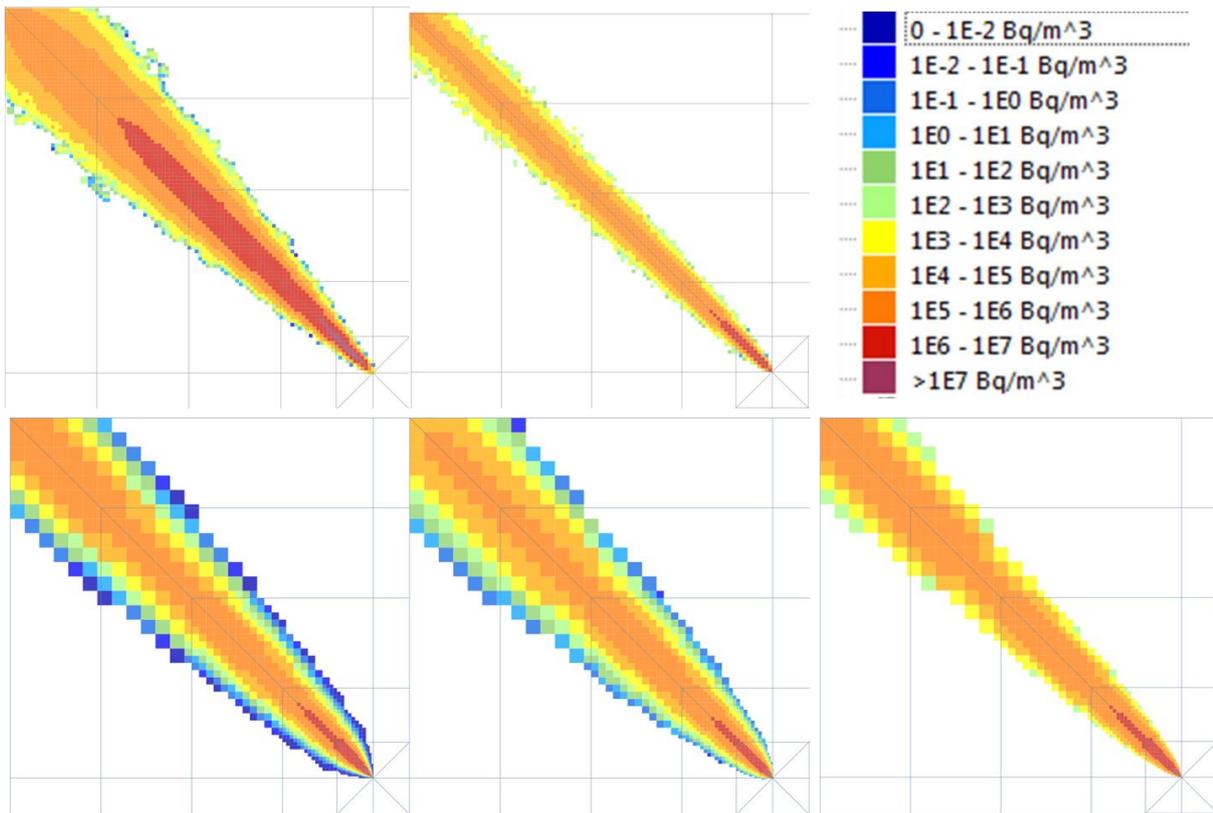


Abbildung 3.3-2: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

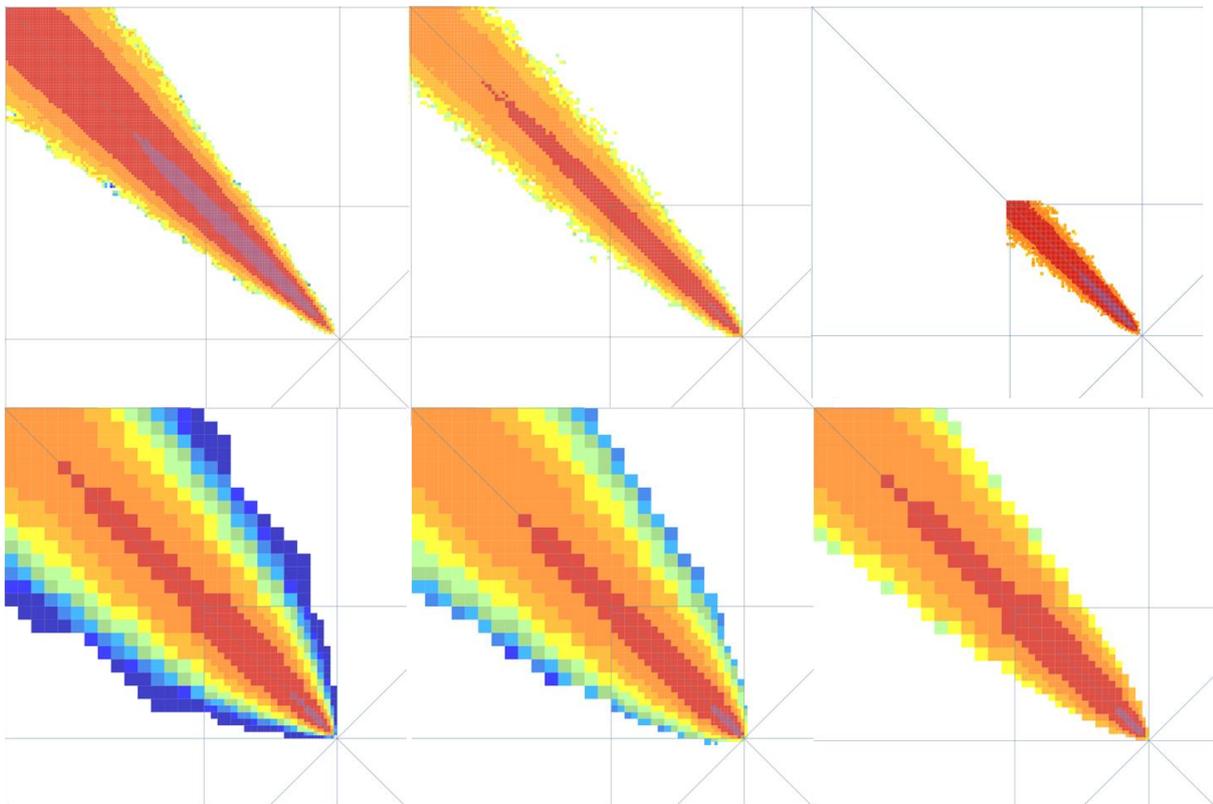


Abbildung 3.3-3: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

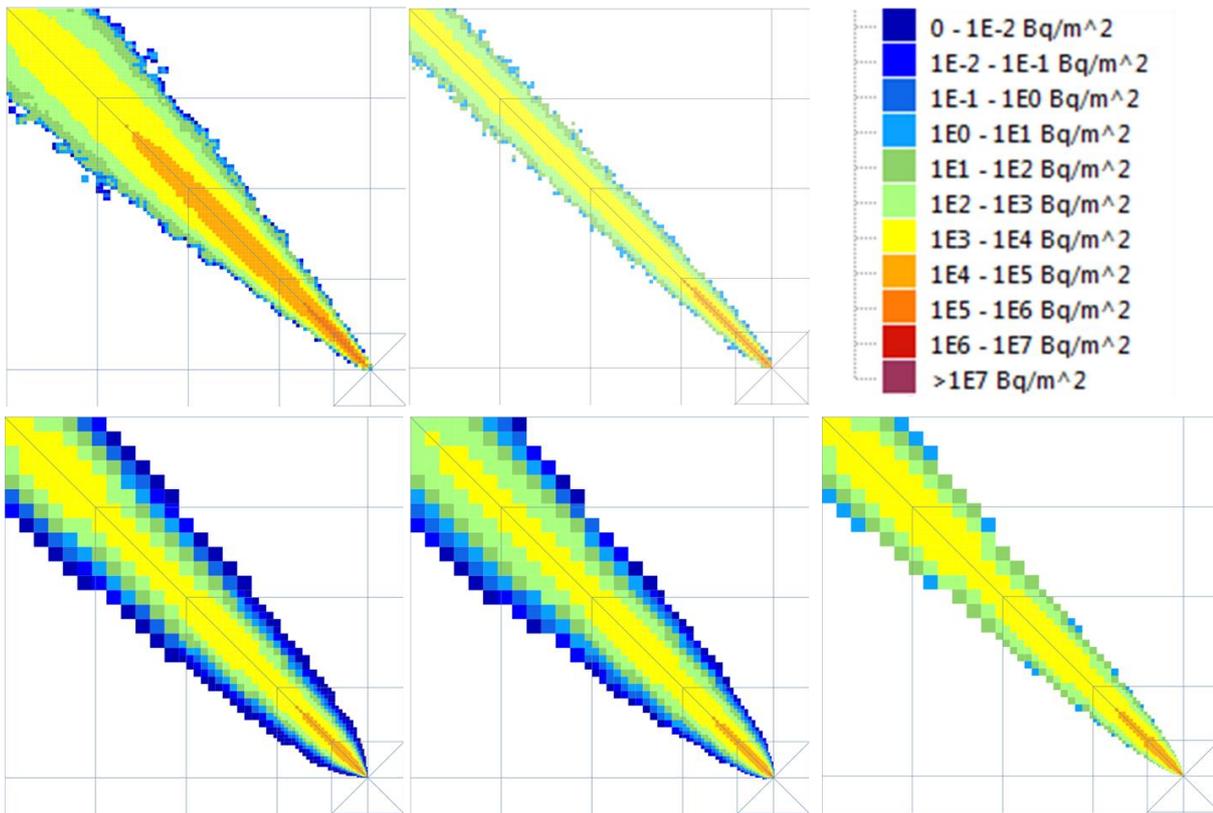


Abbildung 3.3-4: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

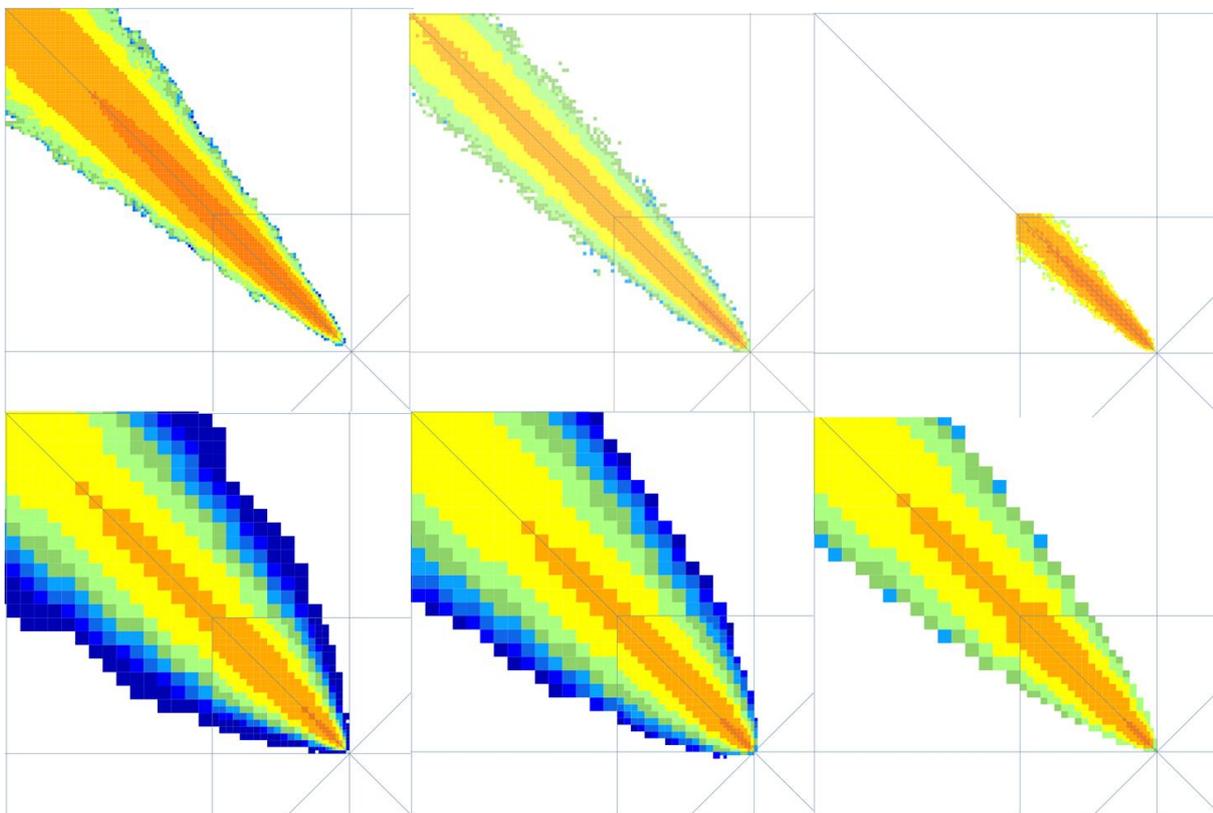


Abbildung 3.3-5: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

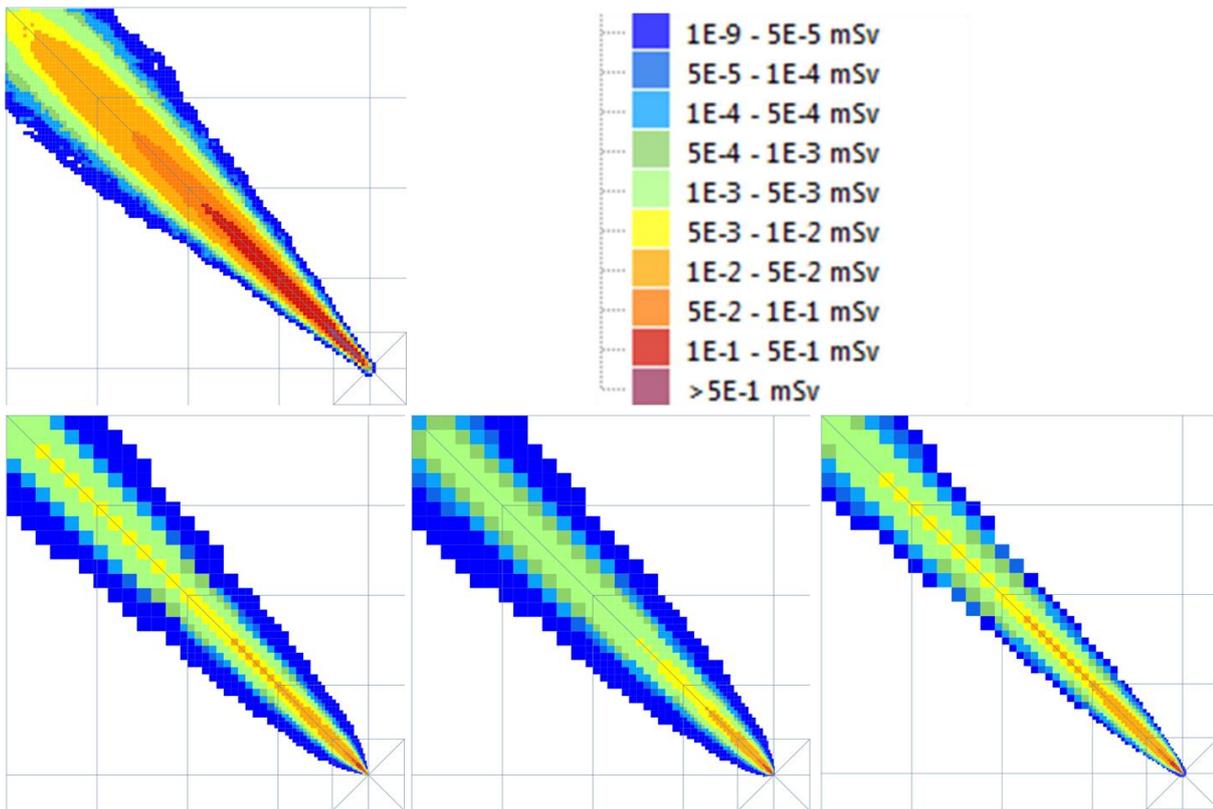


Abbildung 3.3-6: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

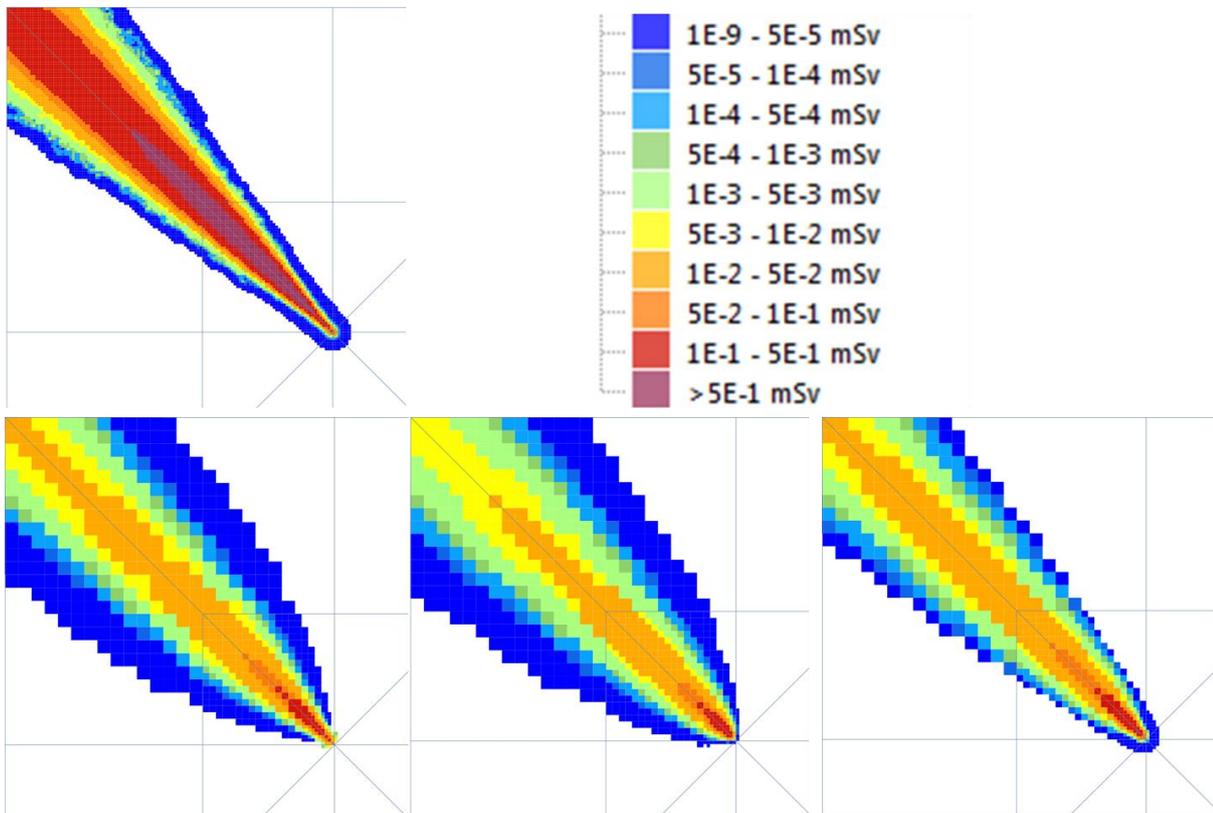


Abbildung 3.3-7: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

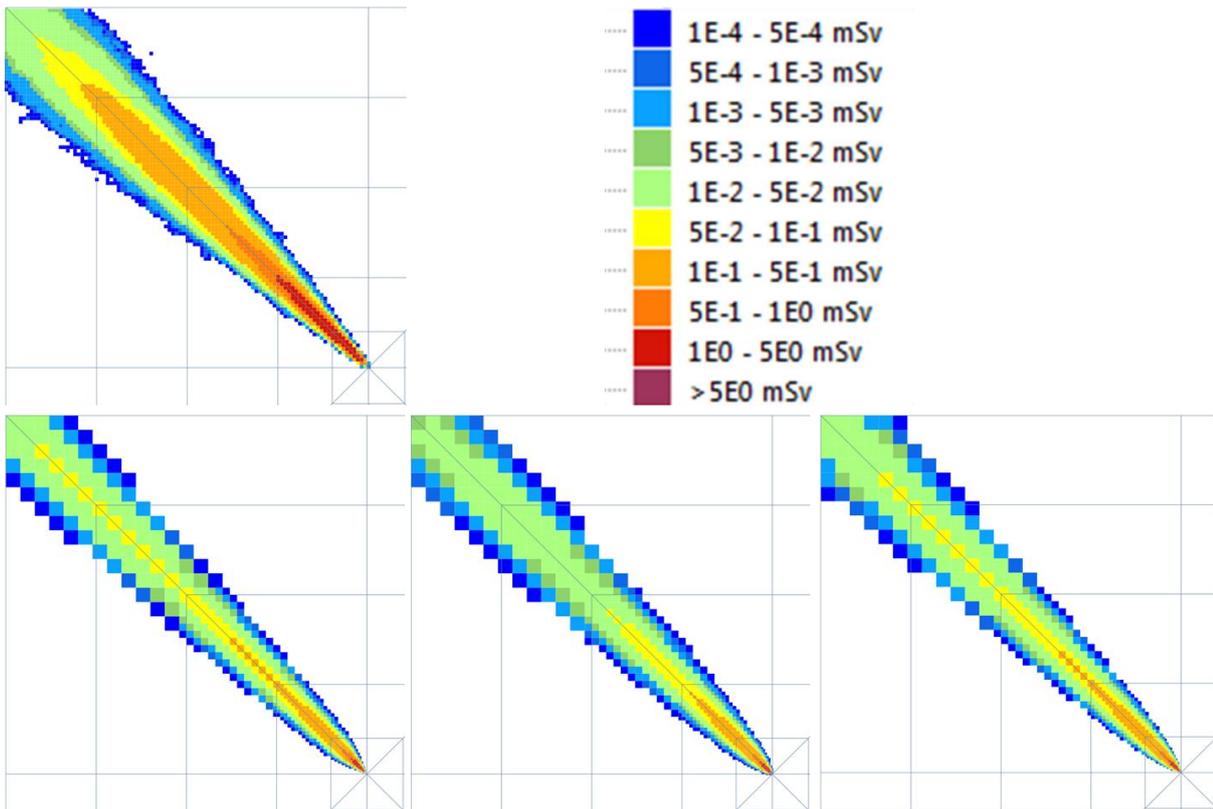


Abbildung 3.3-8: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

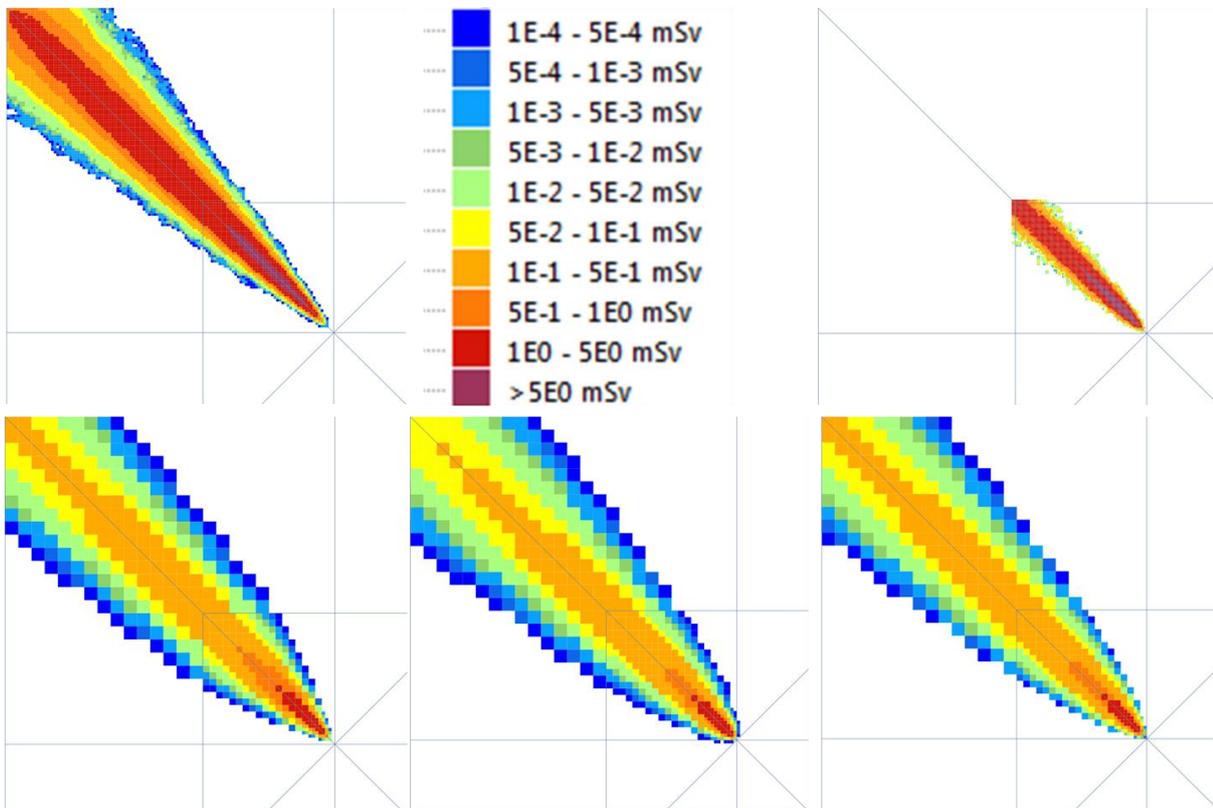


Abbildung 3.3-9: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

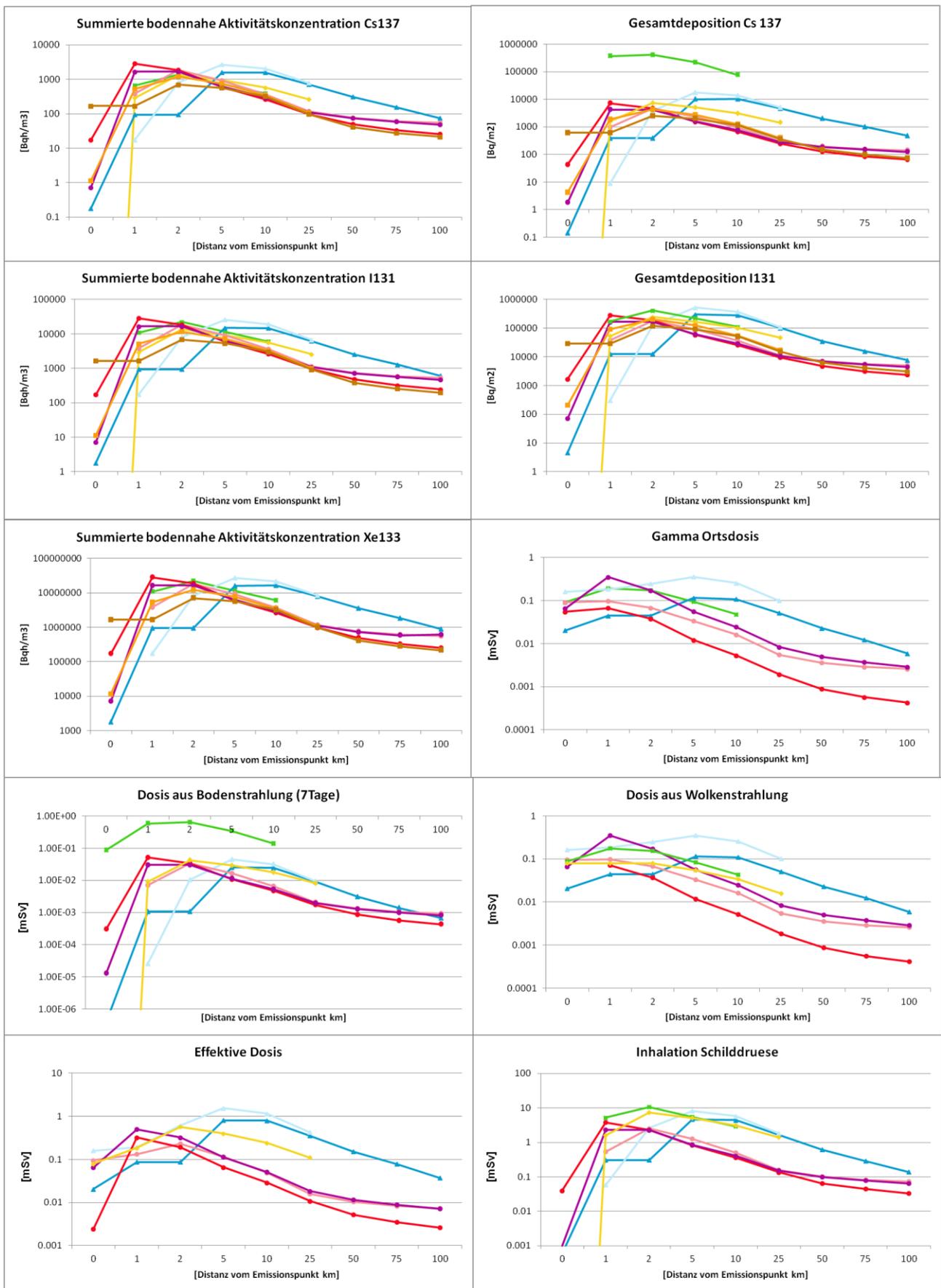


Abbildung 3.3-10: Verlauf von bodennahe Konzentration, Deposition und verschiedenen Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M2.

3.4 SZENARIO E1M3: NEUTRALE SCHICHTUNG

Im Vergleich zur in E1M1 betrachteten labilen Situation wird hier eine neutral bis stabile Schichtung (wiederum ohne Niederschlag) angenommen. Im Unterschied zu E1M1 erwartet man daher etwas schmalere Fahnen. Die Unterschiede zu E1M2 wurden bereits im vorigen Abschnitt diskutiert.

3.4.1 Windprofil

In den Standardmodellen der Grenzschicht wird für neutrale Schichtung ein streng logarithmisches Windprofil, das im Wesentlichen durch die Schubspannung und Rauigkeitslänge definiert ist, vorhergesagt. Wie Abbildung 3.4-1 zeigt, wird dieses Verhalten nur durch das Modell ARTM (und LASAIR) (genauer TAL-DIA) wiedergegeben, während RODOS und ABR die typischen Potenzgesetze für das Geschwindigkeitsprofil verwenden. Aus der gezeigten Abbildung ließe sich durch Extrapolation der ARTM-Kurve der hier geforderte Wert von 10 cm für die Rauigkeitslänge ermitteln. Bei RODOS werden analog zu E1M1 in der niedrigsten Schicht wieder etwas höhere Windgeschwindigkeiten verwendet. Typisch für die ABR-Windfelder sind die im Vergleich zu ARTM und RODOS geringeren Windgeschwindigkeiten in Bodennähe.

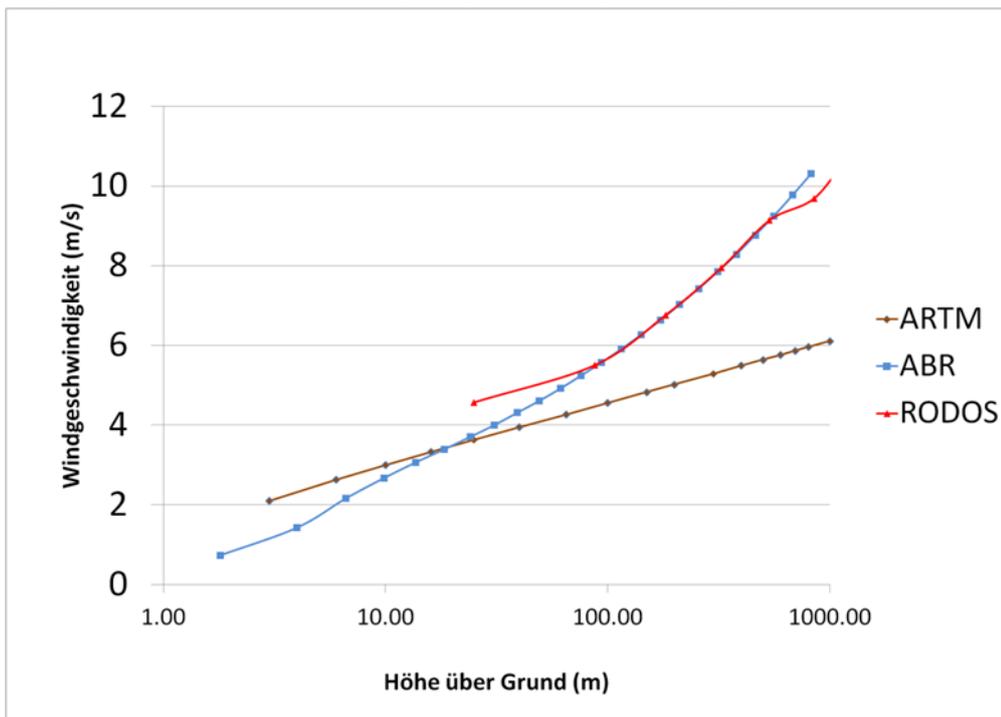


Abbildung 3.4-1: Windgeschwindigkeitsprofile E1M3 der betrachteten Modelle aus ABR, ARTM (LASAIR) und RODOS.

3.4.2 Bodennahe Konzentrationen

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 3.4.2, 3.4.3 und 3.4.10 (Verlaufskurven) zusammengestellt. Die folgenden Punkte sind festzuhalten:

- Auch hier liefert die ABR die breitere Fahne, gefolgt von ATSTEP, das im Vergleich zu den anderen Modellen einen etwas glatteren Verlauf am Fahnenrand zeigt (wobei dieses Verhalten zum Teil auf das Abschneiden kleiner Werte (RIMPUFF) zurückzuführen ist).
- In Nähe zum Emissionsort weichen die Ergebnisse wie erwartet am stärksten voneinander ab. Das betrifft insbesondere die drei RODOS-Modelle.
- Abgesehen von den im Vergleich zu E1M1 erwarteten stärkeren Abweichungen in Quellnähe korrelieren die Modelle recht gut. Bei Abständen größer als 2 km von der Quelle liegen die Ergebnisse für die bodennahe Konzentration in der gleichen Größenordnung.
- Die ARTM-Fahne ist aufgrund des verwendeten Windprofils am langsamsten und hat wie im Fall von E1M1 nach 6 Zeitschritten das Modellgebiet noch nicht verlassen. Daher ist der Vergleich der Ergebnisse dieses Modells für große Entfernungen nicht aussagekräftig (siehe hierzu das Abknicken der ARTM-Kurven bei 100 km).
- Die ABR liefert die höchsten Werte für größere Abstände. Auch das Maximum liegt wieder etwas weiter außerhalb.

- Die Vorhersagen von SAFER und LASAIR liegen im mittleren Bereich zwischen den anderen Modellen.
- Der Einfluss der Gitterauflösung ist bei kleinen Entfernungen deutlich sichtbar. Mit zunehmender Entfernung von der Quelle nähern sich die Ergebnisse von ABR100 und ABR25 bzw. ARTM1024 und ARTM256 aneinander an. Dieses Ergebnis zeigt wieder, wie wichtig es ist, beim Vergleich von Ergebnissen die Gebietsauflösung in Quellnähe möglichst hoch zu wählen (das betrifft auch den möglichen Vergleich mit experimentellen Daten). Aus Sicht des Katastrophenschutzes dürfte diese Fragestellung jedoch von untergeordneter Bedeutung sein, da die Zentralzone in jedem Fall bei einer möglichen Anordnung von Maßnahmen betroffen ist.

3.4.3 Deposition

Wie aus den Abbildungen 3.4-4, 3.4-5 und 3.4.10 ersichtlich, korrelieren die Depositionsergebnisse wieder unmittelbar mit den bodennahen Konzentrationen und zeigen die diskutierten Unterschiede infolge unterschiedlicher Depositionsgeschwindigkeiten. Wie bereits in den vorigen Abschnitten ausführlich erläutert, unterscheidet sich das Depositionsverhalten der Aerosole von LASAIR wieder grundlegend von den anderen Modellen.

3.4.4 Dosisparameter

Im Vergleich zu den oben diskutierten Abweichungen bei Konzentration und Deposition sind die Unterschiede zwischen den Modellergebnissen bei den Dosiswerten wesentlich größer (siehe Abbildungen 3.4-6, 3.4-7 für die effektive Dosis und Abbildungen 3.2-8, 3.2-9 für die Inhalation sowie Abbildung 3.4.10 für die Verlaufskurven). Folgendes ist festzuhalten:

- Die Inhalationsdosis wird bei Entfernungen größer 2 km, wie aus den Ergebnissen für die Konzentrationen zu erwarten war, durch die verschiedenen Modelle sehr ähnlich wiedergegeben. Die im Vergleich zur Konzentration größeren Unterschiede sind auf die bereits besprochene Verwendung unterschiedlicher Modellparameter bei der Bestimmung der Inhalationsdosis zurückzuführen. Die Abweichungen betragen abgesehen von der Quellnähe weniger als einen Faktor 10.
- Die Gesamtabweichungen in der effektiven Dosis betragen mehr als einen Faktor 10. Am deutlichsten weichen hier die ABR-Ergebnisse ab.
- Nur die Modelle ABR und RIMPUFF zeigen eine deutliche Signatur der Wolkenstrahlung in Quellnähe bei der effektiven Dosis. Wie eine separate Betrachtung der Ergebnisse für die Gammaexposition zeigt, ist dieser Effekt auch im Modell LASAIR sichtbar (Gammastrahlung aus der Wolke wirkt auch entgegen der Ausbreitungsrichtung).
- Betrachtet man die Verlaufskurve für die Wolkenstrahlung, so ist festzuhalten, dass nunmehr ABR, LASAIR und RIMPUFF am besten korrelieren. Drastisch sind die Unterschiede aufgrund der räumlichen Auflösung bei der ABR. Etwas niedrigere Werte werden von SAFER, ATSTEP und DIPCOT vorhergesagt. SAFER verwendet für die Berechnung der Wolkenstrahlung die bodennahe Konzentration und in Entfernungen unterhalb des Maximums der bodennahen Konzentration den Wert des Maximums. Es zeigt sich, dass dies vereinfachende Annahme zu keinen signifikanten Abweichungen führt.
- Die Dosis aus Bodenstrahlung skaliert entsprechend der Vorhersagen für die Deposition.

Zum Abschluss dieses Szenarios ist festzuhalten, dass hier die größte Unsicherheit aus der Behandlung der Wolkenstrahlung resultiert. Die Ergebnisse für die Inhalation unterscheiden sich in erster Linie aufgrund unterschiedlicher Modellparameter. Generell sind die Unterschiede deutlich größer als im labilen Fall.

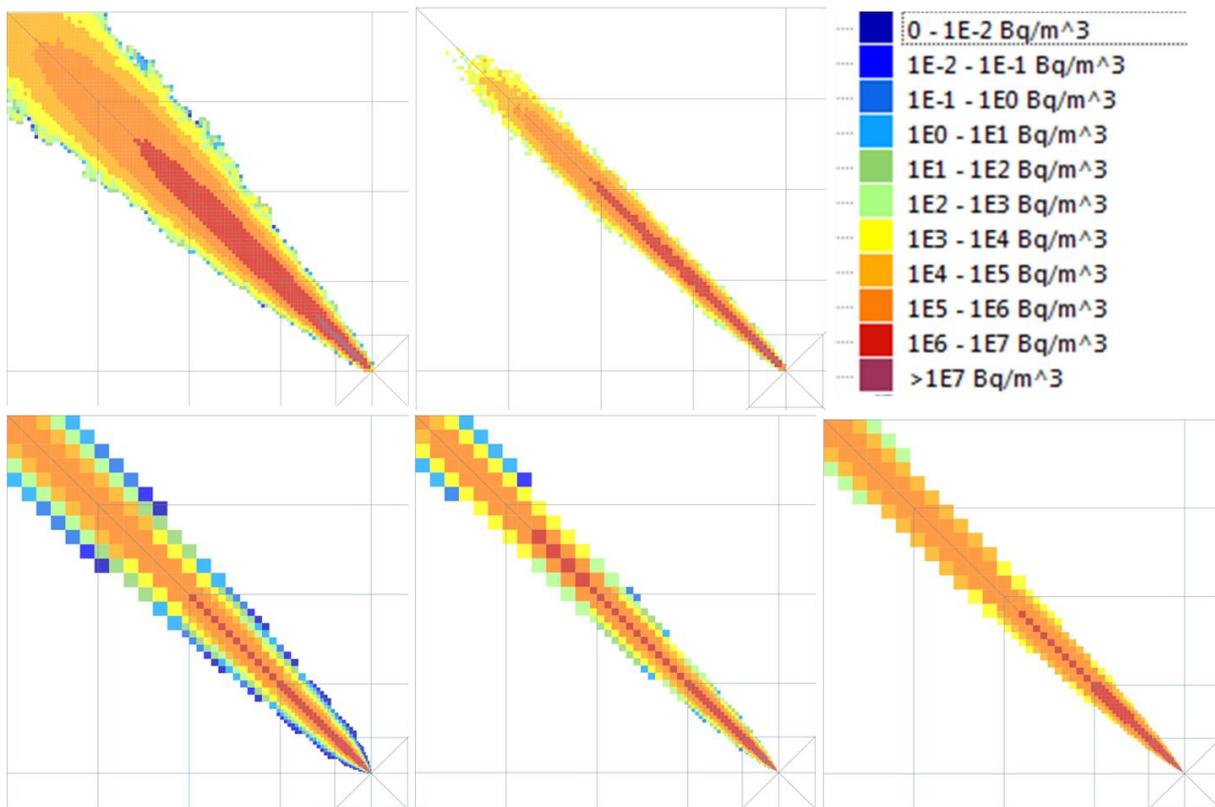


Abbildung 3.4-2: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

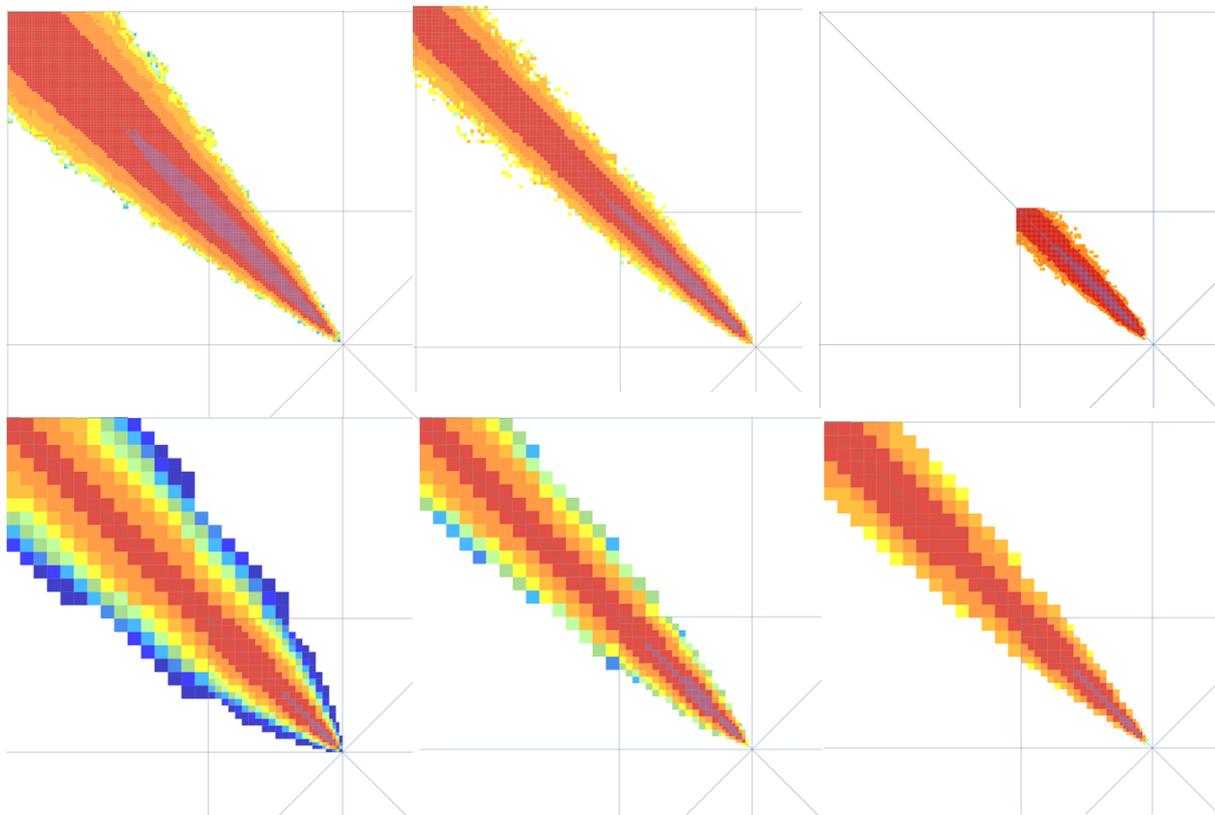


Abbildung 3.4-3: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

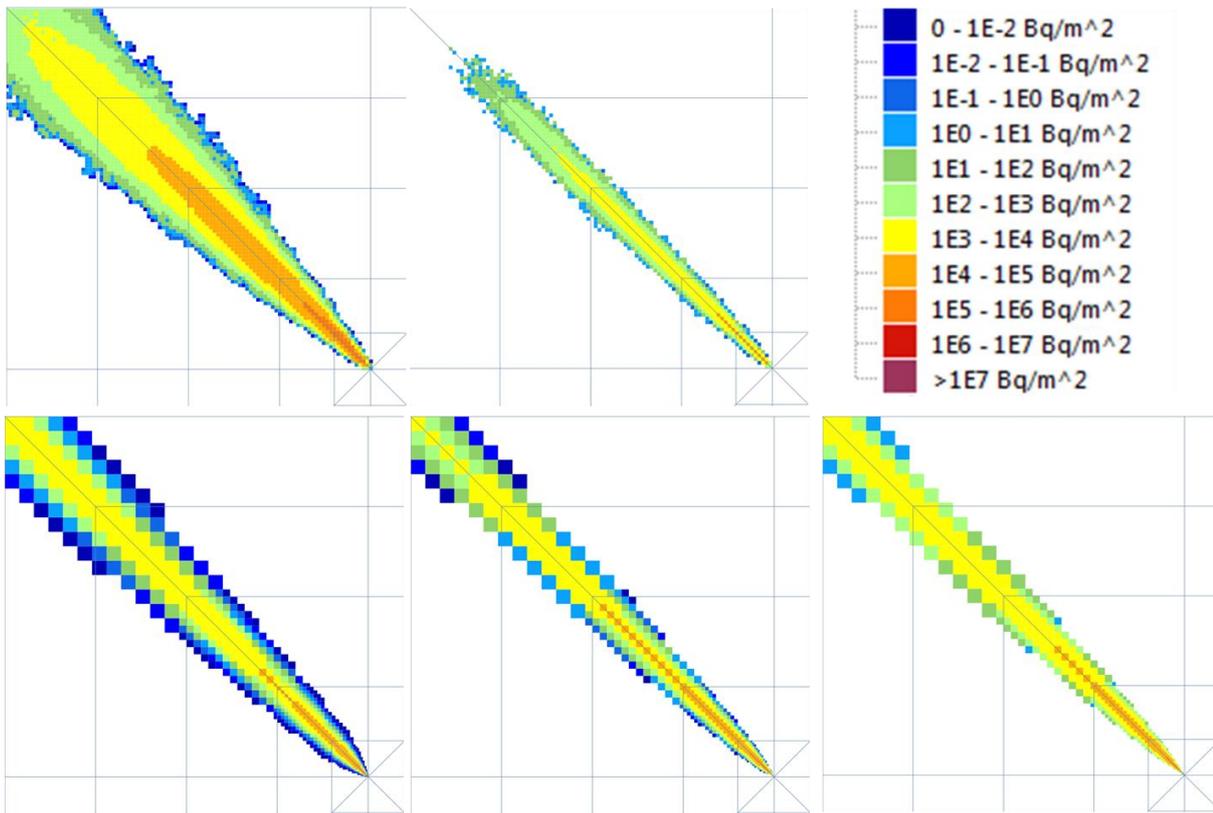


Abbildung 3.4-4: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

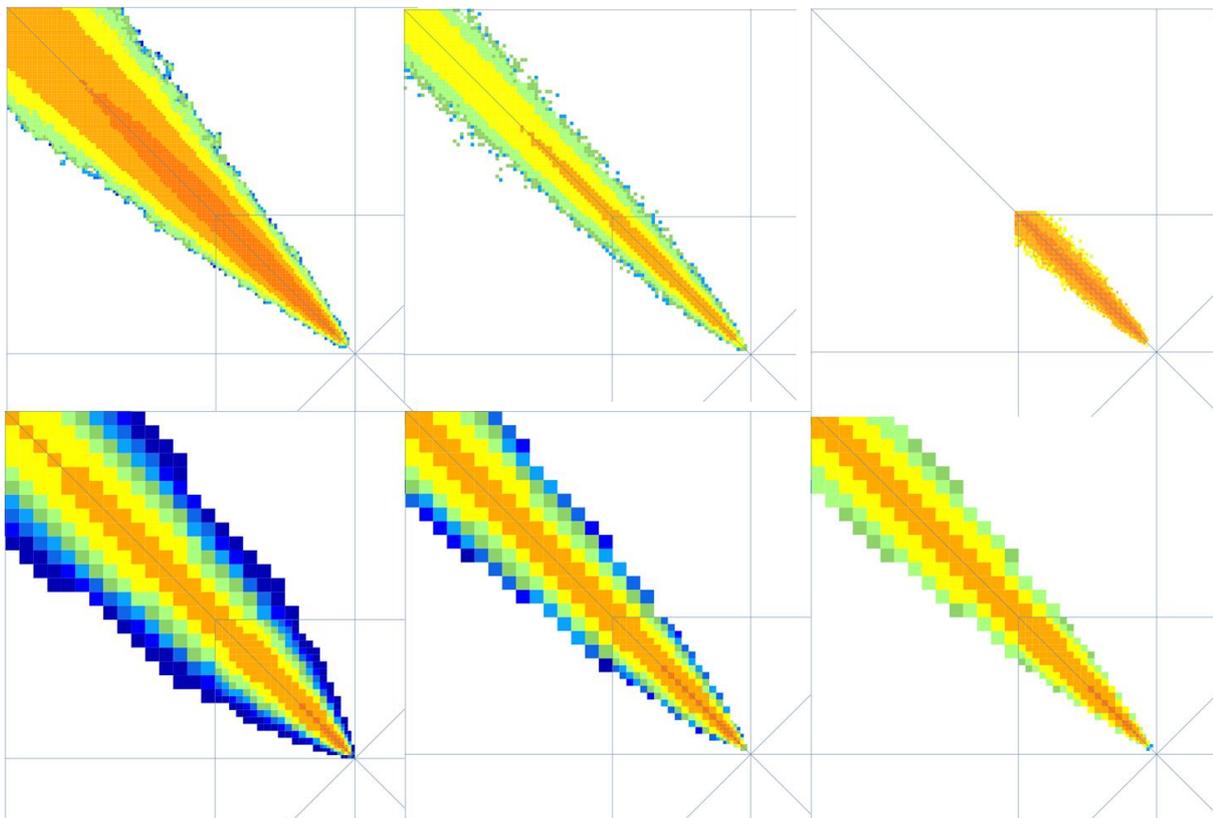


Abbildung 3.4-5: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

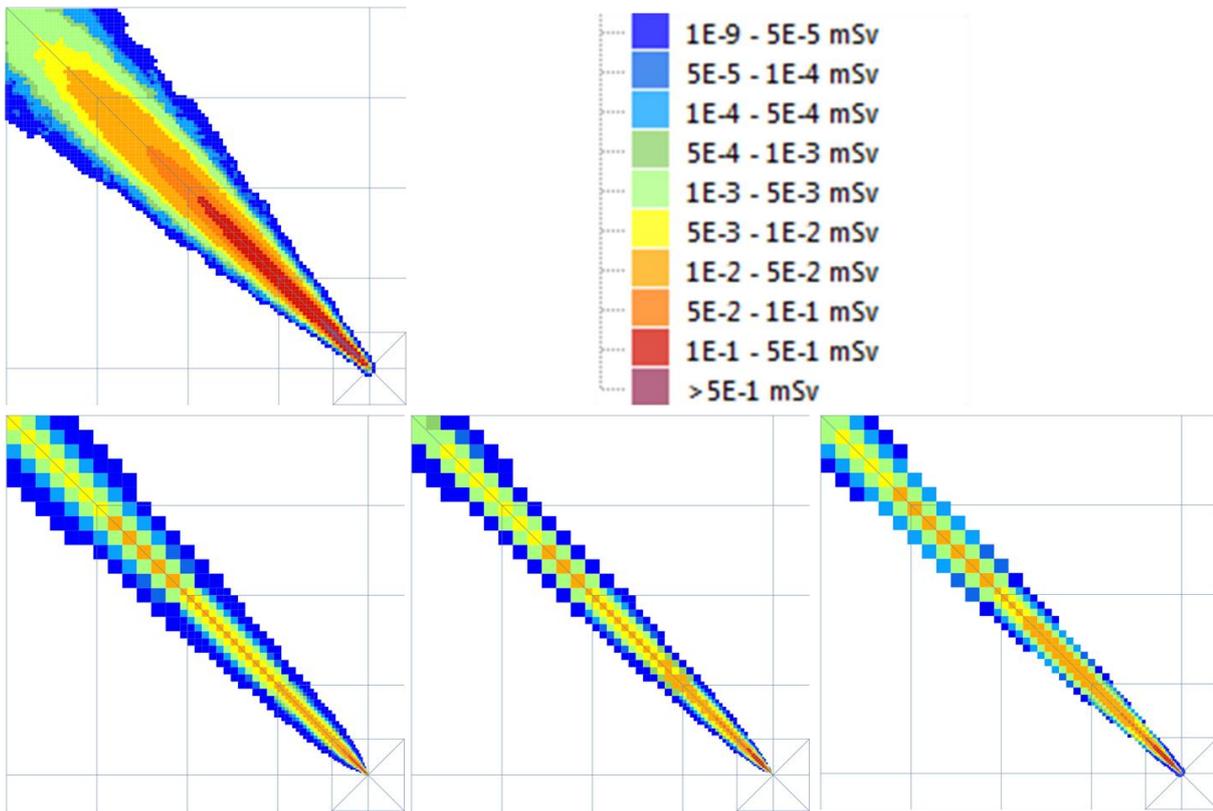


Abbildung 3.4-6: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

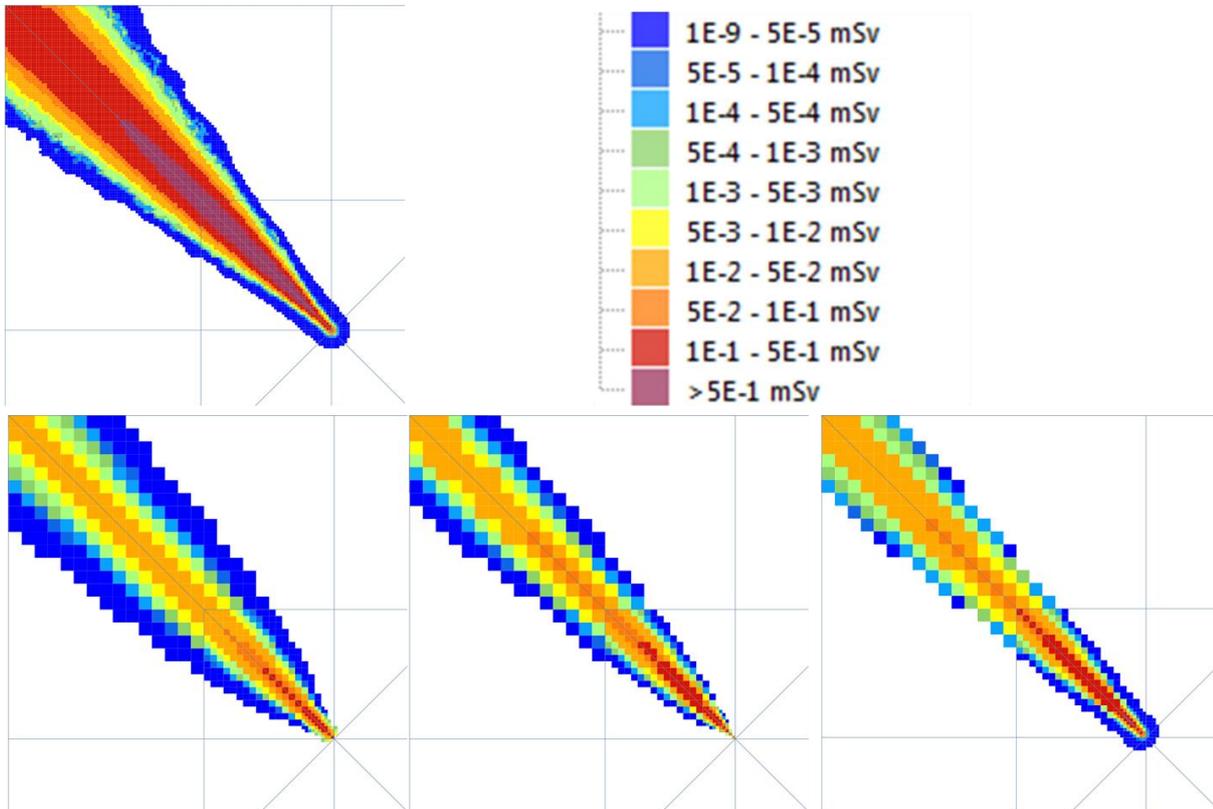


Abbildung 3.4-7: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

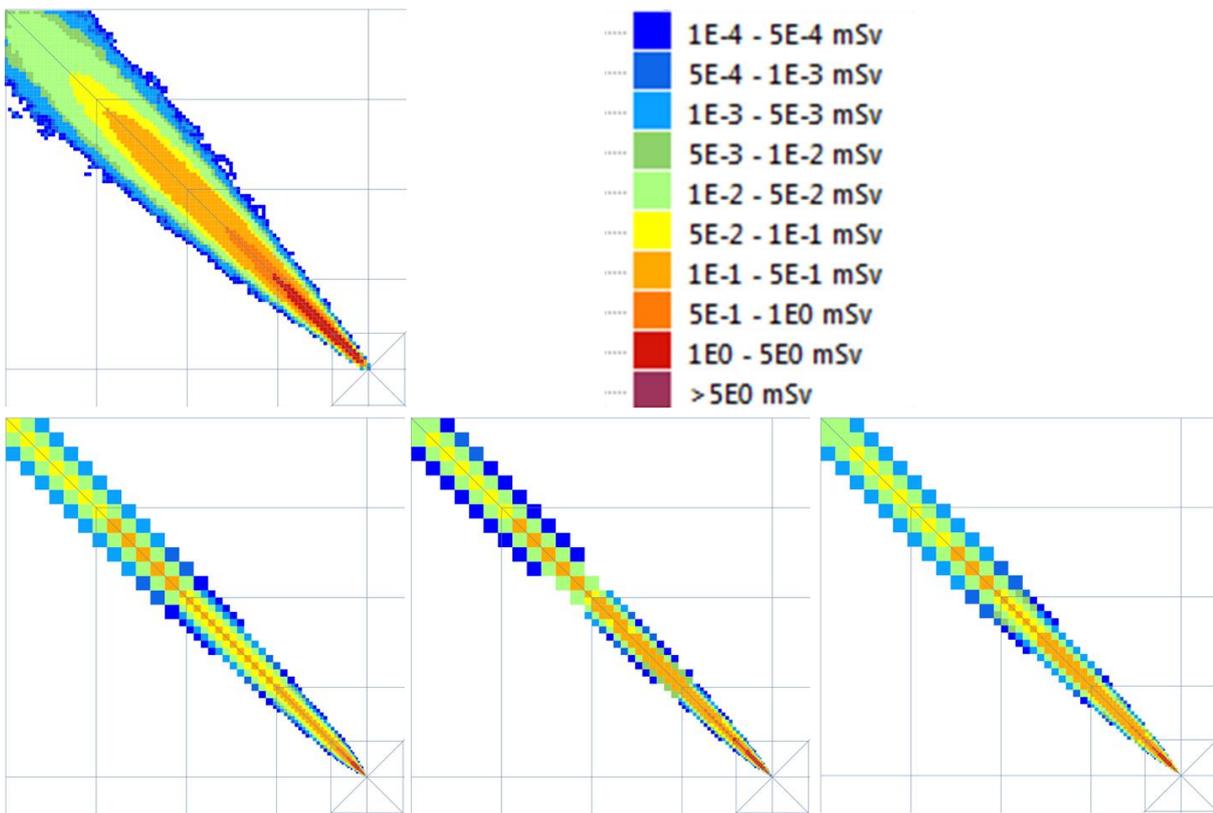


Abbildung 3.4-8: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

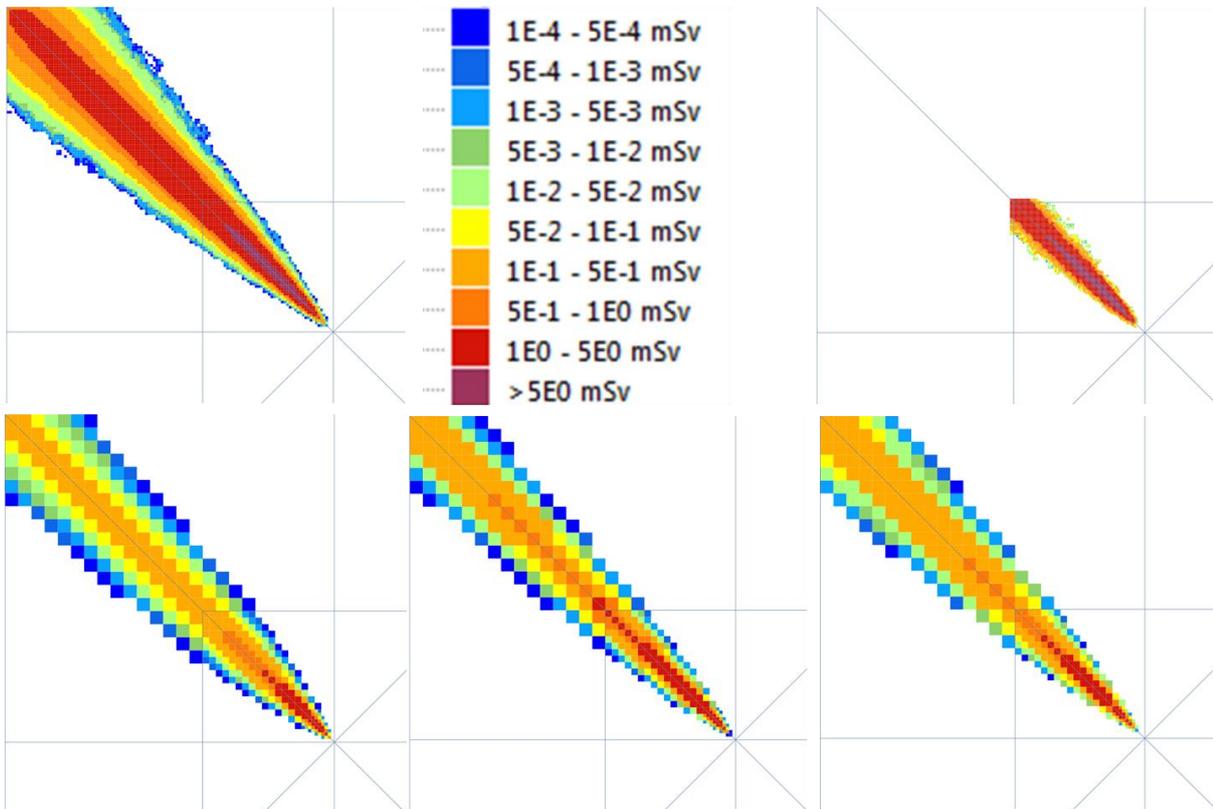


Abbildung 3.4-9: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

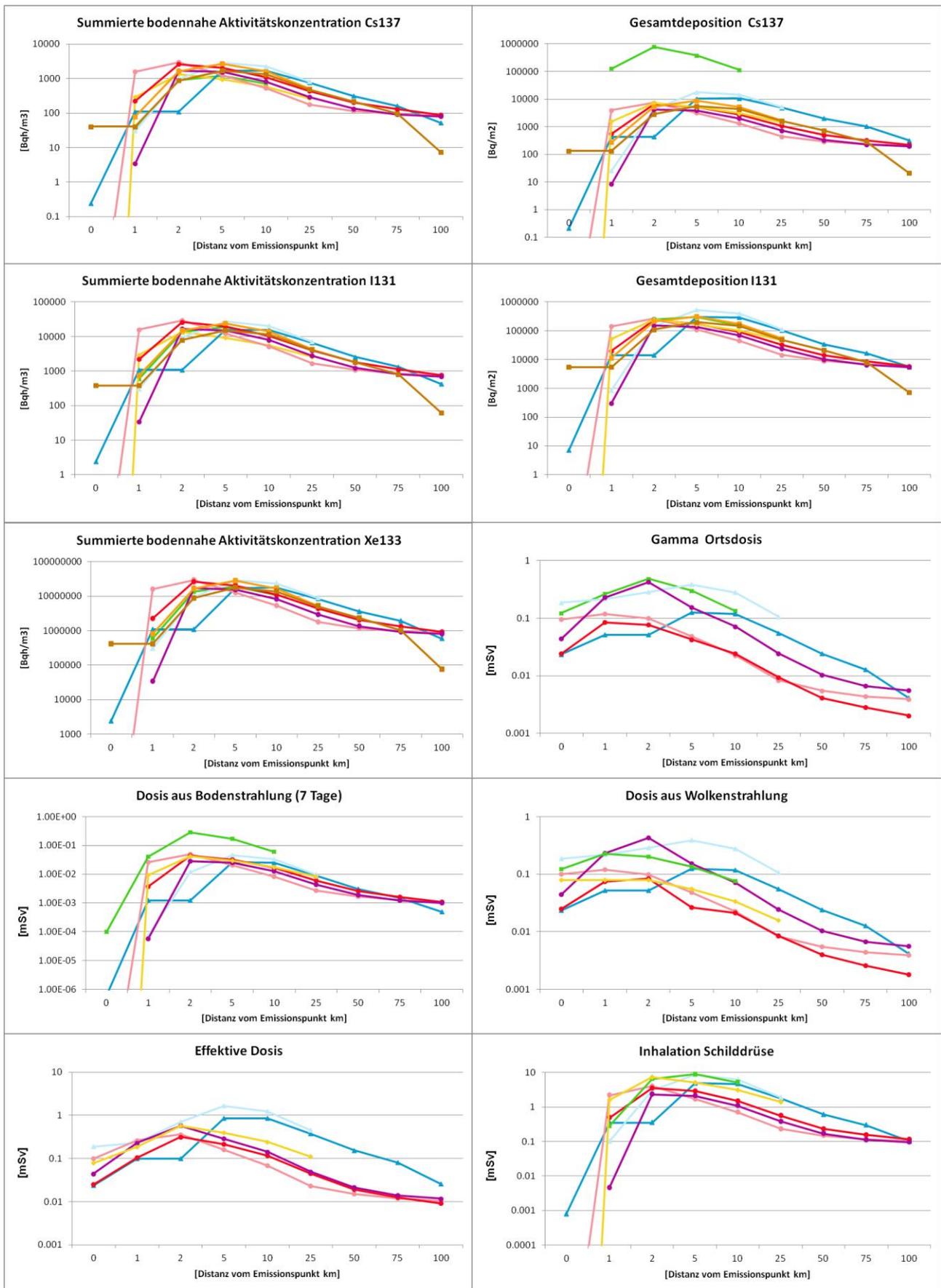


Abbildung 3.4-10: Verlauf von bodennaher Konzentration, Deposition und verschiedener Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M3.

3.5 SZENARIO E1M4: STABILE SCHICHTUNG

Bei der in diesem Abschnitt betrachteten Diffusionskategorie E werden aufgrund der im Vergleich zu E1M3 geringeren Turbulenz vertikal deutlich schmalere Fahnenformen sowie niedrigere bodennahe Konzentrationen und damit verbundene Bodenkontaminationen in Quellnähe erwartet. Die Maximalwerte sollten entsprechend in deutlich größerer Entfernung zum Emissionsort liegen.

3.5.1 Windprofile

Betrachtet man die in Abbildung 3.5-1 dargestellten vertikalen Windprofile so findet man aus allen bisher betrachteten Szenarien die beste Übereinstimmung zwischen den Modellen. Etwas künstlich erscheint die Struktur im RODOS-Windmodell in großen Höhen. Ein solches Verhalten ist manchmal oberhalb der Grenzschicht zu beobachten. Aus den Verläufen ist zu erwarten, dass die Transportzeiten der Wolke von allen Modellen ähnlich beschrieben wird, was sich auch entsprechend in den hier nicht separat gezeigten Ergebnissen für die Zeitabhängigkeit bestätigt.

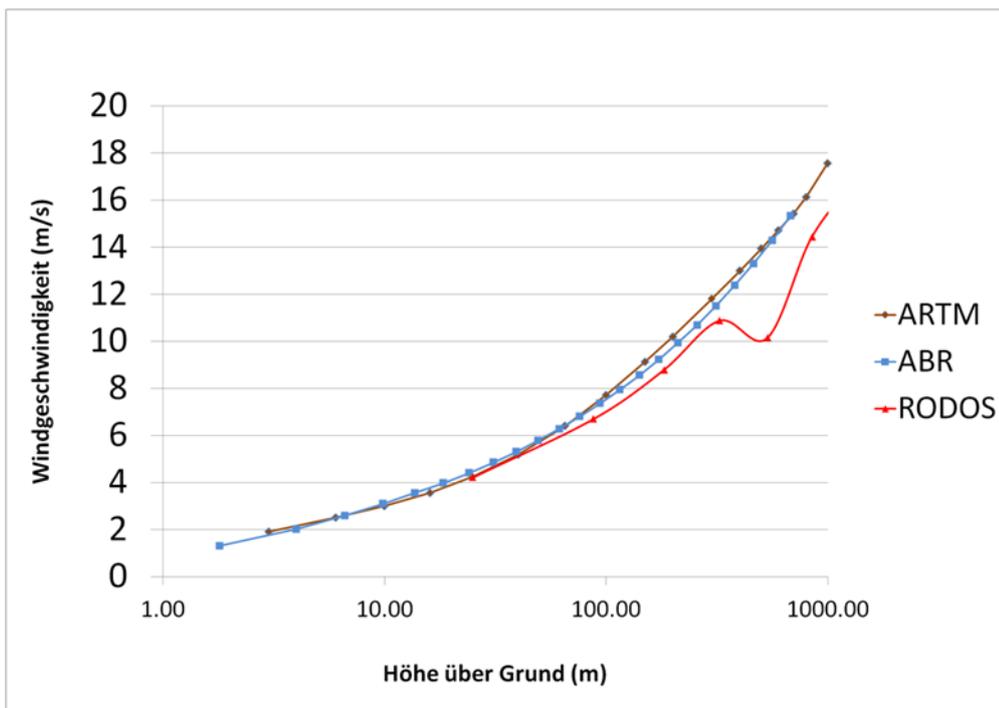


Abbildung 3.5-1: Windgeschwindigkeitsprofile E1M4 der betrachteten Modelle aus RODOS, ABR, ARTM (LASAIR).

3.5.2 Bodennahe Konzentrationen

Aus den Ergebnissen für die Windprofile wäre zunächst eine bessere Übereinstimmung der Modellergebnisse zu erwarten. Diese Erwartung bestätigt sich jedoch nur teilweise. In Quellnähe treten zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Modellen auf (Abbildungen 3.5-2, 3.5-3, 3.5-10). Alle Modelle weisen wie erwartet deutlich schmalere Fahnen im Vergleich zur neutralen Schichtung aus, insbesondere ARTM (s.u.). Die deutlichsten Unterschiede zeigen sich in Quellnähe.

Hanna (Hanna 1983) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass bei stabilen Verhältnissen schmale Fahnen in der Realität nicht immer beobachtet werden, sondern auch wesentlich breitere Fahnen auftreten können. Die Einteilung des Turbulenzzustandes der Atmosphäre in Diffusionskategorien nach Pasquill beruht auf der Standardabweichung der horizontalen Windrichtungsfluktuation σ_θ . Bei den stabilen Diffusionskategorien E und F liegt σ_θ nach KTA 1508 (11/2006) unter 5° in 100 m Höhe ($7,9^\circ$ in 10 m Höhe). Tatsächlich werden nach (Hanna 1983) aber bei stabilen Schichtungsverhältnissen größere Standardabweichungen der horizontalen Windrichtungsfluktuation vor allem in Bodennähe bis zu etwa 100° beobachtet. Das wird auf Einflüsse der Bodenoberfläche und langwellige Anteile der Diffusion zurückgeführt. Letztere treten bei größeren Mittelungszeiten hervor. Die Bevorzugung der schmalen Fahnen ist ein konservativer Ansatz, der zu höheren Konzentrationen unter der Fahnenachse als bei breiteren Fahnen führt. In Genehmigungsverfahren interessiert vor allem der Nachweis, dass bestimmte Konzentrationen (oder in Folge auch Strahlendosen) nicht überschritten werden. In diesen Anwendungsfällen ist die Beschränkung der Betrachtungen auf schmale Fahnen bei stabilen meteorologischen Verhältnissen deshalb auch gerechtfertigt. Dem Anspruch

auf eine realitätsnahe Abschätzung der Konzentration genügen diese Ansätze für die horizontale Diffusion indes nicht; bei den hier betrachteten Ausbreitungssituationen dürften in einigen Fällen breitere Fahnen auftreten in Verbindung mit geringeren Konzentrationen unter der Fahnenachse. Eine realitätsnähere Betrachtung ist nach Hanna nur durch standortspezifische und richtungsabhängige Beobachtungen möglich. Solche Beobachtungen wären allerdings sehr aufwändig und nur im Nahbereich möglich. Standortspezifische Diffusionsparameter würden zudem den Anwendungsbereich der Ausbreitungsmodelle erheblich einschränken.

Folgende Punkte sind weiterhin festzuhalten:

- Entlang der Ausbreitungsrichtung gehen die betrachteten Werte bei allen Modellen wie für die stabile Schichtung typisch vom Maximalwert bis zu einer Entfernung von 100 km nur um ca. eine Größenordnung zurück.
- Die bodennahen Konzentrationen zeigen eine gemäß der Ähnlichkeit der Windfelder erwartete sehr gute Übereinstimmung der Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT, RIMPUFF und SAFER ab einer Entfernung von ca. 5 km.
- Die Ergebnisse von SAFER und ATSTEP sind sogar bis zur Quellnähe annähernd identisch.
- Bei den RODOS-Modellen zeigt RIMPUFF etwas geringere Werte. Bemerkenswert ist die sehr gute Übereinstimmung dieses Modells mit der ABR bereits ab 2 km.
- ARTM zeigt erst ab Entfernungen größer als 10 km Beiträge. Besonders auffällig ist die extrem schmale Fahne. Entlang der Ausbreitungsrichtung werden die Werte in größeren Entfernungen im Vergleich zu den anderen Modellen sogar etwas größer, d.h. das Maximum liegt weit entfernt von der Quelle. Aufgrund der Tatsache, dass die Turbulenzparametrisierung der VDI-Richtlinie 3783, Blatt 8 [75], insbesondere bei stabiler thermischer Schichtung und Freisetzungen in größeren Höhen vertikal extrem schmale Konzentrationsfahnen hervorruft, sowie auf der Grundlage regelmäßiger Überprüfungen und Erfahrungen aus der Anwendung im Zusammenhang mit den Modellsystemen AUSTAL2000 und ARTM erfolgt zurzeit eine entsprechende Überarbeitung der VDI-Richtlinie.
- Der Einfluss der räumlichen Auflösung (ARTM und ABR) ist deutlich sichtbar. Mit zunehmendem Abstand werden die Unterschiede erwartungsgemäß geringer.
- Die LASAIR-Ergebnisse zeigen für dieses Szenario eine bereits in der Diskussion zu E1M1 ange deutete Abweichung zu den anderen Ergebnissen auf: Das Modell sagt im betrachteten Gebiet keinerlei bodennahe Konzentrationen aus. Wie dort bereits erwähnt, werden bei den Ergebnisfeldern für die bodennahen Konzentrationen nur Partikel mit kleinen Korngrößen $<10\ \mu\text{m}$ berücksichtigt. Hier verhält sich das Modell ähnlich zu ARTM (das Rechengebiet von LASAIR erstreckt sich auf ein Gebiet von ca. 10 km Abstand von der Quelle).

3.5.3 Deposition

Die Depositionsergebnisse (Abbildungen 3.5-4, 3.5-5, 3.5-10) verhalten sich auch bei diesem Szenario mit Ausnahme von LASAIR völlig analog zur Konzentration und zu den bisher betrachteten Szenarien. Die höhere trockene Deposition der ABR ist – vor allem beim Cs137 – deutlich zu erkennen. Beim LASAIR zeigt sich die zunächst paradox erscheinende Situation einer starken Deposition (Cs137) bei gleichzeitig verschwindender Konzentration. Dieser Punkt wurde bereits ausführlich im Rahmen der Diskussion des Szenarios E1M1 beschrieben und geklärt.

3.5.4 Dosisparameter

Bei den untersuchten Dosisparametern bestätigen sich die bereits in den vorigen Szenarien festgestellten Gemeinsamkeiten und Unterschiede:

- Bei der Inhalationsdosis zeigt sich wieder die Verwendung unterschiedlicher Modellparameter in den Unterschieden zwischen Safer und ABR einerseits und RODOS andererseits. LASAIR sagt eine konsistent zur verschwindenden Konzentration verschwindende Inhalationsdosis voraus.
- In der Dosis aus Wolken- und Bodenstrahlung sind ATSTEP und SAFER sehr ähnlich.
- Generell korreliert die Dosis aus Bodenstrahlung vollständig zur Deposition.
- Wie erwartet sind die Unterschiede zwischen den Modellergebnissen im Bereich der Quelle sehr groß.
- Die Submersionsdosis von RIMPUFF ist deutlich höher als bei DIPCOT und ATSTEP und verläuft ähnlicher zur ABR. Dieses Verhalten pflanzt sich entsprechend in die Ergebnisse der Ortsdosis und effektiven Dosis fort.

- Die LASAIR-Ergebnisse für die Dosis sind wie folgt zu verstehen: Die Gammasubmersion resultiert aus der Strahlung aus höheren Schichten. Die Bodenstrahlung verhält sich konsistent zur Gesamtdosition des Cs137, die in diesem Fall durch die sedimentierten Aerosolpartikel entsteht. Festzuhalten ist dabei, dass auch dieser Ablagerungsprozess bei der hier vorliegenden stabilen Schichtung erst ab ca. 3 km Abstand von der Quelle beginnt. Zur Illustration sind daher die Deposition des Cs137 und die daraus resultierende Bodenstrahlung wie von LASAIR berechnet in Abbildung 3.5-11 gezeigt. Deutlich sind zwei Bereiche mit Erhöhungen zu erkennen, die den beiden größten Korngrößen zuzuordnen sein dürften. Zum Vergleich beachte man die zugehörige verschwindende Deposition von I131 bei LASAIR in Abbildung 3.5-5.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die Ergebnisse für die Luftkonzentrationen für die RODOS-Modelle (insbesondere RIMPUFF) etwas ähnlicher zu den ABR-Vorhersagen sind. Die Unterschiede in Quellnähe sind deutlich. Neu an diesem Szenario ist die aus der unterschiedlichen Turbulenzparametrisierung resultierende deutliche Abweichung der ARTM und LASAIR-Ergebnisse zu den anderen Modellen (Ausnahme Gammasubmersion). Es ist daher zu erwarten, dass die beobachteten Unterschiede zwischen den Modellen bei der in diesem Bericht nicht betrachteten sehr stabilen Schichtung (Diffusionskategorie F) noch deutlicher ausfallen dürften.

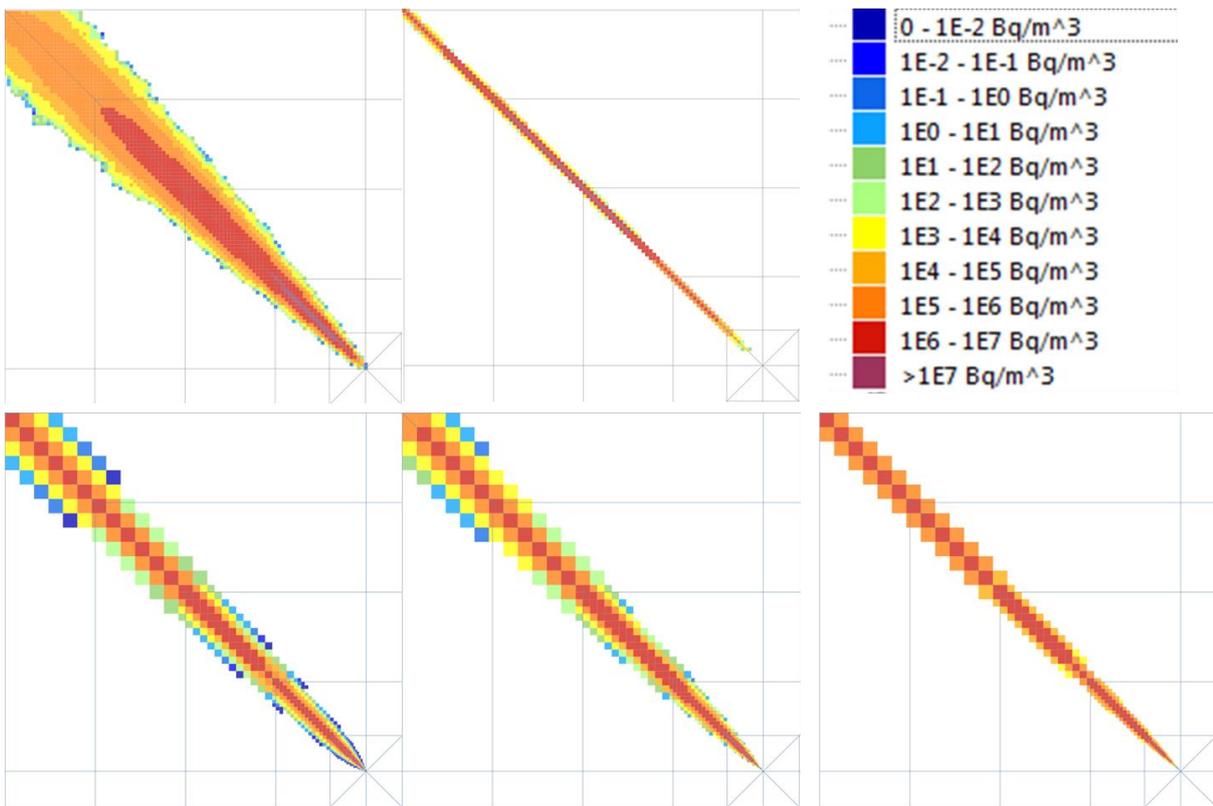


Abbildung 3.5-2: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

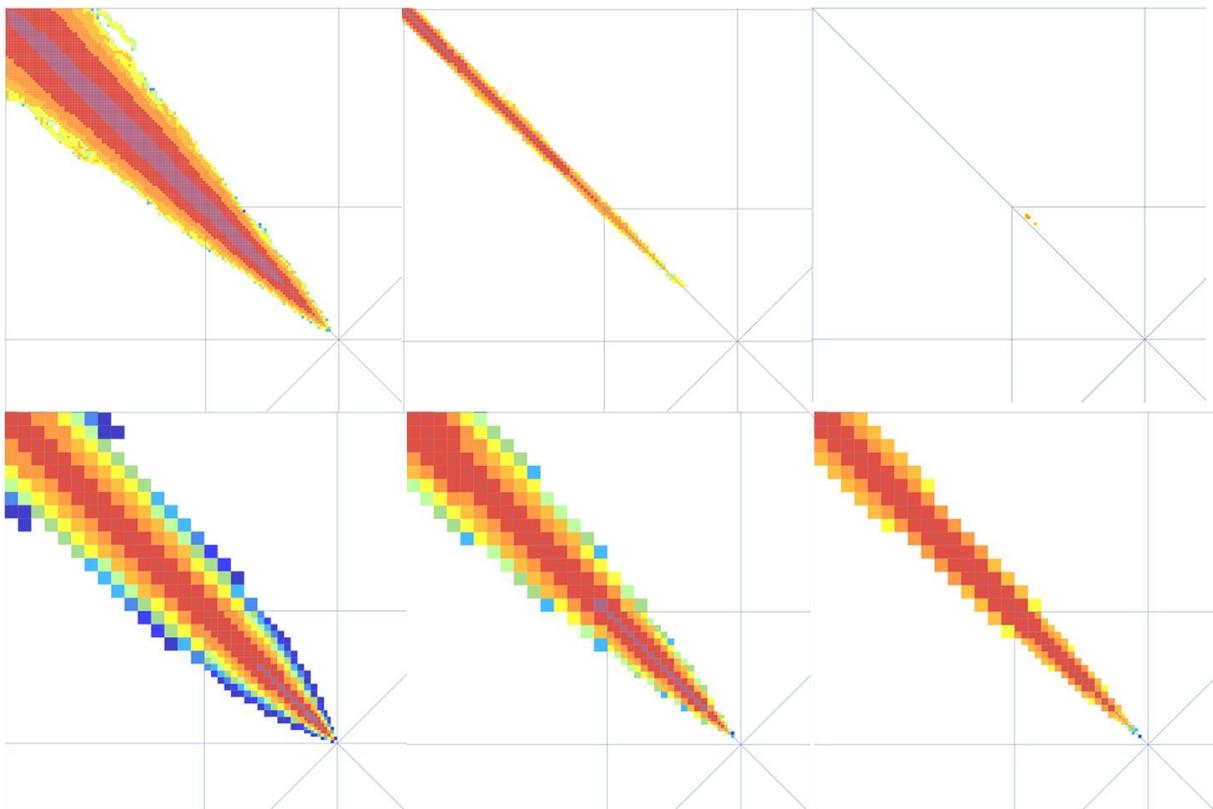


Abbildung 3.5-3: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

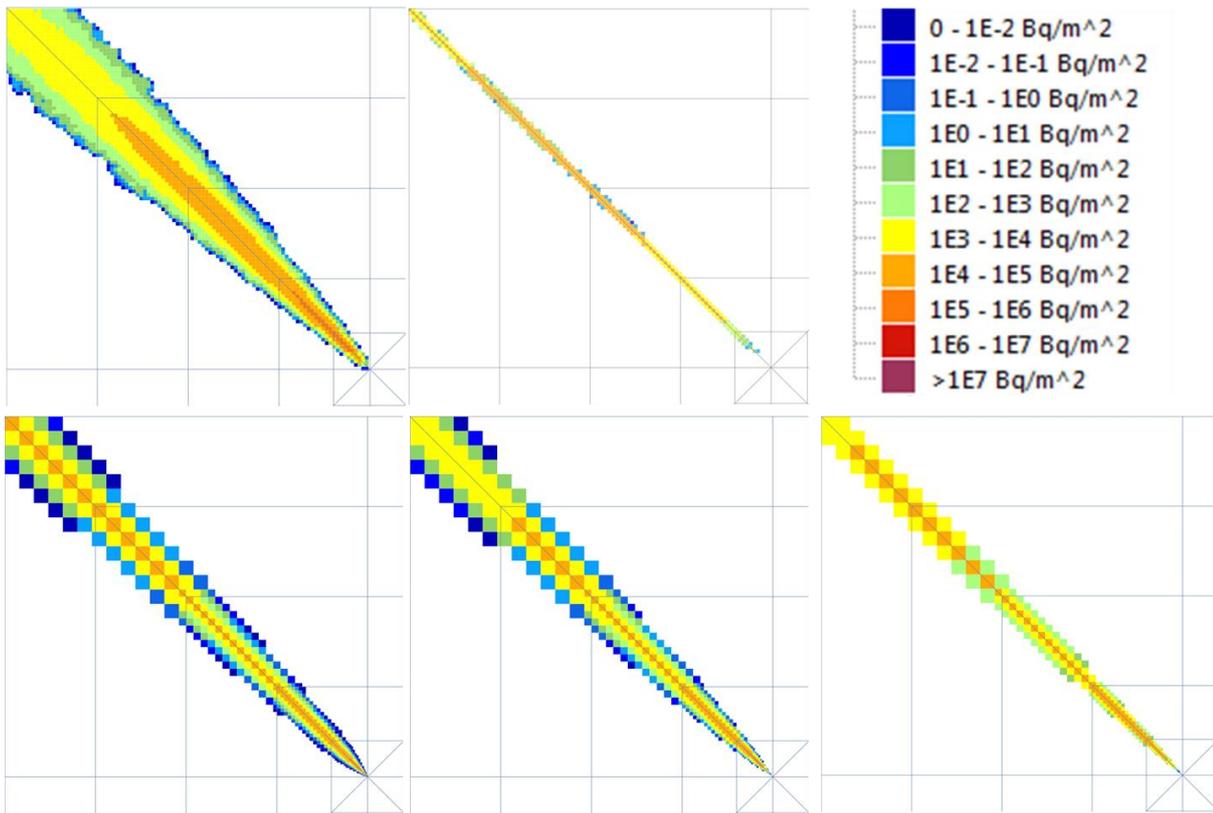


Abbildung 3.5-4: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

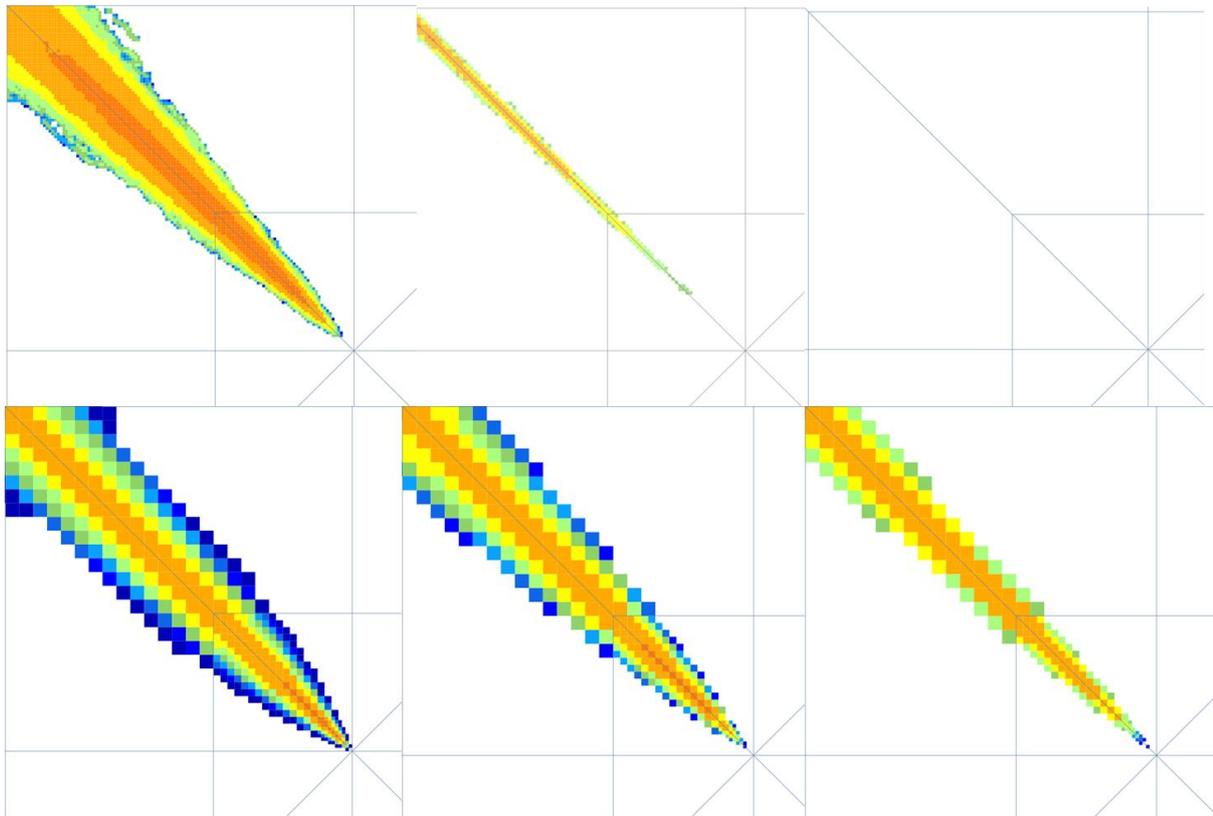


Abbildung 3.5-5: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

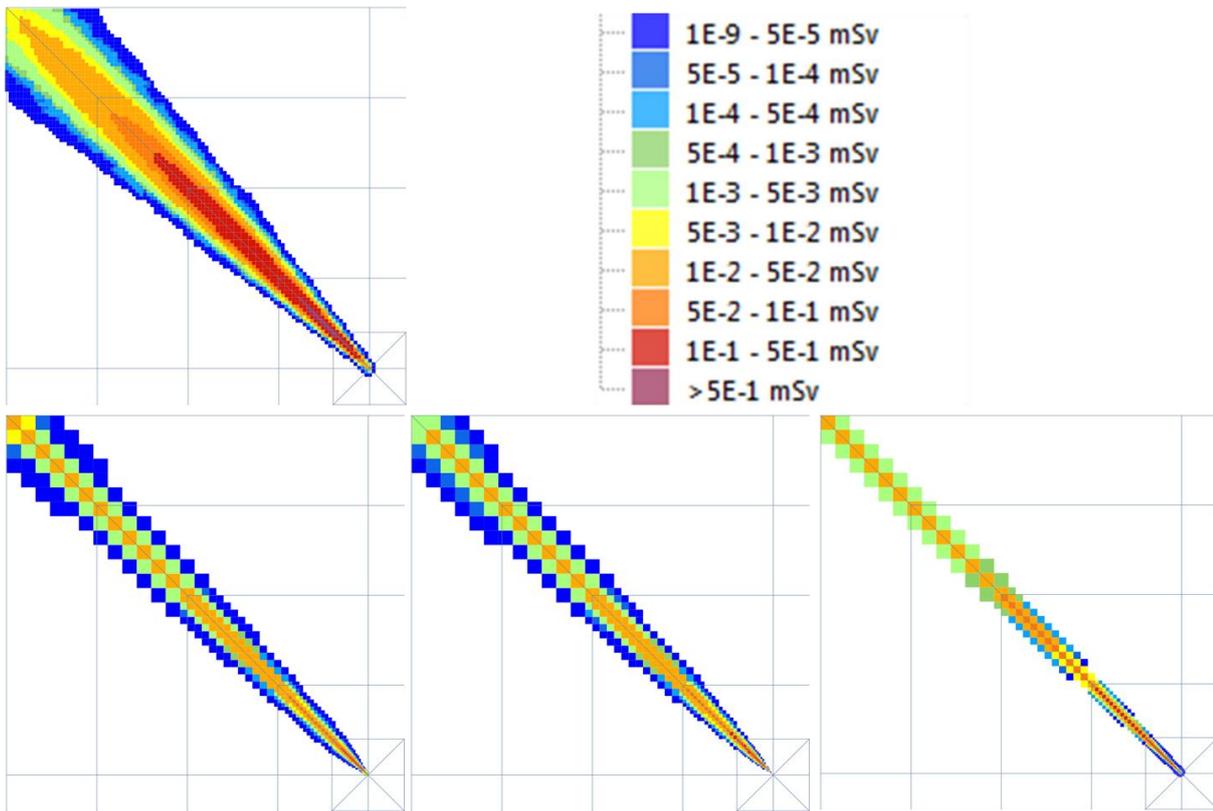


Abbildung 3.5-6: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

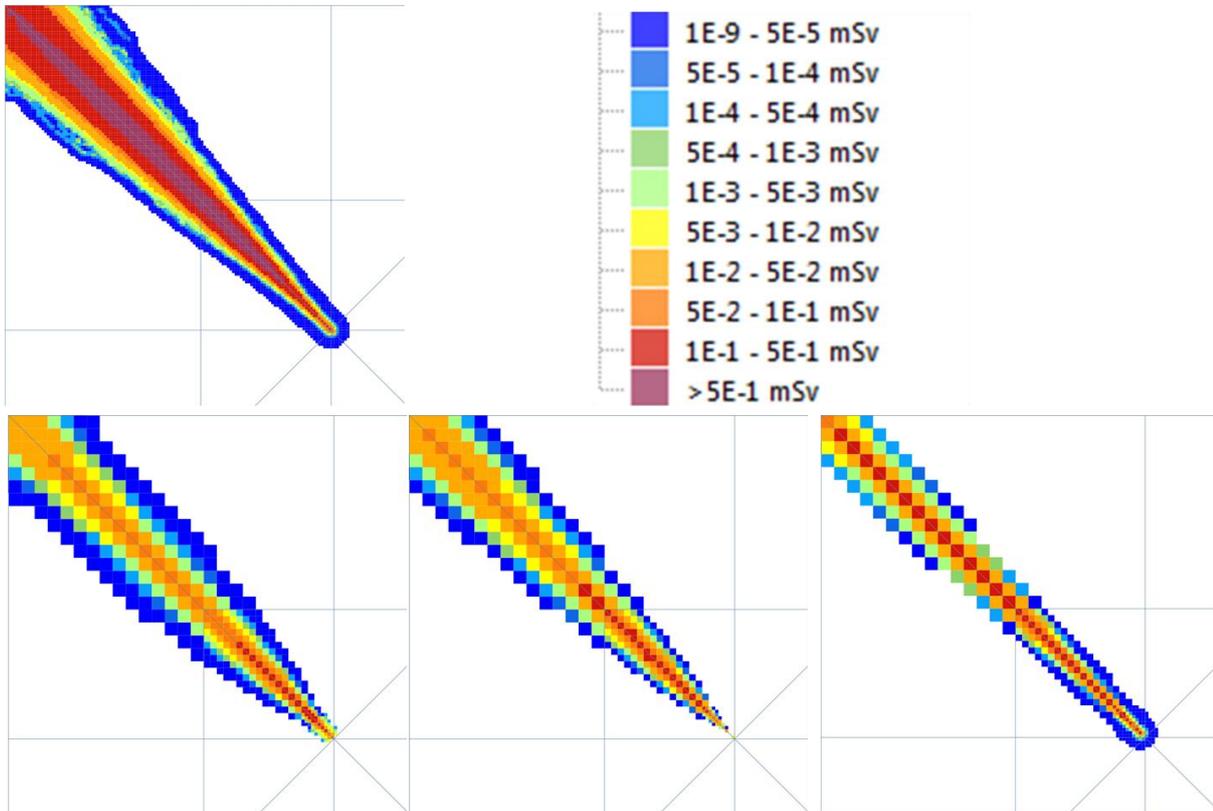


Abbildung 3.5-7: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

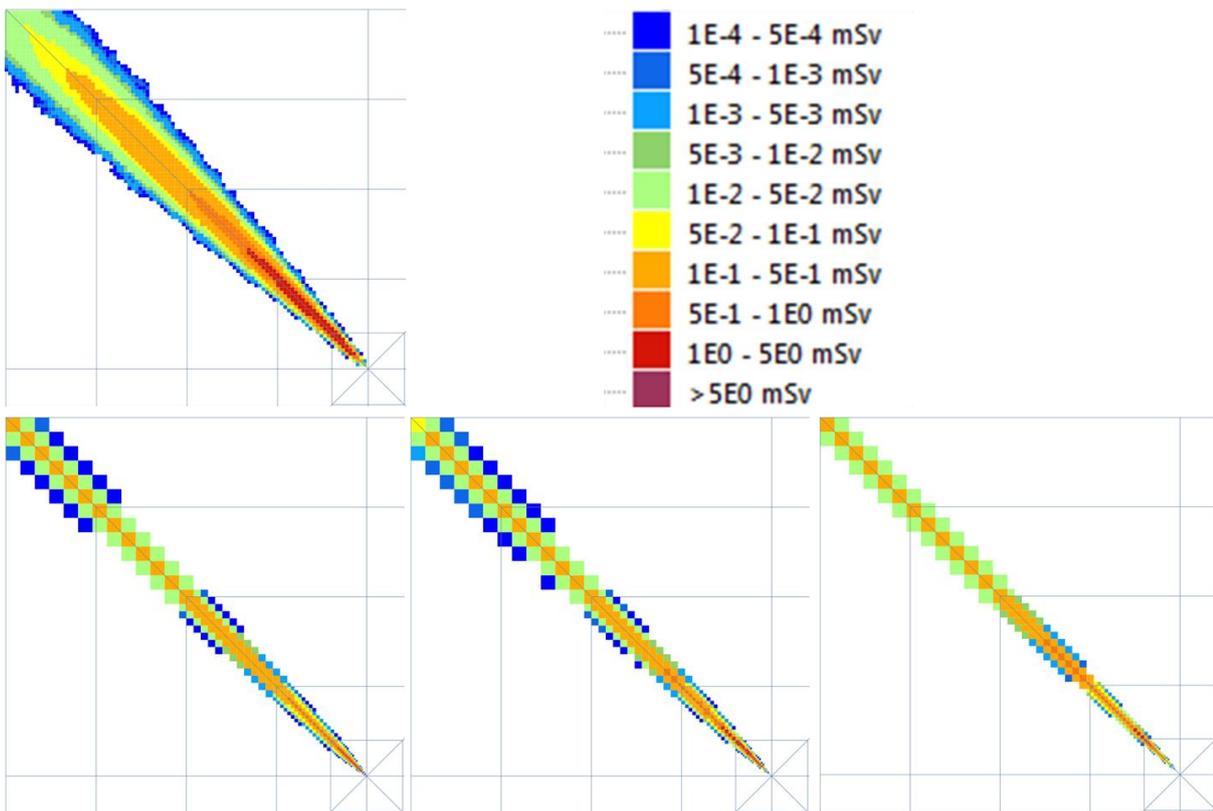


Abbildung 3.5-8: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

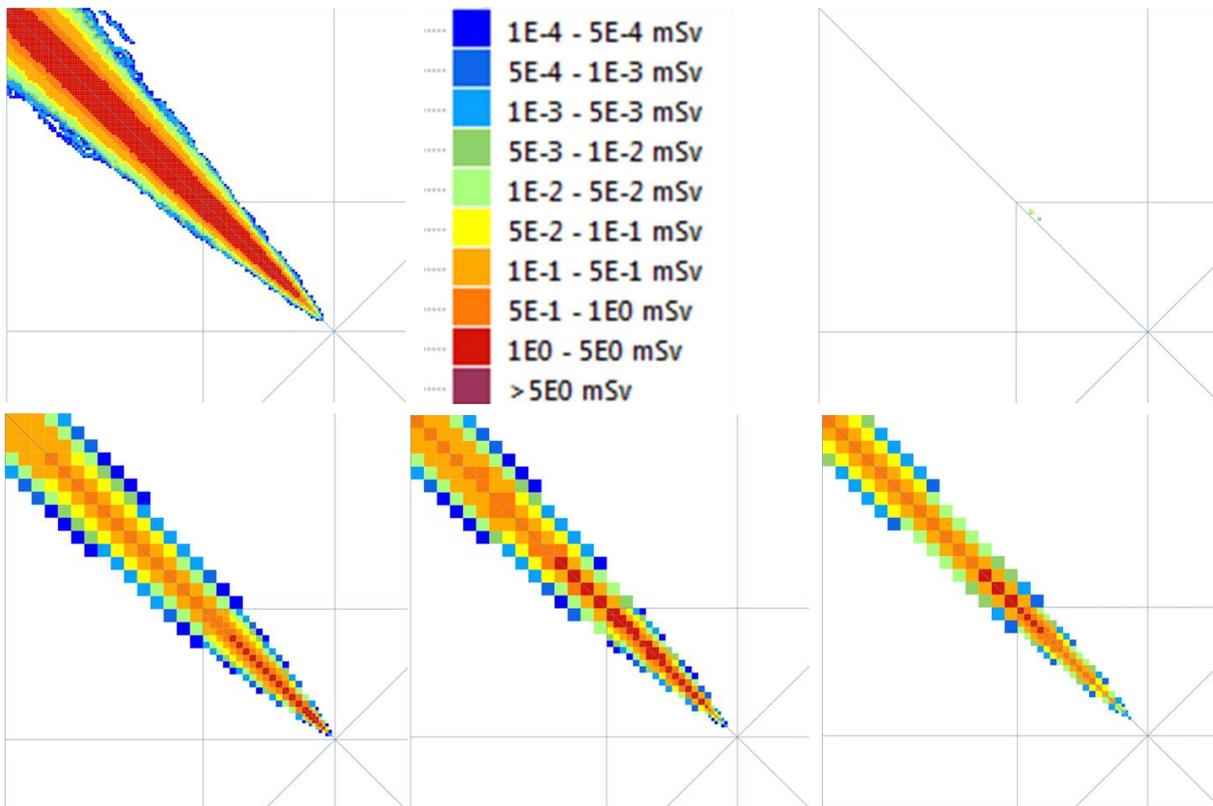


Abbildung 3.5-9: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), LASAIR (rechts oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

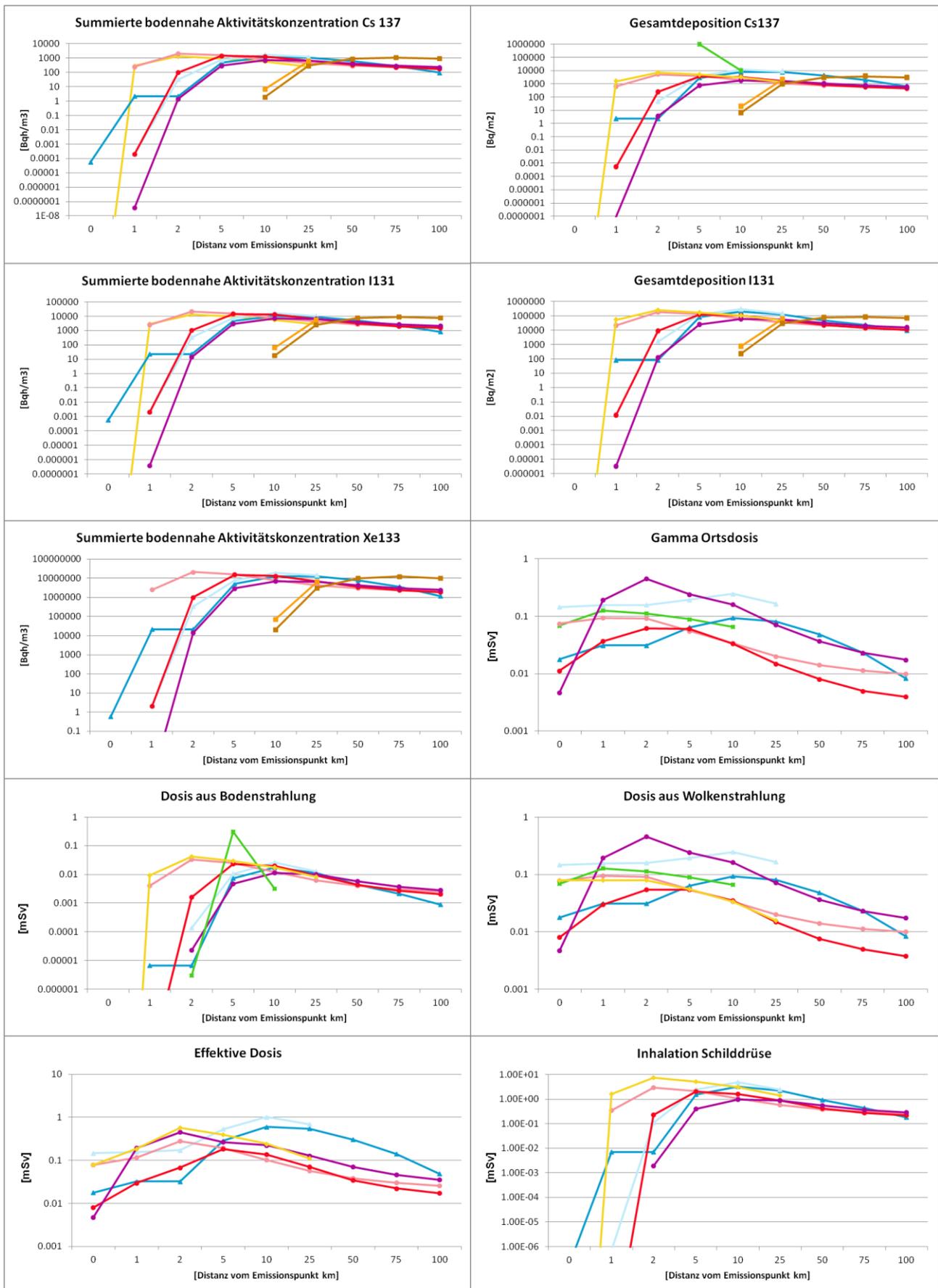


Abbildung 3.5-10: Verlauf von bodennahe Konzentration, Deposition und verschiedenen Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M4.

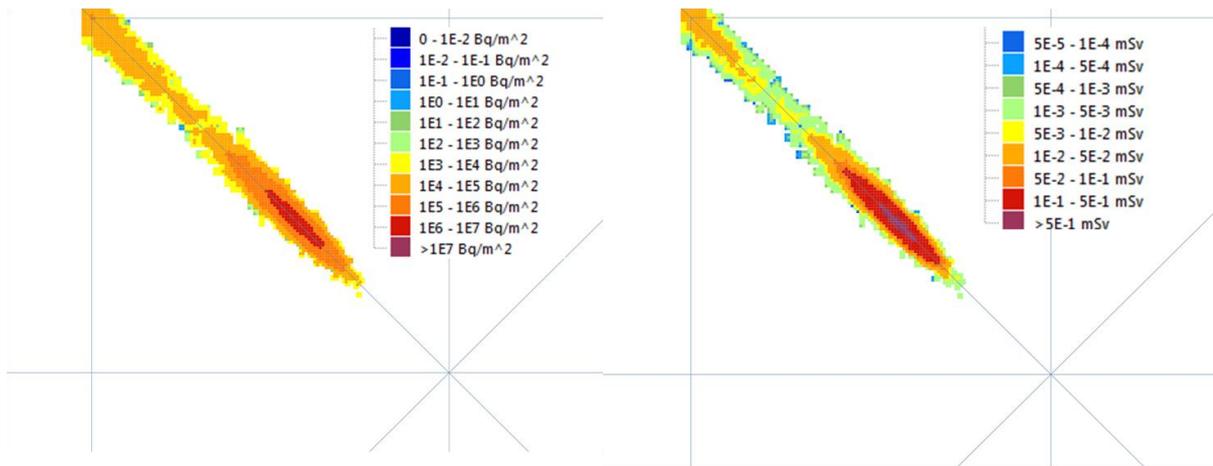


Abbildung 3.5-11: Vergleich von Cs137-Deposition und daraus resultierender Gammabodendosis für das Modell LASAIR im Szenario E1M4. Gezeigt ist ein Ausschnitt von etwas mehr als 10 km Abstand von der Quelle. Die großen Werte am Anfang der Fahne resultieren aus der Sedimentation. Auch dieser Effekt beginnt erst nach ca. 3,5 km Abstand zur Quelle. Zwei erhöhte Bereiche sind aufgrund des verwendeten Spektrums zu erkennen.

3.6 SZENARIO E1M5: EINFLUSS DES NIEDERSCHLAGS BEI NEUTRALER SCHICHTUNG

3.6.1 Bodennahe Konzentrationen

Da die Edelgaskonzentration unabhängig vom Regen ist (die hier vorliegende Betrachtung unterstellt als Herkunft des Edelgases Xe 133 die Emission; die Entstehung als Zerfallsprodukt von I133 braucht hier nicht in Rechnung gestellt werden.), sind die Konzentrationen von Xe133 identisch zu E1M3. Auch die (nicht gezeigten) 2D-Darstellungen der bodennahen Aerosol- und Iod-Konzentrationen unterscheiden sich auf den ersten Blick nur geringfügig von den E1M3-Resultaten und sind daher nicht als Flächendarstellung wiedergegeben. Im Detail betrachtet zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zu E1M3, die wie im folgenden Abschnitt beschrieben, durch die Abreicherung der Wolke zu erklären sind. Diese Unterschiede sind an den in Abbildung 3.6-7 gezeigten Verläufen der bodennahen Konzentrationen entlang der Ausbreitungsrichtung abzulesen (oberste drei Teilbilder in der linken Spalte). Es ist festzuhalten, dass die Modelle hier – abgesehen vom Bereich in der Nähe der Quelle – sehr gut übereinstimmen. Während die Ergebnisse für das Edelgas wie erwartet unverändert sind, liegen die Kurven für Aerosol und Iod in E1M5 sogar etwas näher zusammen als in E1M3. Dieser durch die Abreicherung verursachte Effekt ist im folgenden Abschnitt im Vorgriff auf die Diskussion der Deposition erläutert.

3.6.1.1 Genauere Betrachtung der Abreicherung und Einfluss auf die bodennahe Konzentration

Um den Effekt der Auswaschung (washout) auf die bodennahe Konzentration zu demonstrieren, sind in Abbildung 3.6-8 die Differenz sowie das Verhältnis der bodennahen Konzentrationen zwischen den Resultaten für E1M5 und E1M3 für Cs137 und I131 dargestellt. Aufgrund der höheren Ablagerung durch Niederschlag erfolgt eine deutliche Reduktion der Konzentrationen. Beim Aerosol ist der relative Effekt insgesamt deutlicher als beim Iod, da der Anteil des organischen Iods aufgrund von dessen geringer „Washout“-Rate in der Konzentration bleibt.

Insgesamt verhalten sich mit Ausnahme von LASAIR alle Modelle qualitativ ähnlich. Die stärkeren Unterschiede sind beim Cs137 festzustellen, deren Ursache die im folgenden Abschnitt dokumentierten Modellparameter sind. In Quellnähe zeigt ATSTEP den stärksten Effekt, wie aus dem für Abstände kleiner als 10 km konstanten Verhältnis ersichtlich ist. In größeren Abständen zeigt ARTM die stärkste Abreicherung beim Aerosol. Auffallend ist noch die etwas geringere relative Abreicherung bei der ABR bei Abständen größer als 50 km, was sich jedoch aus der in der ABR höheren trockenen Deposition erklären lässt. Bei LASAIR wird die Abreicherung durch „Washout“ nicht berücksichtigt (Verhältnis gleich eins). Die Ursachen sind rein implementierungstechnisch.

Zum Abschluss dieses Abschnitts wird darauf hingewiesen, dass die hier beobachtete gute Übereinstimmung der Modellergebnisse zwischen RODOS und der ABR für die nasse Deposition auf den bei der verwendeten Niederschlagsrate von 2 mm/h ähnlichen „Washout“-Faktoren beruht. Bei stärkerem Regen werden die Abweichungen zwischen den Modellergebnissen wieder etwas deutlicher. Das impliziert, dass die Modelle bei stark inhomogenen Niederschlagsereignissen (z.B. bei Gewittern) unterschiedliche Angaben prognostizieren. Im Sinne der Anwendung der Ausbreitungsmodelle im Rahmen des Notfallschutzes ist allerdings festzuhalten, dass solche Ereignisse in den Wetterprognosen nur sehr schwer präzise vorhersagbar

sind. Bei diagnostischen Rechnungen unter Verwendung von Radarniederschlagsdaten sind deutlichere Unterschiede zwischen den Modellergebnissen zu erwarten. Für die Darstellung der Ergebnisse bei auftretendem Niederschlag sollte aus diesem Grund stets auch eine zugehörige Niederschlagskarte zur Interpretation aufgenommen werden.

3.6.2 Deposition

Zur bisher betrachteten trockenen Deposition (sowie dem (trockenen) gravitativen Absinken bei LASAIR) kommt jetzt die Auswaschung von Radionukliden aus der Wolke hinzu. Diese ist bei den betrachteten Modellen in der gesamten vertikalen Ausdehnung der Wolke wirksam und über den einfachen Ansatz für den „Washout“-Faktor

$$\Lambda = \Lambda_0 \left(\frac{I}{1 \text{ mm/h}} \right)^\kappa$$

mit I als Regenintensität in mm/h (der Exponent Kappa liegt bei etwa 1) parametrisiert. Für die in den Modellen verwendeten Ansätze (siehe Modelldokumentationen in den Anhängen) ergeben sich folgende „Washout“-Faktoren bei 2 mm/h Regen:

Tabelle 3.6-1 Washout-Faktoren bei 2mm/h.

	ABR	RODOS	SAFER	ARTM	LPDM
Aerosol	1,22E-4	1,21E-4	1,22E-4	1,74E-4	5,12E-5
Iod elementar	1,22E-4	1,21E-4	1,22E-4	1,22E-4	1,22E-4
Iod organisch	1,22E-6	1,21E-6	1,22E-6	1,22E-6	1,22E-6

Die Parametrisierung bei LASAIR ist identisch zu ARTM. Allerdings ist hier zu beachten, dass die Faktoren von der Korngröße abhängen und daher in Summe bei den Aerosolen eine Kombination aus den Konzentrationen mit Partikeln der jeweiligen Korngrößen auftritt. Insgesamt ist der „Washout“-Faktor also anders als bei Verwendung von mit Partikelgrößen kleiner als 2,5 µm durchgeführten ARTM-Rechnungen definiert. Verglichen mit der trockenen Deposition sind die Modelle für die verwendete Regenrate allerdings deutlich ähnlicher parametrisiert. Der Gesamtbetrag des „Washout“ ist proportional zur über die Höhe integrierten Konzentration des betrachteten Nuklids, also abhängig von der hier nicht betrachteten vertikalen Konzentrationsverteilung, sowie von der horizontalen Auflösung. Daher reicht die Berücksichtigung der Werte aus der oberen Tabelle zur Klärung von beobachteten Unterschieden alleine nicht aus. Im Umkehrschluss ist zu folgern, dass bei übereinstimmenden nassen Depositionen und gleichen Ansätzen für den „Washout“ auch die über der entsprechenden Fläche aufintegrierten Gesamtkonzentrationen gleich sein müssen.

Die folgenden Feststellungen beziehen sich auf die Abbildungen 3.6-1, 3.6-2, 3.6-7:

- Für Quellentfernungen zwischen 5 und 75 km sind die beobachteten Abweichungen zwischen den Modellen relativ gering. Die hohen Werte des Cs137 bei LASAIR resultieren immer noch aus der trockenen Sedimentation.
- In größeren Abständen zeigen die RODOS-Modelle höhere Depositionswerte im Vergleich zur ABR. Das bedeutet, dass hier entlang der Ausbreitungsrichtung eine größere höhenintegrierte Konzentration auftritt.
- Auffallend sind die zum Teil sehr großen Unterschiede in Quellnähe. Betrachtet man diesen Bereich etwas genauer in der Fläche, so zeigt sich, dass die Unterschiede stark durch die räumliche Auflösung der Modelle begründet sind. Beim Vergleich mit experimentellen Daten zur Bodenkontamination ist in diesem Bereich daher besondere Sorgfalt geboten. So zeigt der Vergleich zwischen den Ergebnissen der ABR25 und ABR100 bereits eine Abweichung von einem Faktor 10. Auch ARTM1024 ist in Quellnähe deutlich kleiner als das höher aufgelöste Modell.
- Die ABR sagt die geringste nasse Gesamtdeposition vorher. Dieses Modell zeigte bei rein trockener Ablagerung hingegen die höchsten Werte. Der relative Effekt der nassen Deposition ist hier also deutlich geringer als bei den anderen Modellen. Das kann nur zum Teil aus der stärkeren Abreicherung durch die trockene Deposition begründet werden. Es ist anzunehmen, dass die ABR aufgrund

der stärkeren Verbreiterung der Fahne und eventuell vorhandenem Verlassen von Partikeln am oberen Rand des Modellgebiets in der Säule oberhalb des betrachteten Aufpunkts eine etwas geringere Gesamtkonzentration vorhersagt. Zur Klärung bedarf es hierzu noch weiterer Untersuchungen.

- Das einfache SAFER liegt im mittleren Schwankungsbereich zwischen den anderen Modellergebnissen.

Zum Abschluss dieses Abschnitts werden noch trockene und nasse Deposition getrennt betrachtet. Zurzeit sehen nur die Modelle ARTM und RODOS (auch LPDM) eine separate Ausgabe von trockener und nasser Deposition vor. In der ABR wird nur die Gesamtdeposition ausgegeben. Daher kann der Gesamteffekt des „Washouts“ nur durch den Vergleich mit dem Szenario E1M3 untersucht werden. Aufgrund der bereits beschriebenen Abreicherung ist der trockene Anteil der Deposition im Szenario E1M5 verglichen zu E1M3 eigentlich etwas geringer. Abbildung 3.6-9 zeigt die Verhältnisse zwischen den Depositionsergebnissen von E1M5 und E1M3 für I131 und Cs137 entlang der Ausbreitungsrichtung. Die wichtigsten Resultate sind:

- Wie erwartet ist der relative „Washout“-Effekt beim Cs137 deutlicher als beim elementaren I131. Das wird so von allen Modellen (Ausnahme: LASAIR s.u.) wiedergegeben.
- Beim LASAIR ist der „Washout“-Effekt beim Cs137 geringer, da hier bereits aufgrund der trockenen Sedimentation ein deutlich größerer Anteil trocken deponiert wird.
- Ab ca. 5 km Abstand ist der Einfluss des Regens relativ konstant.
- Die ABR zeigt ab 5 km Abstand den deutlich geringeren Einfluss der nassen Deposition. Zur Erinnerung: Die ABR hat verursacht durch die höheren bodennahen Konzentrationen eine relativ hohe trockene Deposition.
- In unmittelbarer Quellnähe sind die Unterschiede extrem. Die gröber aufgelösten Modelle ABR100 und ARTM1024 zeigen wieder die typischen Plateaus aufgrund der Maschengröße. Zueinander ähnlich sind hier ATSTEP und SAFER, ABR25 und RIMPUFF, ARTM und DIPCOT. Hier ist für alle Modelle die trockene Deposition deutlich kleiner.

3.6.3 Dosisparameter

Analog zu den bisher betrachteten Szenarien sind in den Abbildungen 3.6-3 bis 3.6.7 wieder die Ergebnisse für Effektiv- und Inhalationsdosis sowie die Verlaufskurven für alle betrachteten Parameter dargestellt. Wie erwartet weichen die Ergebnisse für die Wolkenstrahlung und Gammaortsdosis sowie für die durch die bodennahen Konzentrationen bestimmte Inhalationsdosis kaum von den Ergebnissen von E1M3 ab. Bei der Dosis aus Bodenstrahlung zeigen sich hingegen wie erwartet deutliche Unterschiede, die aus der höheren Deposition resultieren. Folgende Punkte sind festzustellen:

- Die Dosis aus Bodenstrahlung ist aufgrund der geringeren Gesamtdeposition bei der ABR deutlich geringer als bei den anderen Modellen.
- Die beobachteten Unterschiede sind wieder deutlicher als aus den Konzentrations- und Depositionsergebnissen zu erwarten wäre.
- In Quellnähe führt die Bodenstrahlung zum dominanten Beitrag für die effektive Dosis in den Modellen ATSTEP, SAFER, DIPCOT. Auch in der – mit 6 Stunden Integrationszeit berechneten – Ortsdosis zeigt sich der deutliche Effekt aus der Bodenstrahlung am Quellort während der Effekt mit zunehmender Entfernung kleiner wird. Ansonsten sind bei der effektiven Dosis die RODOS-Modelle ab 1 km Abstand ähnlich zu SAFER.
- Die für den Katastrophenschutz besonders relevante Inhalationsdosis unterscheidet sich in größeren Abständen nur unwesentlich von den Vorhersagen des Szenarios E1M3. Deutlich sind wieder die auf die unterschiedlichen Faktoren zurückgehenden Unterschiede zwischen den RODOS-Modellen und ABR, SAFER und LASAIR.

Bereits die hier unterstellten (vergleichsweise geringen) Freisetzungsmengen ergeben Werte zwischen 1 und 10 mSv in der effektiven Dosis. Im Ergebnis würde das bereits bei geringfügig höheren Freisetzungsmengen und der Berücksichtigung des Gesamtnuklidspektrums zu Situationen führen, bei denen ein Teil der Modelle die Empfehlung von Katastrophenschutzmaßnahmen empfiehlt und andere Modelle noch unterhalb der entsprechenden Eingreifrichtwerte liegen, und zwar aufgrund der bisher für die effektive Dosis kaum relevanten Dosis aus externer Bodenstrahlung. Dieser Sachverhalt wird sich bei längeren Expositionszeiten als den hier unterstellten 7 Tagen verstärken (späte Evakuierung, temporäre Umsiedlung). Aus diesem Grund erscheint eine etwas detailliertere Betrachtungsweise der Dosisparameter bzgl. der Empfehlung von Katastrophenschutzmaßnahmen, insbesondere der in die Bodendosis eingehenden Integrationszeiten, bei Szenarien mit Regen erforderlich.

Im Ereignisfall ist jedoch davon auszugehen, dass gemessene Bodenkontaminationen (insbesondere Aero-gamma-Spektrometrie) bereits frühzeitig zur Verfügung gestellt werden, sodass die Modellunsicherheit hier kaum zu größeren Konsequenzen führen sollte. Eine detaillierte Betrachtung der Aufenthaltsdauer bei der Empfehlung von Katastrophenschutzmaßnahmen ist natürlich auch bei verfügbaren Messdaten erforderlich.

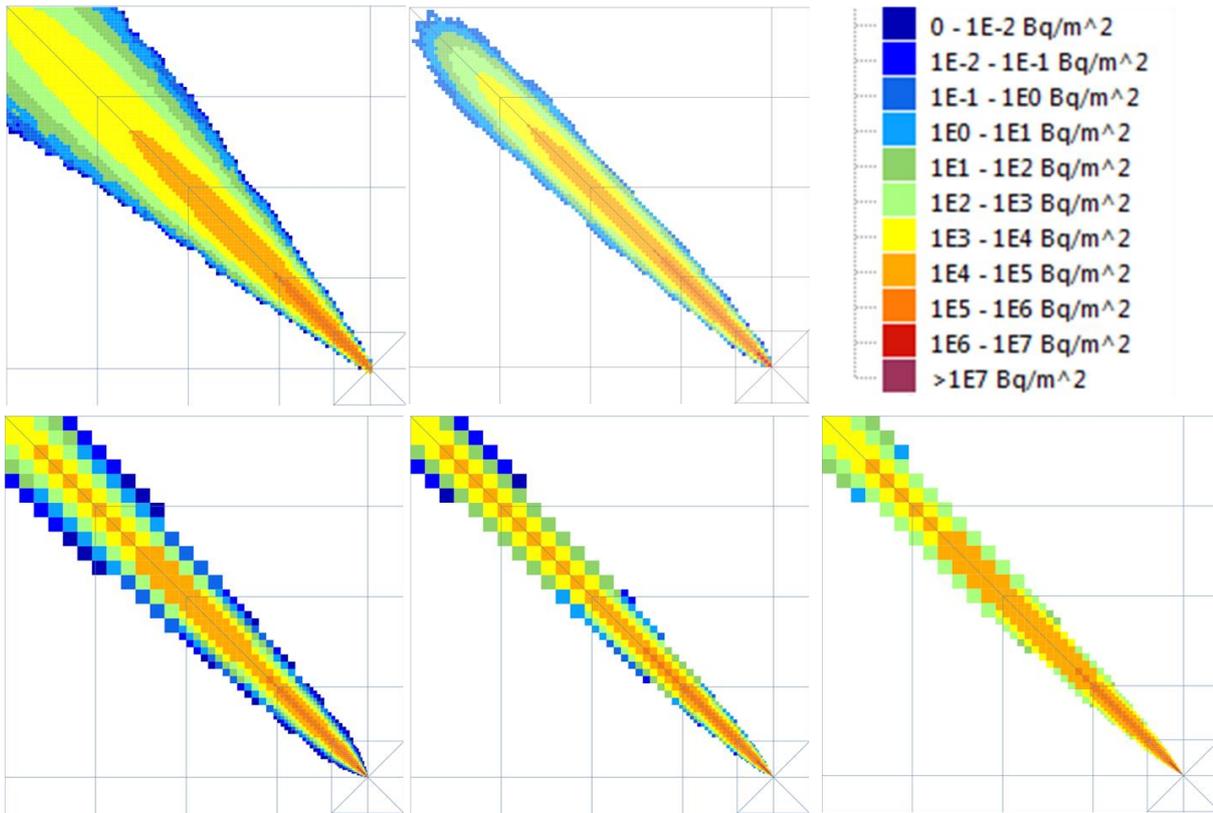


Abbildung 3.6-1: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

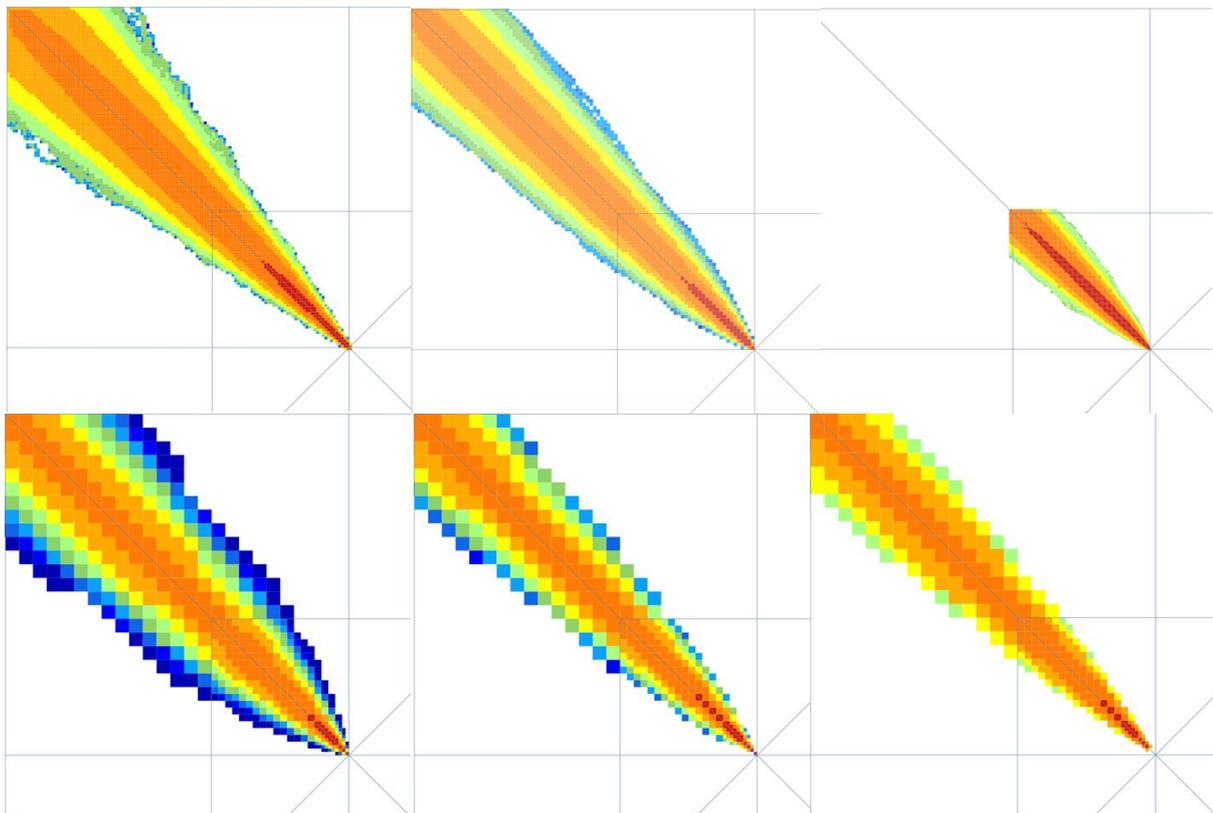


Abbildung 3.6-2: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

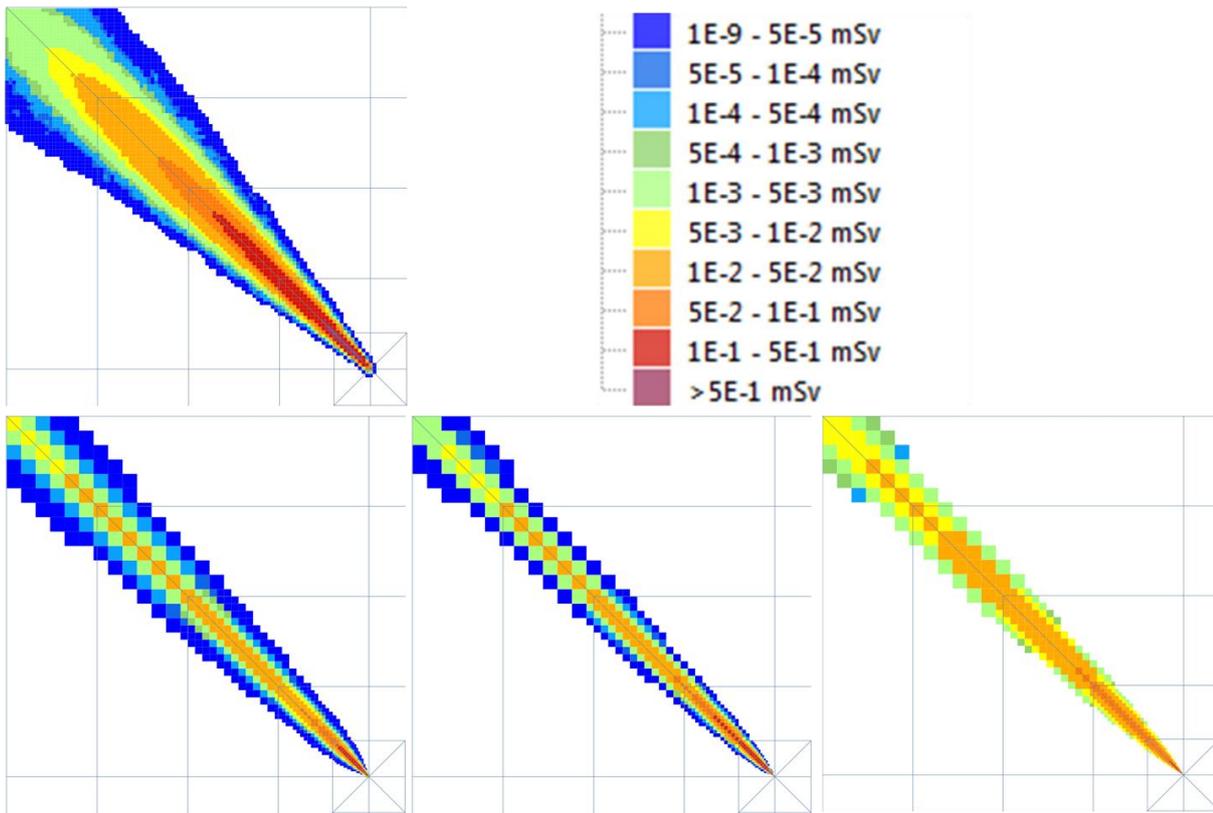


Abbildung 3.6-3: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

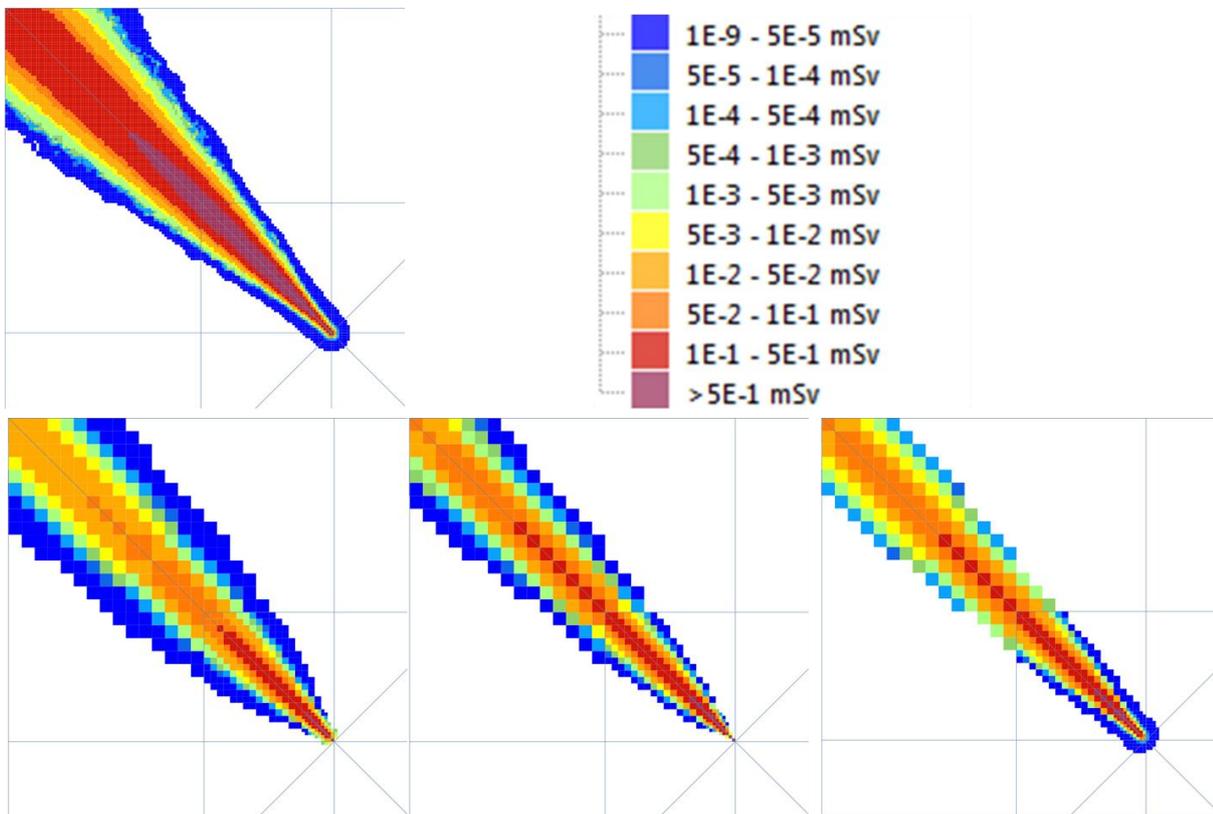


Abbildung 3.6-4: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km.

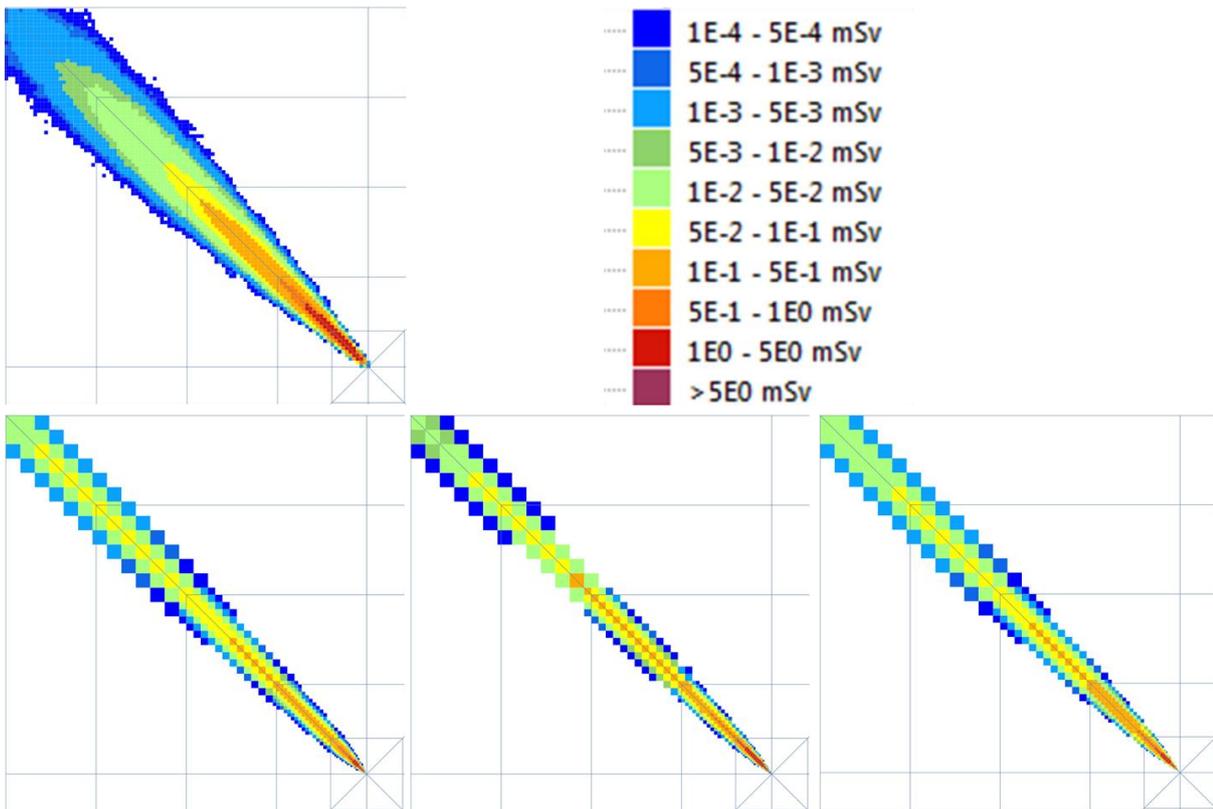


Abbildung 3.6-5: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km².

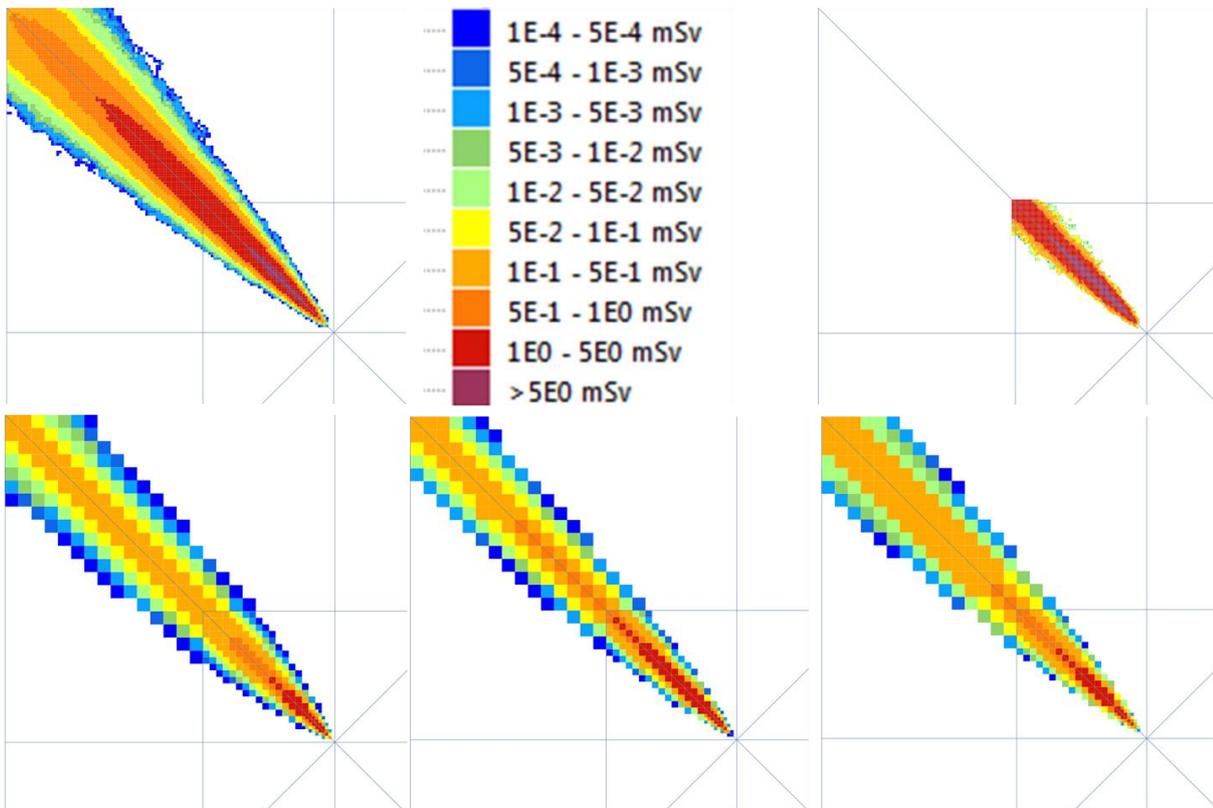


Abbildung 3.6-6: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km².

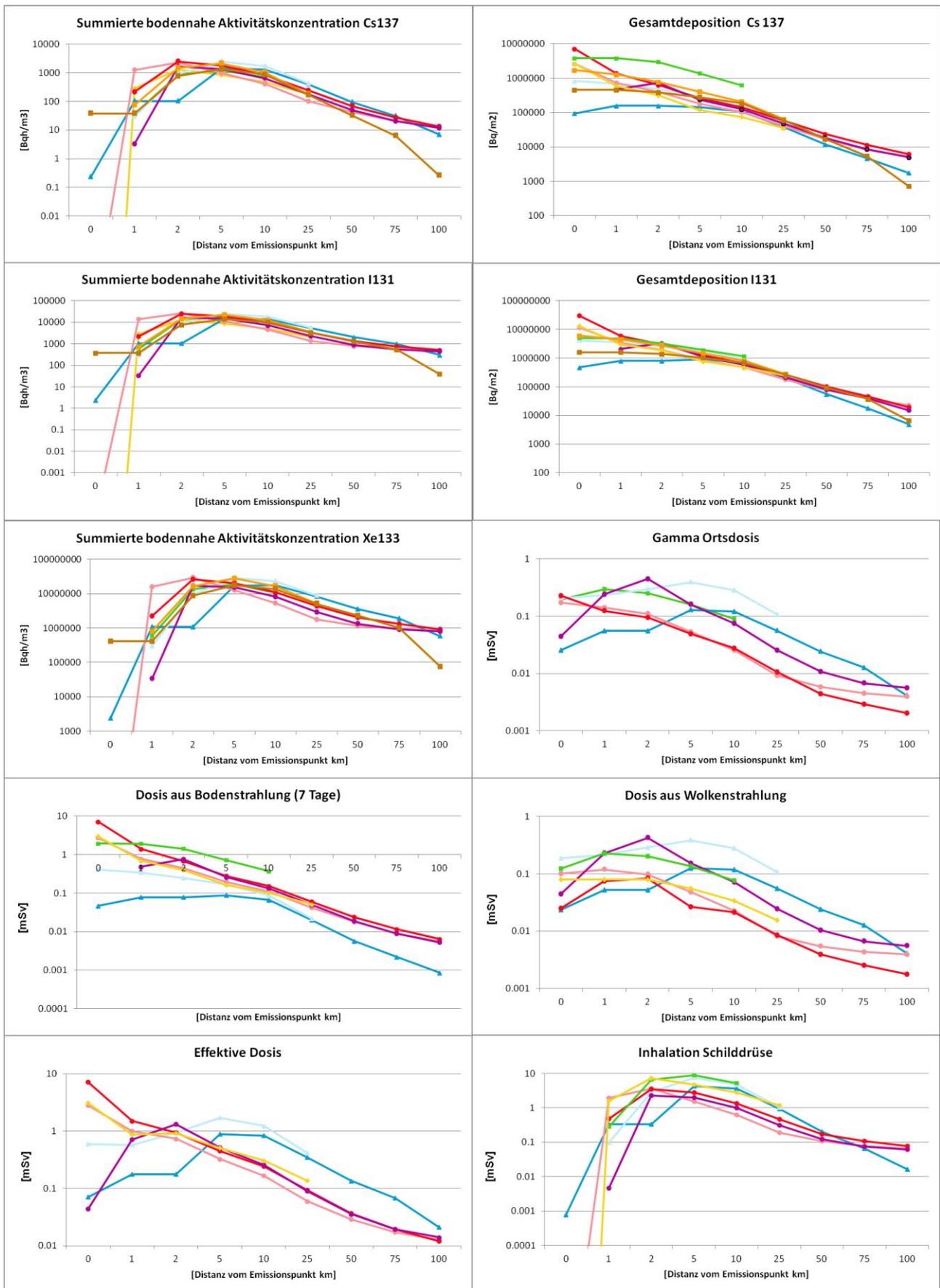


Abbildung 3.6-7: Verlauf von bodennahe Konzentration, Deposition und verschiedener Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M5.

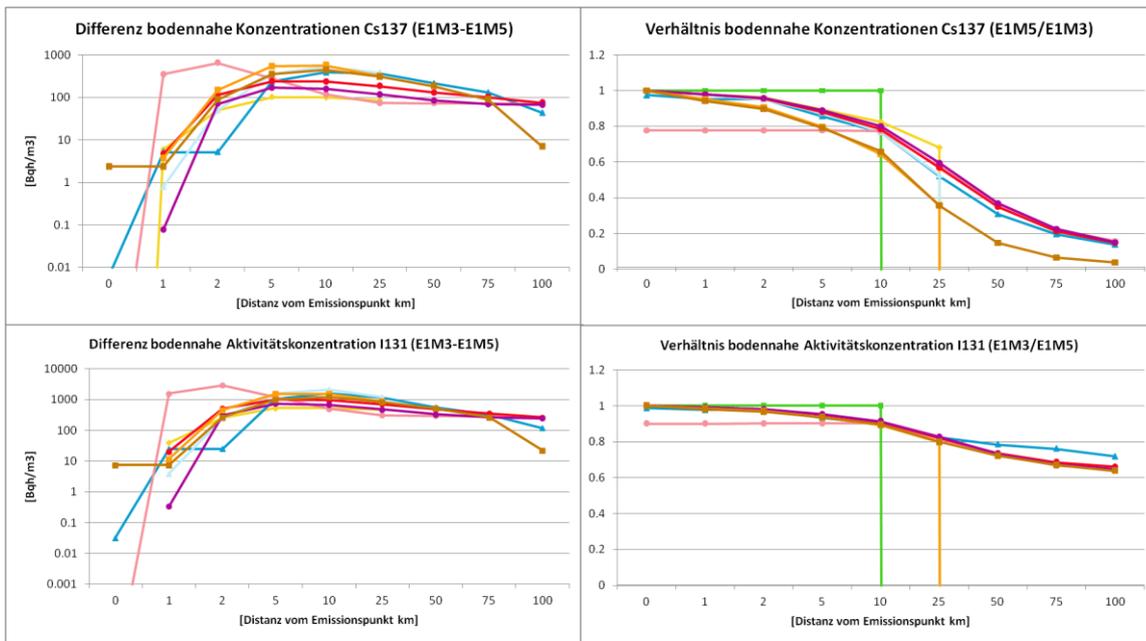


Abbildung 3.6-8: Einfluss des Niederschlags auf die bodennahe Luftkonzentrationen von Cs137 (oben) und I131 (unten): Absolute Differenz (links) und relatives Verhältnis (rechts). Das Abknicken auf 0 ist verursacht durch das Ende des entsprechenden Rechengebiets.

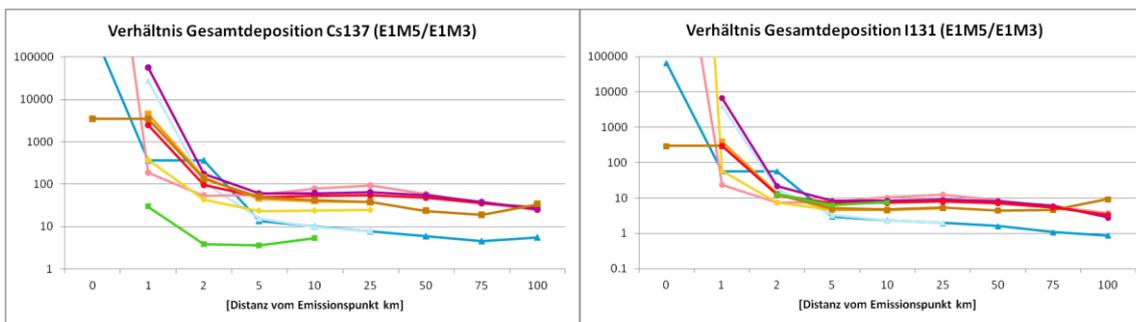


Abbildung 3.6-9: Einfluss des Niederschlags auf die Deposition von Cs137 und I131: Enorme Unterschiede in Quellnähe. Der Knick in Quellnähe bei ABR 100 und ARTM1024 entsteht nur aufgrund der groben räumlichen Auflösung.

3.7 SZENARIO E2M6: WINDDREHUNG WÄHREND LAUFENDER FREISETZUNG

Die in diesem Abschnitt bisher betrachteten Szenarien beruhen auf im Modellgebiet konstanter Windrichtung und -geschwindigkeit. Nun wird die Situation einer Winddrehung bei konstanter Windgeschwindigkeit untersucht. Auch dieses Szenario erscheint zunächst in dieser Form etwas künstlich. Ein mit einer solchen Winddrehung in der Realität oftmals verbundener Frontendurchzug wird sich in der Regel auch in sich ändernden Windgeschwindigkeiten und Turbulenzen ausdrücken. Die betrachtete Zeitdauer von 7 Stunden für die Drehung von Süd auf Nordwind erscheint eher etwas zu groß. Dennoch ist es sinnvoll, das Modellverhalten zunächst gegen solche künstliche Bedingungen zu untersuchen, um einen speziellen Teilaspekt – hier das Verhalten bei Winddrehungen – zu untersuchen.

3.7.1 Windprofile

Im Unterschied zur den E1-Szenarien ist hier der Wind in Emissionshöhe (150 m) und nicht wie dort in Bodennähe (10 m) vorgegeben. Daher sollten bei diesem Szenario die Unterschiede zwischen den Modellen etwas geringer werden. Das hieraus resultierende Windprofil ist in Abbildung 3.7-1 dargestellt. Analog zu E1M3 zeigt ARTM einen passend zur neutralen Schichtung, erwarteten logarithmischen Verlauf. Die Windprofile von ABR und RODOS führen zu geringeren Windgeschwindigkeiten in Bodennähe und höheren Windstärken im Bereich größerer Höhen. Bzgl. der in diesem Bericht betrachteten Observablen in Bodennähe sind bereits hieraus etwas schnellere Transportzeiten und in Summe geringere Werte für ARTM zu erwarten. Zur Erinnerung: Im Szenario E1M3 führte die Vorgabe der Windgeschwindigkeit in 10 Metern Höhe zu einer deutlich geringeren Windgeschwindigkeit bei ARTM im Vergleich zu ABR und RODOS. In Emissionshöhe sind die Windgeschwindigkeiten jetzt allerdings per definitionem gleich.

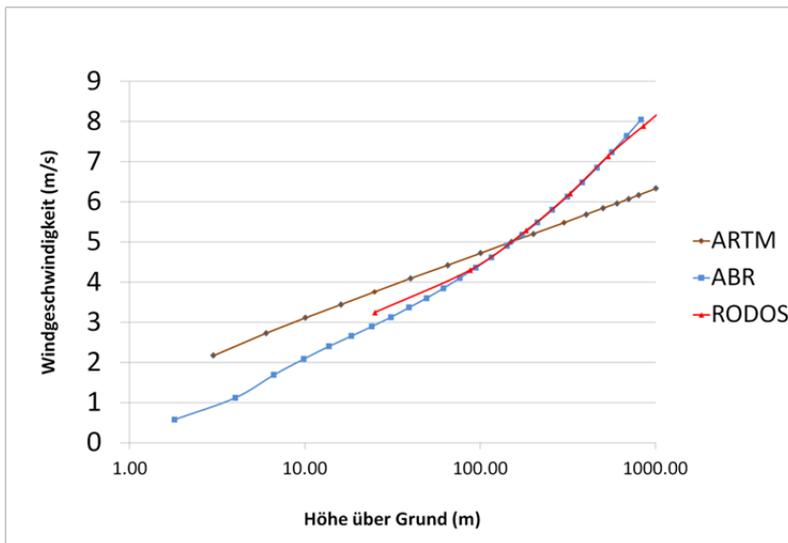


Abbildung 3.7-1: Vertikales Windgeschwindigkeitsprofil für das Szenario E2M6 für die Modelle ARTM (LASAIR), ABR, RODOS.

3.7.2 Bodennahe Konzentrationen

3.7.2.1 Zeitverlauf

Aufgrund der durch die Winddrehung resultierenden starken zeitlichen Variation erscheint es sinnvoll, in diesem Szenario auch den zeitlichen Verlauf etwas genauer zu betrachten. In den Abbildungen 3.7-2 bis 3.7-13 ist der Gebietsausschnitt von ca. 200x200 km² mit den Ergebnissen für die Modelle ARTM, ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMPUFF für die Zeitschritte 1 bis 12 gezeigt. Folgende Punkte sind festzustellen:

- Alle Modelle sind bzgl. der Wiedergabe des Zeitverlaufs recht ähnlich. Die Drehung der Fahne erfolgt mit ähnlichen Krümmungsradien. Auch die Größenordnung für die Konzentration wird ähnlich beschrieben.
- Bei genauer Betrachtung fallen in Zeitschritten 2 bis 6 im Nahbereich deutlich zwei Teilfahnen nur bei den ABR-Ergebnissen auf. Das ist insofern interessant, da die ABR eigentlich die breiteren Fahnen zeigt. Nach Ende der Freisetzung verschwindet der Effekt kontinuierlich.
- Bzgl. ARTM ist zur Erklärung des zunächst anhand der Abbildungen etwas merkwürdig anmutenden Rauschens (bei größeren Zeitschritten) festzuhalten, dass dieses keinerlei physikalische Bedeutung hat. Der Effekt entsteht aufgrund des verwendeten Verfahrens zum – im Modell eigentlich nicht vorgesehenen – Auskoppeln einzelner Zeitschritte.
- Die breitesten Fahnen werden von ABR und DIPCOT vorhergesagt. Wie aus dem Windprofil erwartet, ist die ABR-Fahne am langsamsten. Die Fahnen der Puffmodelle ATSTEP und RIMPUFF verlassen das Modellgebiet hingegen am schnellsten.

3.7.2.2 Zeitlich integrierte Werte

Aus dem zeitlichen Verlauf ist es bei diesem Szenario zunächst etwas schwierig, die Auswirkungen auf die (dosisrelevante) Gesamtkonzentration zu erkennen. Diese ist in Abbildungen 3.7-14 und 3.7-15 gezeigt. Die zugehörigen Verlaufskurven entlang der zu den Windrichtungen von 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330° und 360° gehörenden Achsen sind zusätzlich in Abbildung 3.7-16 zusammengefasst. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

- Alle Modelle führen in der Summe zu einem qualitativ und quantitativ ähnlichen Ergebnis, insbesondere für Abstände bis zu ca. 10 km. Diesbezüglich ist das Verhalten völlig analog zu den Ergebnissen von E1M3. Einzig in Richtung Süden treten in Quellnähe deutliche Unterschiede auf. In größeren Entfernungen nähern sich die Ergebnisse auch dort wieder aneinander an.
- Alle Modelle zeigen sechs Bereiche mit Maximalwerten entsprechend zu den sechs Stunden laufender Freisetzung.
- Die ABR zeigt analog zu E1M3 in größeren Entfernungen höhere Werte. Auch bzgl. der Verteilung in der Fläche sind im Nahbereich die breiteren Teilfahnen deutlich.
- Die Ergebnisse von DIPCOT und ARTM sind für dieses Szenario sehr ähnlich.

3.7.3 Deposition

Bei der Deposition wird auf eine zweidimensionale Darstellung verzichtet, da der Verlauf völlig analog zur gezeigten Konzentration ist. Zur Vollständigkeit ist jedoch der Verlauf der Deposition des I131 entlang der zu den Windrichtungen des Szenarios korrespondierenden Achsen gezeigt (Abbildung 3.7-17). Im Unterschied zur Edalgaskonzentration sind nunmehr auch die Vorhersagen von SAFER in die Auswertung aufgenommen. Die Ergebnisse stimmen gut miteinander überein, insbesondere wenn man die unterschiedlichen Werte für die Depositionsgeschwindigkeiten berücksichtigt. Festzuhalten ist noch, dass auch die mit SAFER durchgeführten Rechnungen einzelner Sequenzen für dieses Szenario im Verlauf entlang der Achsen innerhalb der Streuung der anderen Modelle liegen. Bei ebenem Gelände kann das Modell also durchaus auch bei drehenden Winden zur Abschätzung der radiologischen Lage bzgl. einer möglichen Überschreitung von Eingreifrichtwerten verwendet werden. Nur die Ergebnisse für die mit der ersten Stunde verbundene Freisetzung (Windrichtung 180°) sowie die nach Emissionsende gegebene Windrichtung von 0° weisen im Vergleich zu den anderen Modellen deutliche Abweichungen aus. Die Wolke erreicht für die erste Stunde bei den genannten Bedingungen die 25 km Entfernung nicht, was nicht im Ausbreitungsmodell SAFER implementiert ist. Genau genommen bezieht sich der in den Abbildungen zugewiesene Wert bei SAFER auf eine Entfernung von 20 km. Aus technischen Gründen wird dieser jedoch die Entfernung 25 km in der Excel-Grafik zugeordnet.

3.7.4 Effektive Dosis

Aus den Ergebnissen für Konzentration und Deposition lässt sich bereits, abgesehen von der südlichen Richtung, ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Modelle erwarten. Die Abbildungen 3.7-18 bis 3.7-20 zeigen wiederum die effektive Dosis als Flächendarstellung sowie entlang der Hauptwindrichtungen. Die folgenden Ergebnisse sind festzuhalten:

- Die ABR zeigt den deutlich glatteren Verlauf in der Fläche. Die zu den einzelnen Emissionsphasen gehörenden Fahnen sind bei der ABR in Quellnähe erkennbar.
- Die Ergebnisse der ABR liegen analog zu E1M3 ab Quellentfernungen von ca. 5 km um teilweise mehr als eine Größenordnung oberhalb der RODOS-Modelle und SAFER, die hier recht ähnlich verlaufen.
- Die Maximalwerte liegen bei den RODOS-Modellen näher am Quellort. Die Maxima sind bei der ABR etwas stärker ausgeprägt.

3.7.5 Inhalationsdosis

Zum Abschluss der Diskussion von E2M6 sind die Ergebnisse für die Inhalationsdosis Schilddrüse für die Personengruppe Erwachsene in den Abbildungen 3.7-21 bis 3.7-23 dargestellt:

- Die Inhalationsdosen sind wie erwartet recht ähnlich zu den bodennahen Konzentrationen.
- Die LASAIR-Rechnung (hier wurde eine Gebietsgröße von 40x40 km² gewählt) zeigt die größte Streuung in der Fläche, was auf die bei der Rechnung verwendete – für diesen Fall etwas zu geringe – Anzahl von Partikeln zurückzuführen ist. Ansonsten deutet sich hier eine größere Ähnlichkeit zum ABR-Ergebnis an.
- Mit Ausnahme der südlichen Richtung sind die Vorhersagen von SAFER hier stets oberhalb der Ergebnisse der anderen Modelle (inkl. ABR und LASAIR), was zunächst etwas überraschend erscheint, da die Konzentrationen ähnlich sind und die Übereinstimmung beim Szenario E1M3 diesbezüglich deutlich größer war. Dieser Effekt dürfte auf die infolge der in SAFER nicht modellierten Winddrehung resultierende längere Wolkenzeit zurückzuführen sein.
- Die im Vergleich zu den RODOS-Modellen höheren Werte der anderen Modelle sind zum größten Teil auf die bereits mehrfach beschriebene Verwendung unterschiedlicher Modellparameter zurückzuführen
- Die Ergebnisse der RODOS-Modelle für den Verlauf entlang der „Achsen“ sind für alle Achsen mit Ausnahme der südlichen Richtung sehr ähnlich.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Modelle beim Szenario E2M6 qualitativ und quantitativ ähnliche Ergebnisse liefern. Die beobachteten Abweichungen liegen im Bereich von einer Größenordnung, hauptsächlich verursacht durch die Wolkenstrahlung und unterschiedliche Parameter für Deposition und Inhalationsdosis.

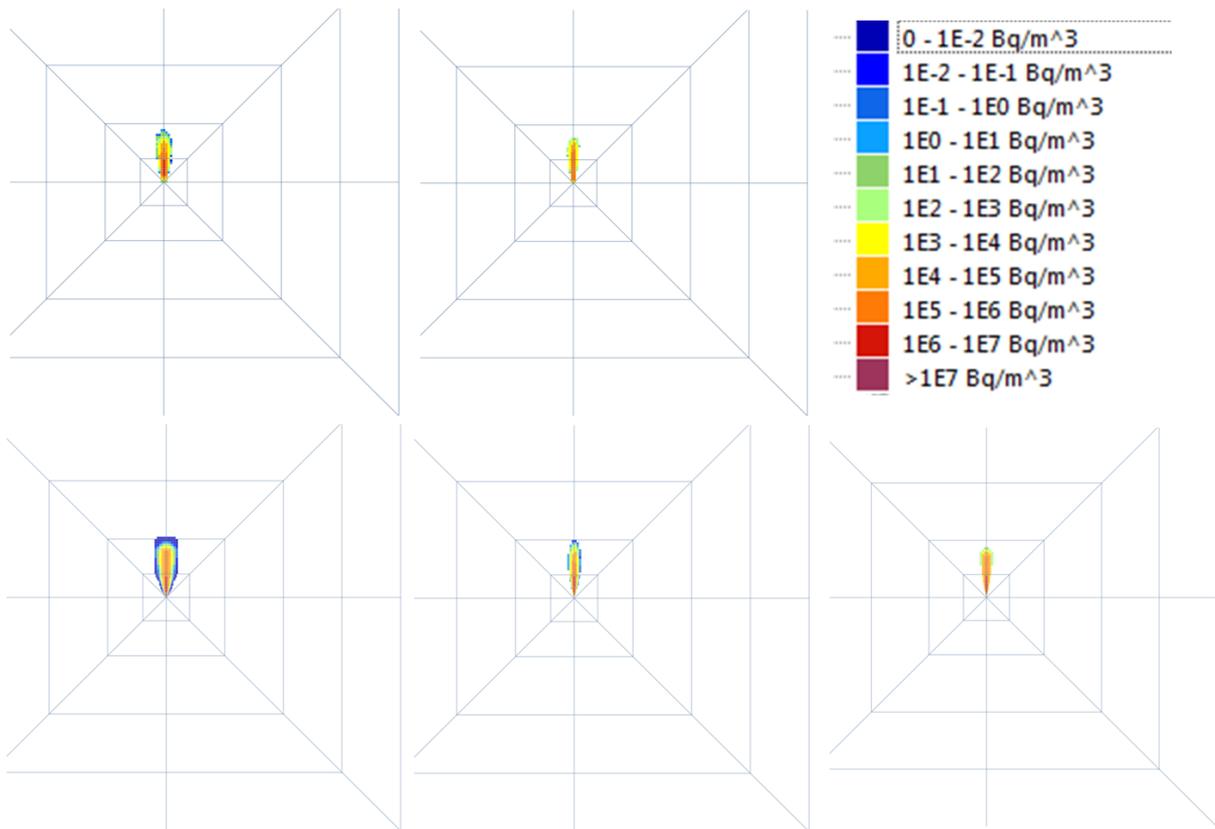


Abbildung 3.7-2: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 1.

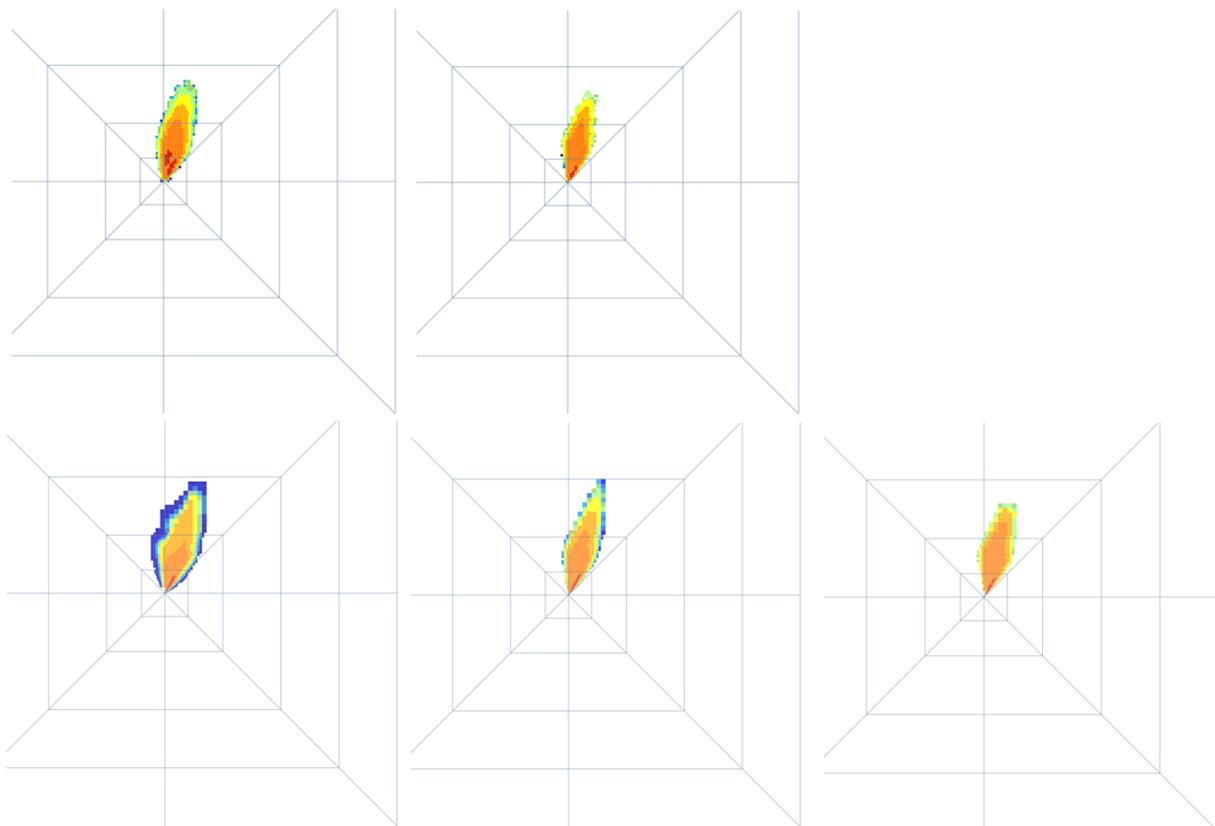


Abbildung 3.7-3: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 2.

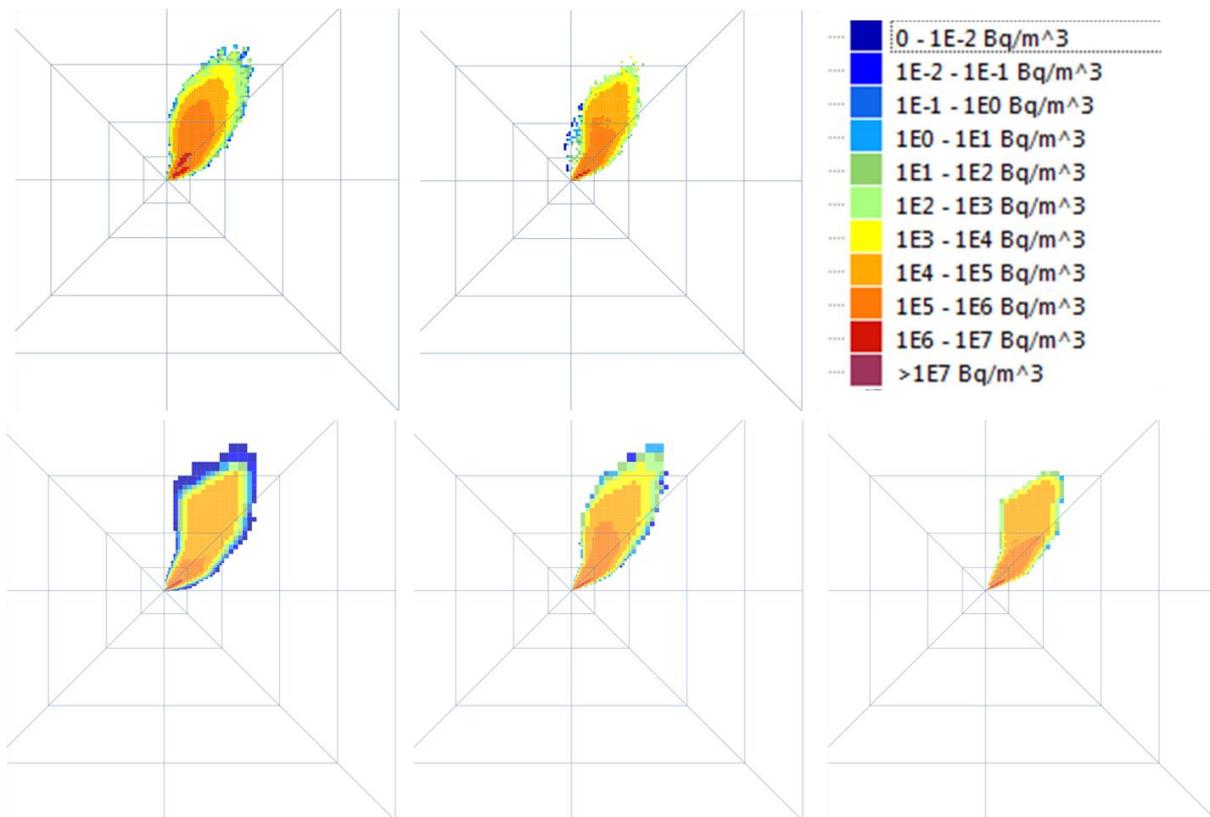


Abbildung 3.7-4: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 3.

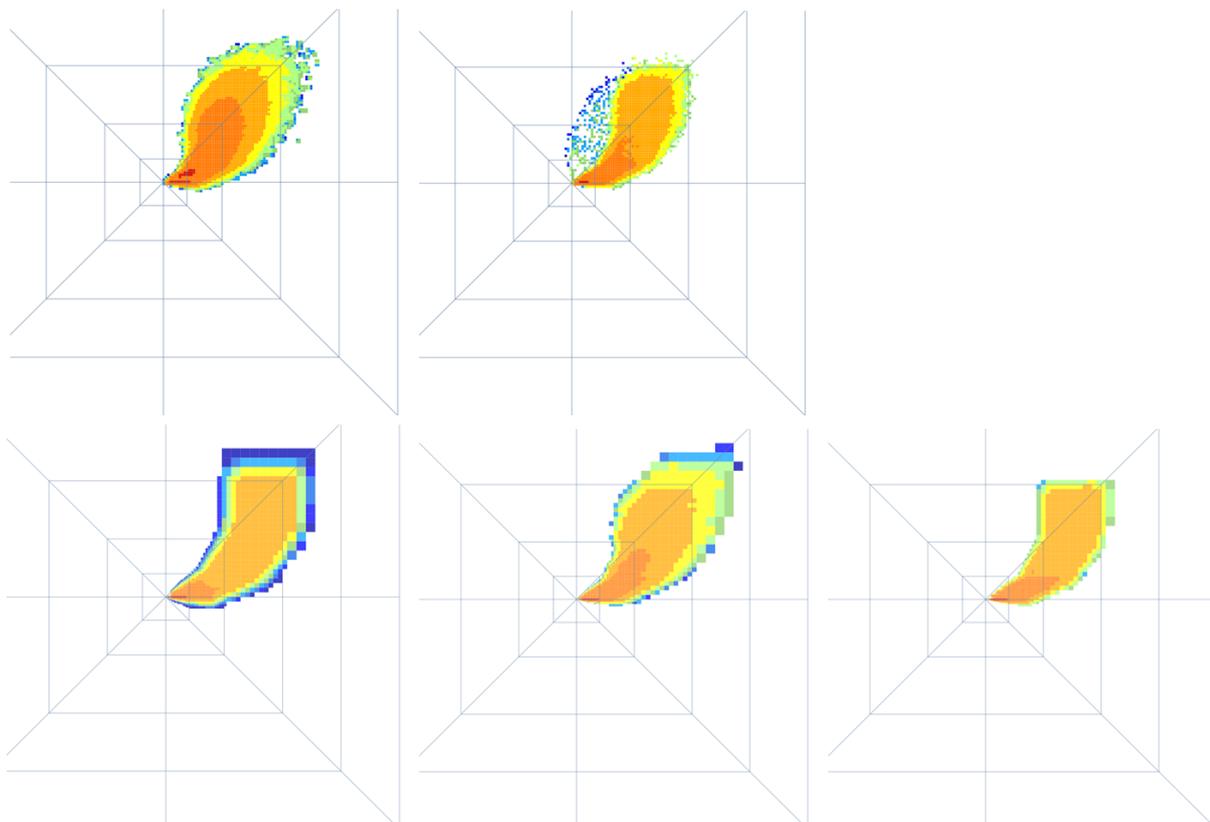


Abbildung 3.7-5: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 4.

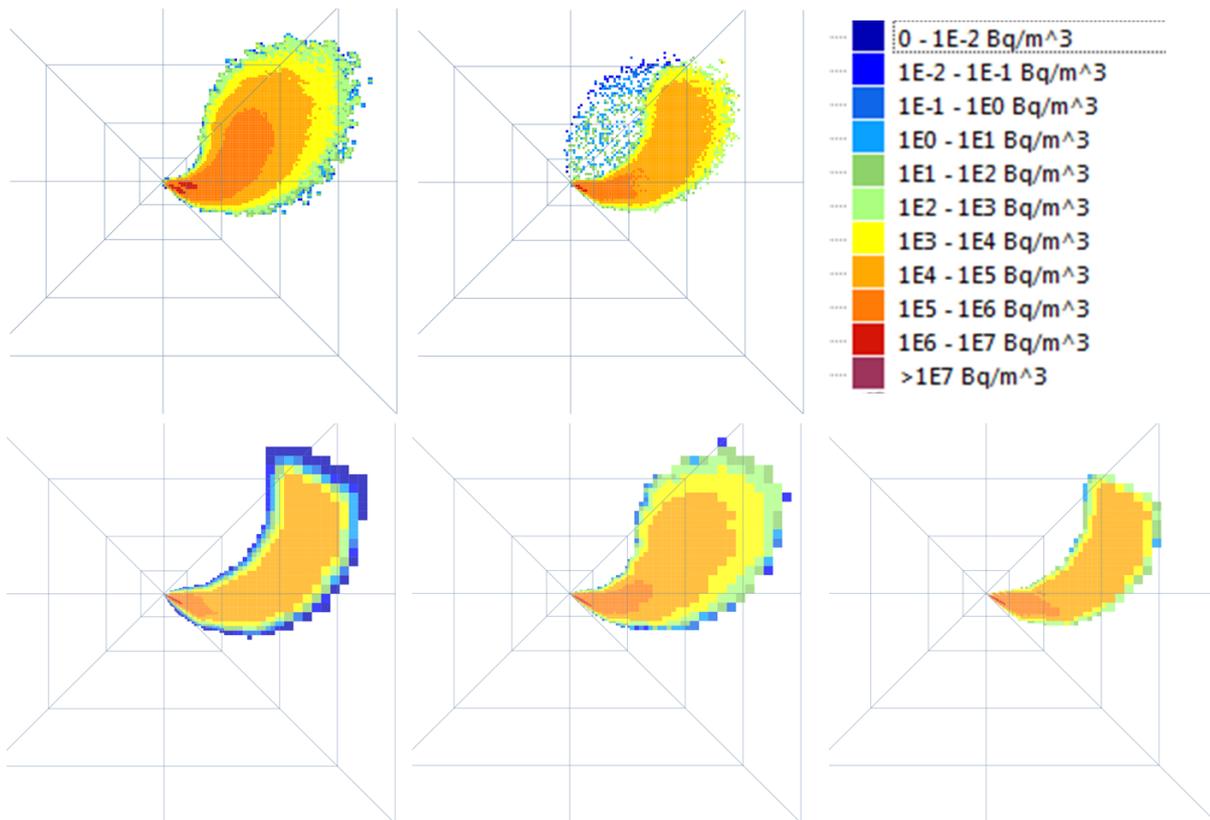


Abbildung 3.7-6: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 5.

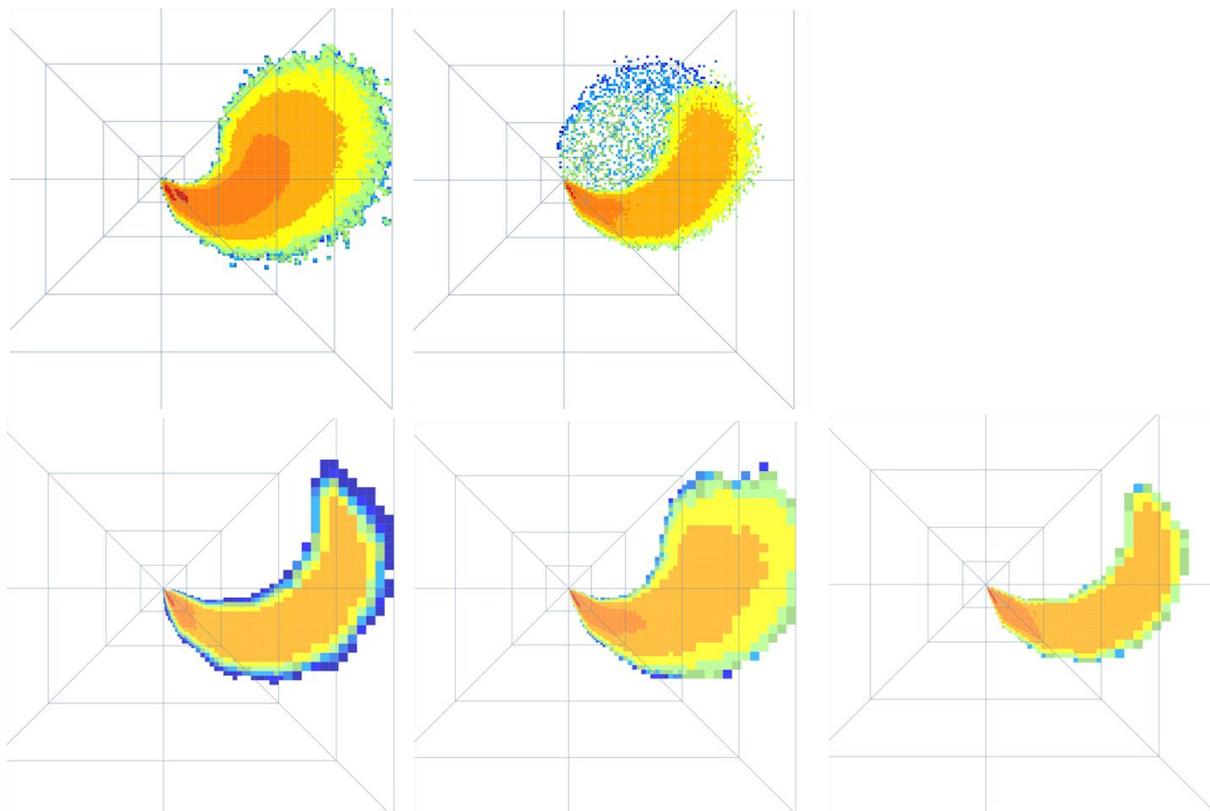


Abbildung 3.7-7: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 6.

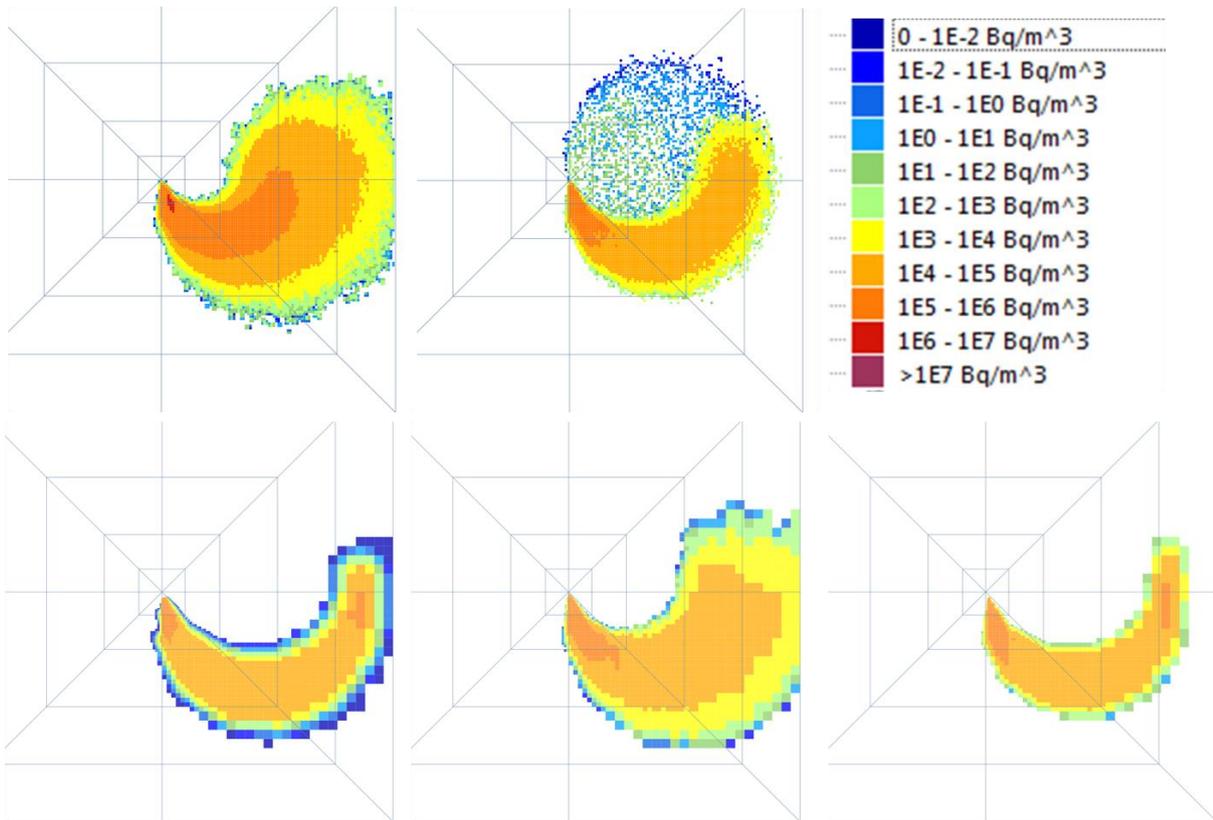


Abbildung 3.7-8: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 7.

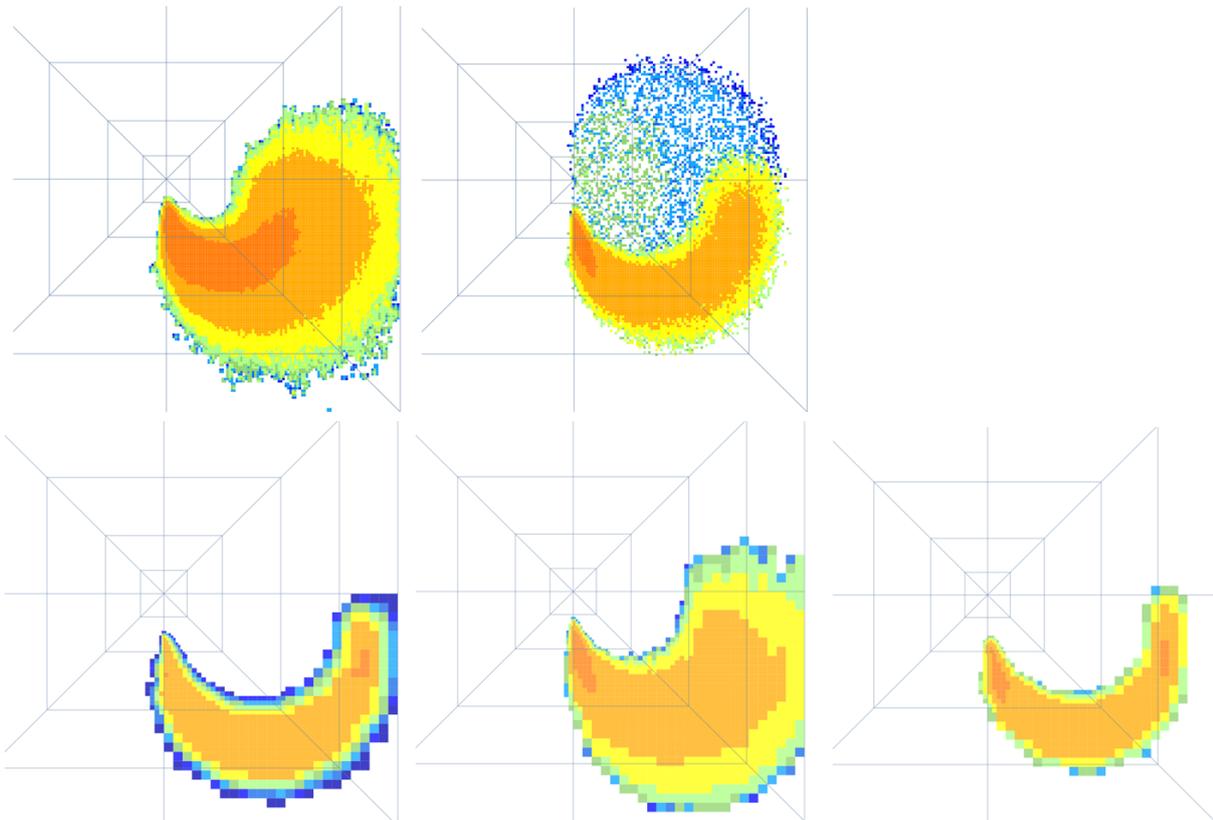


Abbildung 3.7-9: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 8.

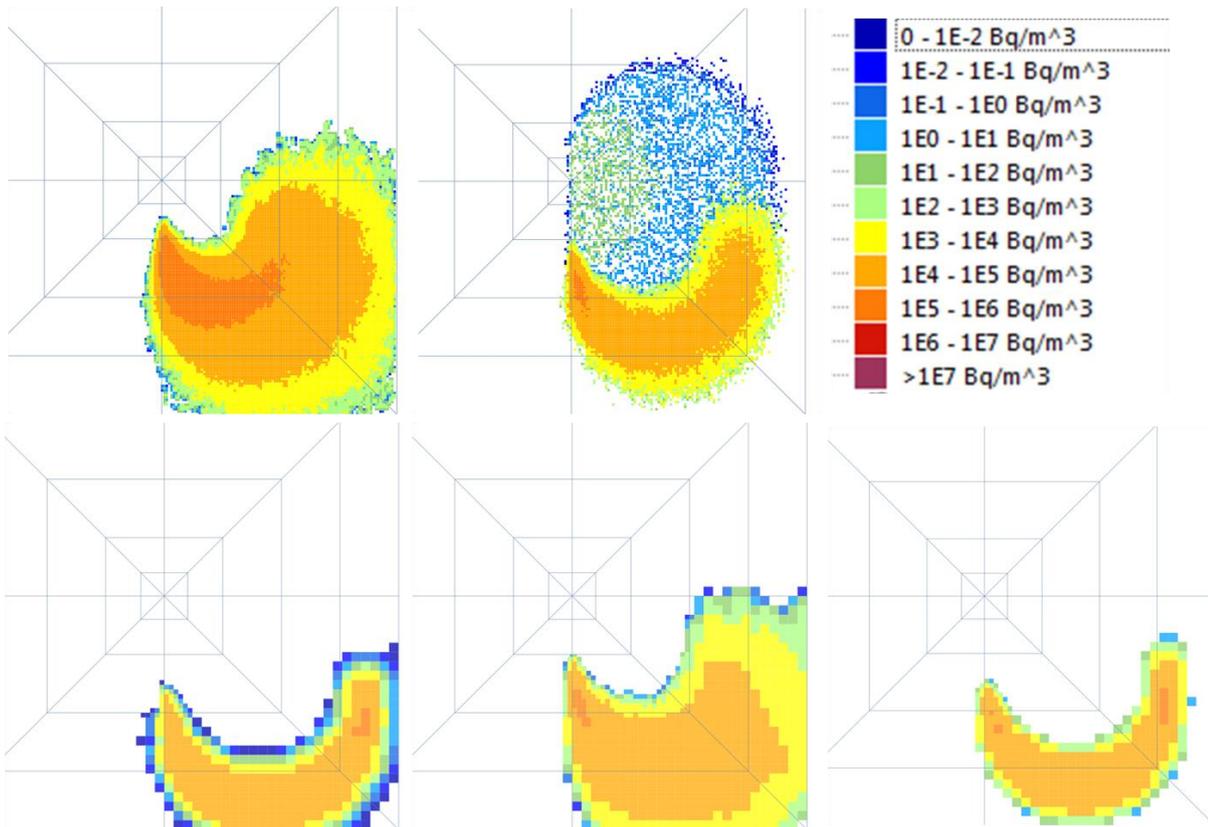


Abbildung 3.7-10: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 9.

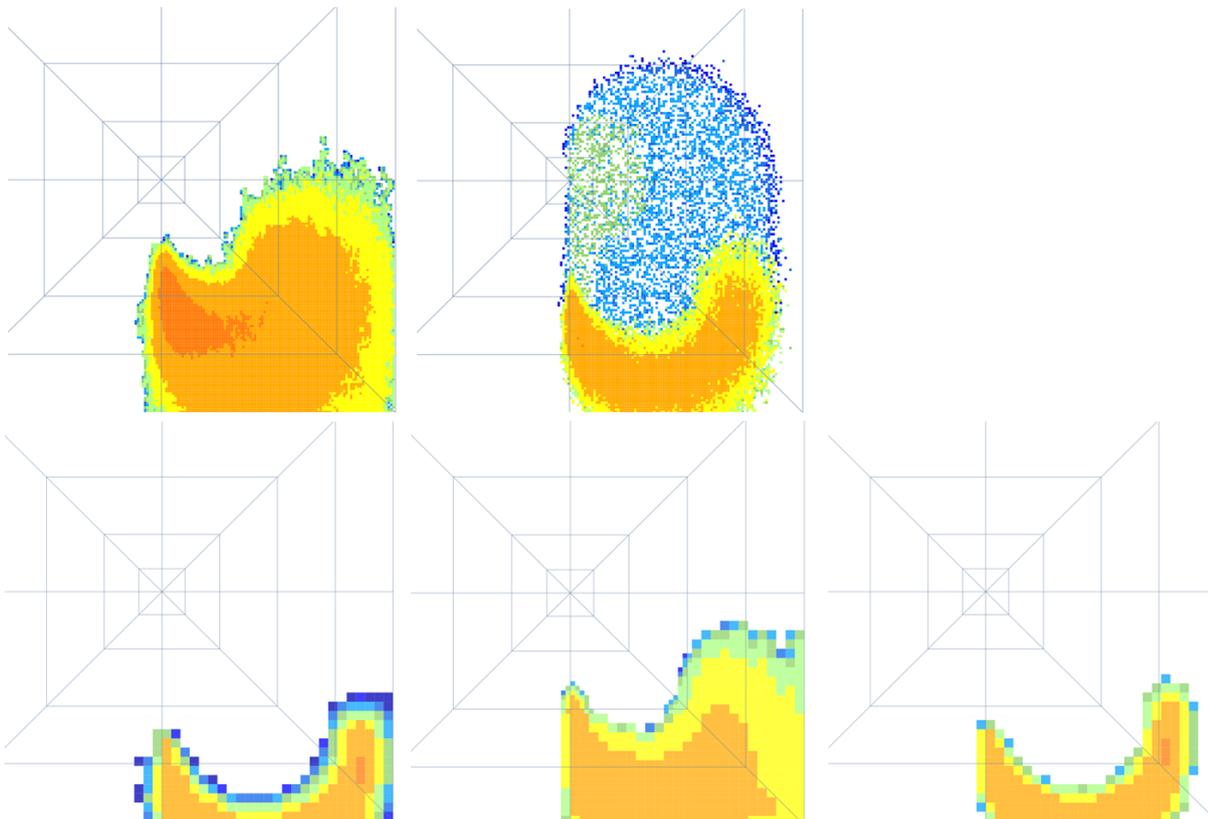


Abbildung 3.7-11: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 10.

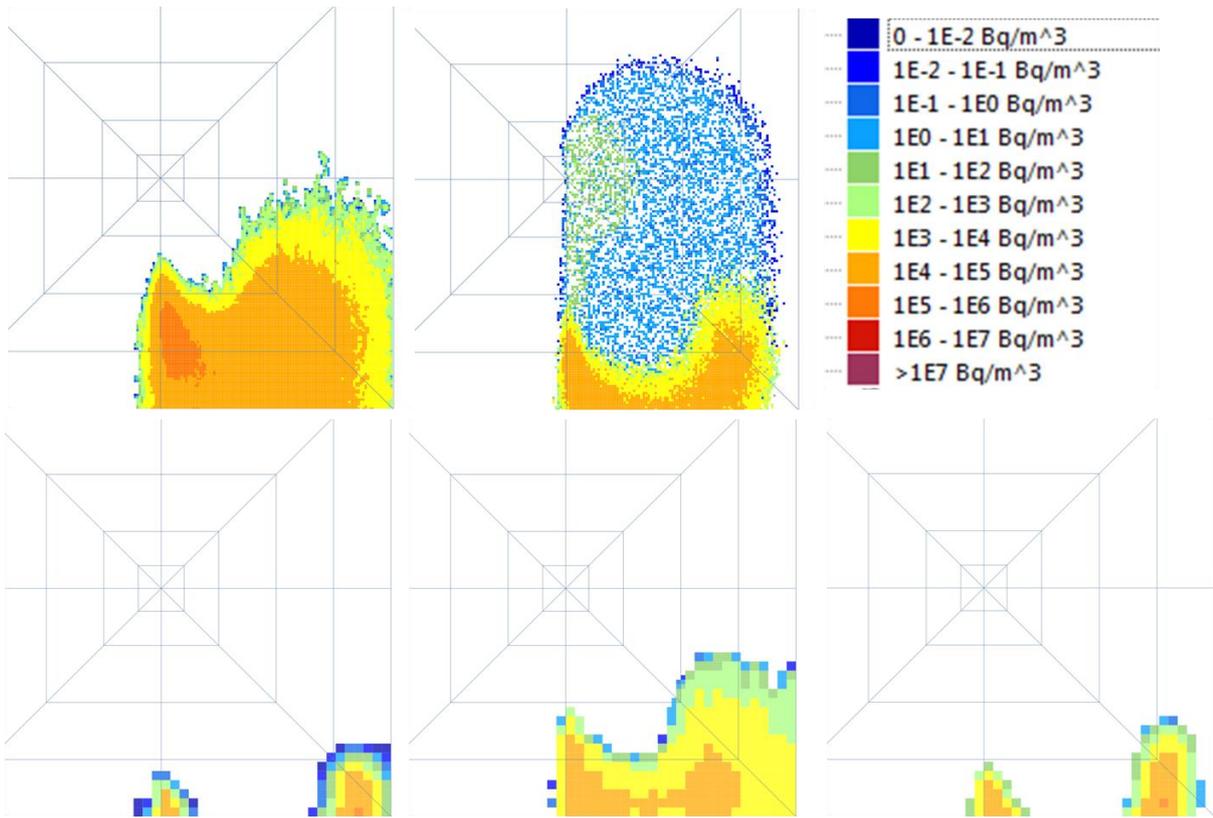


Abbildung 3.7-12: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 11.

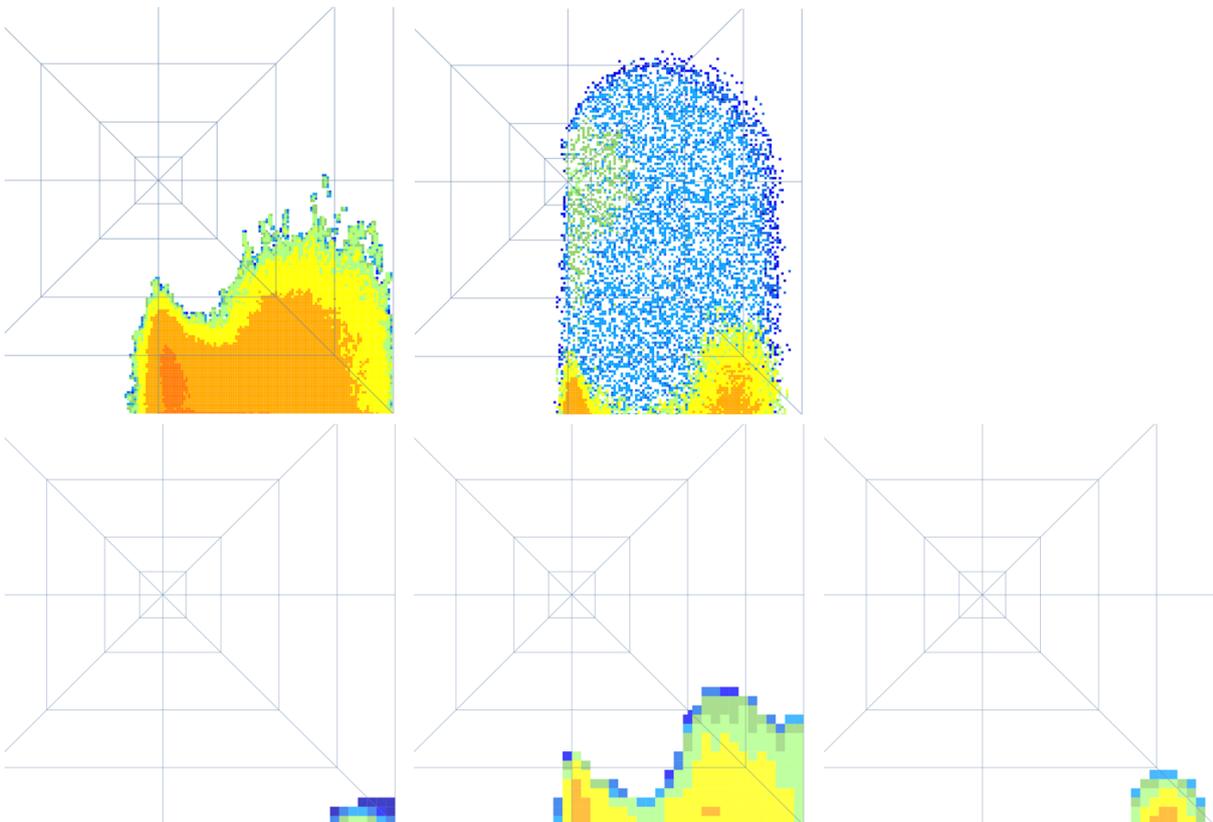


Abbildung 3.7-13: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 12.

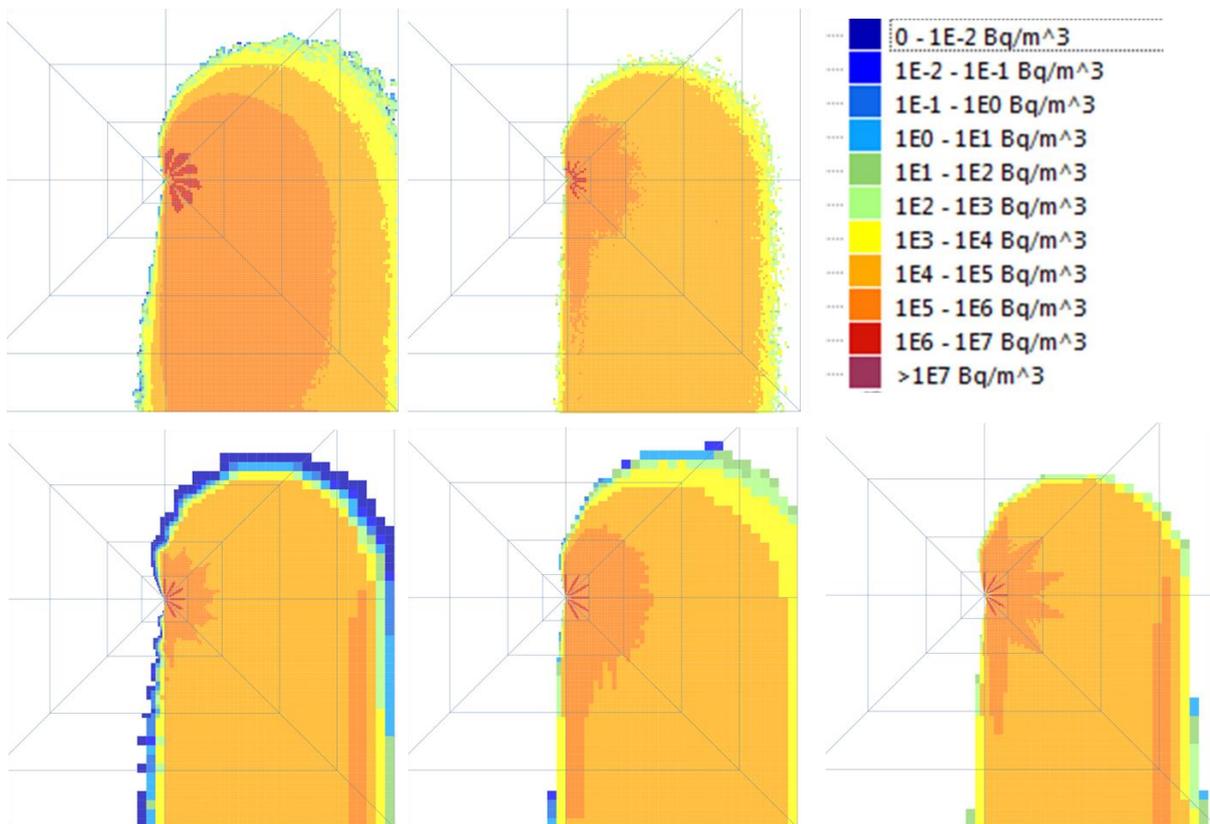


Abbildung 3.7-14: Summierte Luftkonzentration Xe133 für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 75km Quellabstand in nördlicher Richtung bis zu 100km in südlicher Richtung.

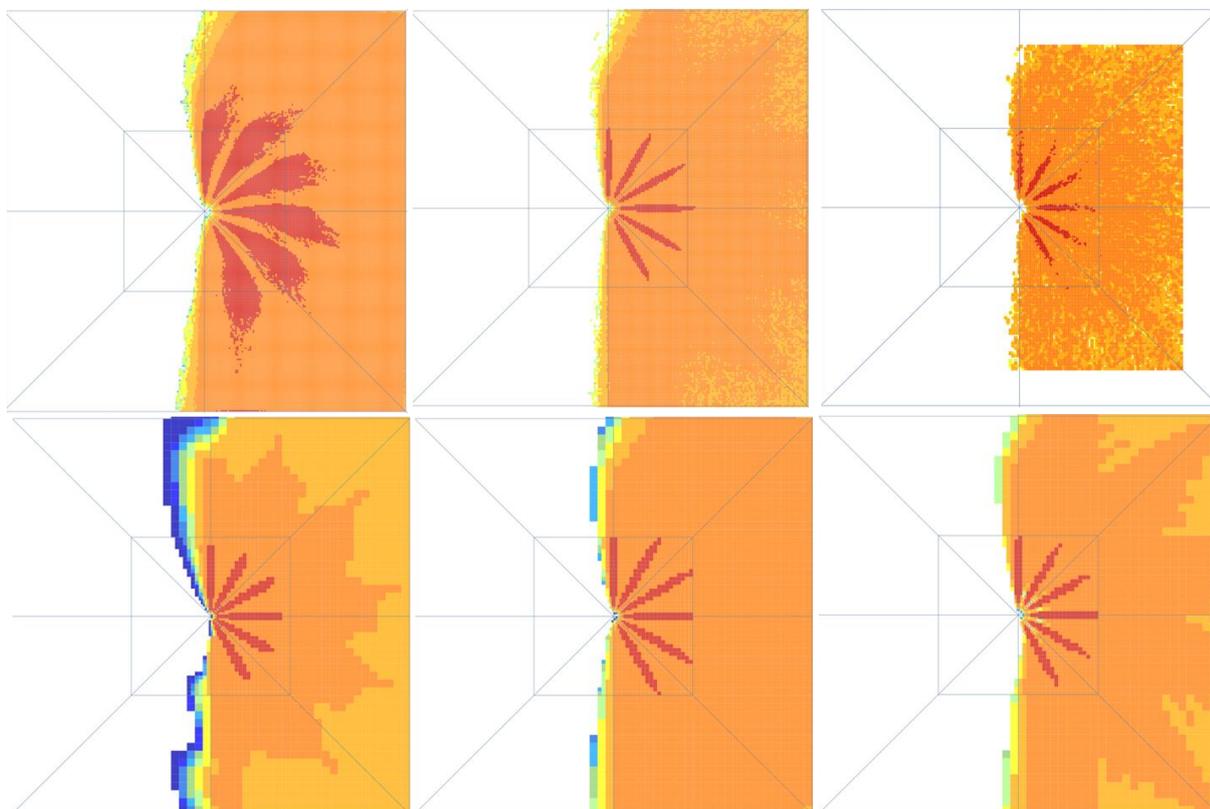


Abbildung 3.7-15: Summierte Luftkonzentration Xe133 für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 25x25km².

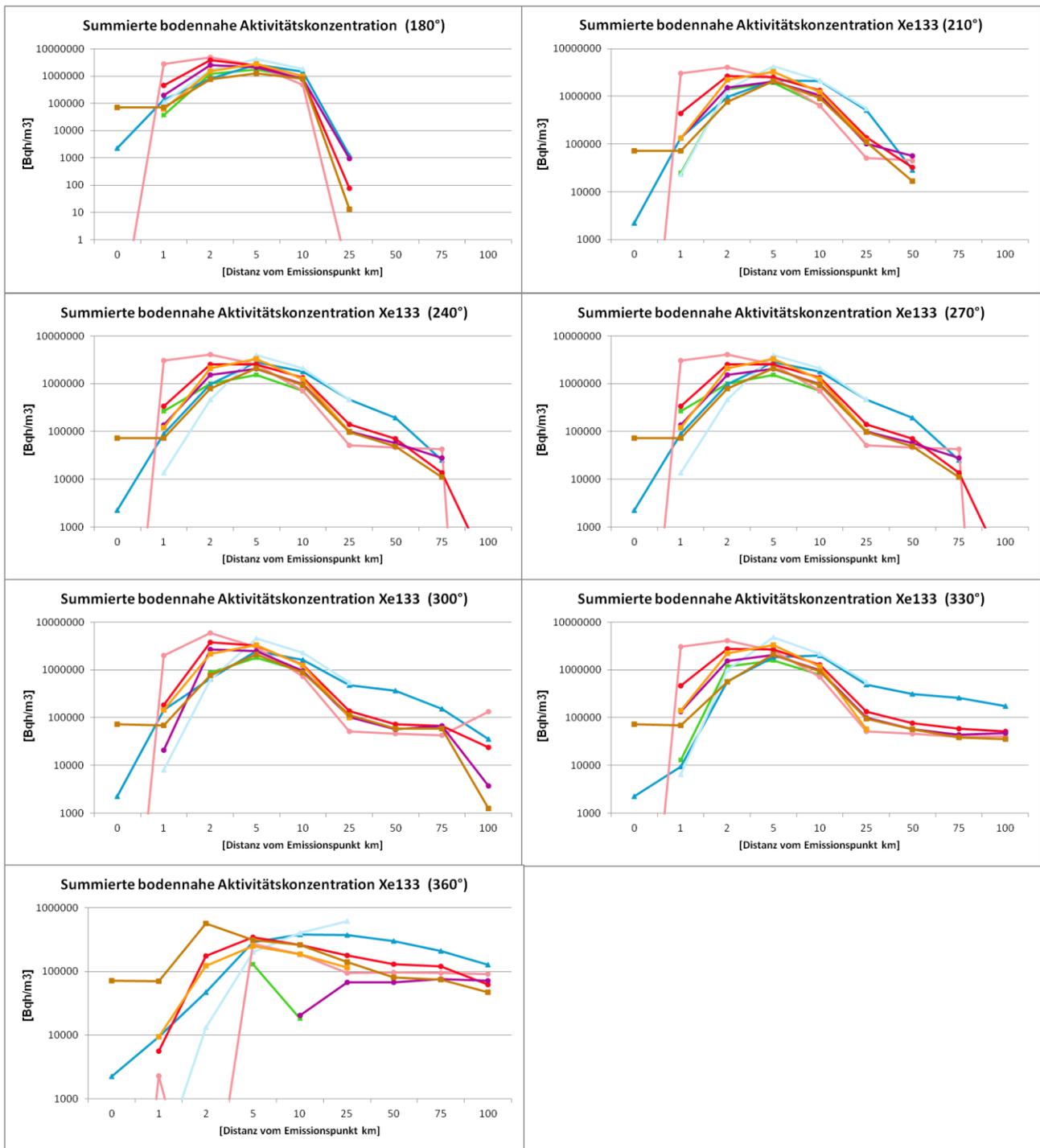


Abbildung 3.7-16: Summierte Aktivitätskonzentration von Xe133 entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).

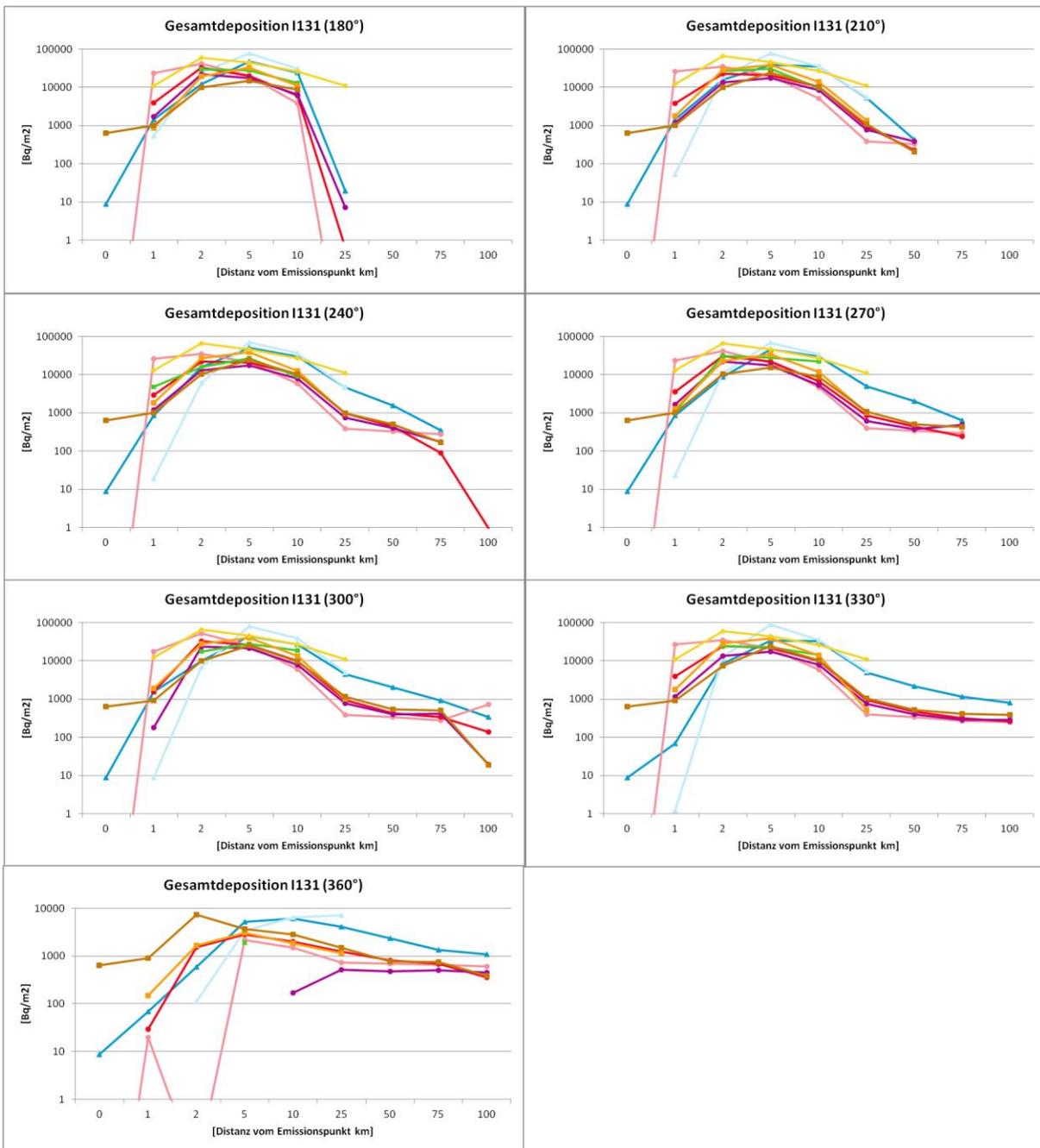


Abbildung 3.7-17: Gesamtdeposition I131 entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).

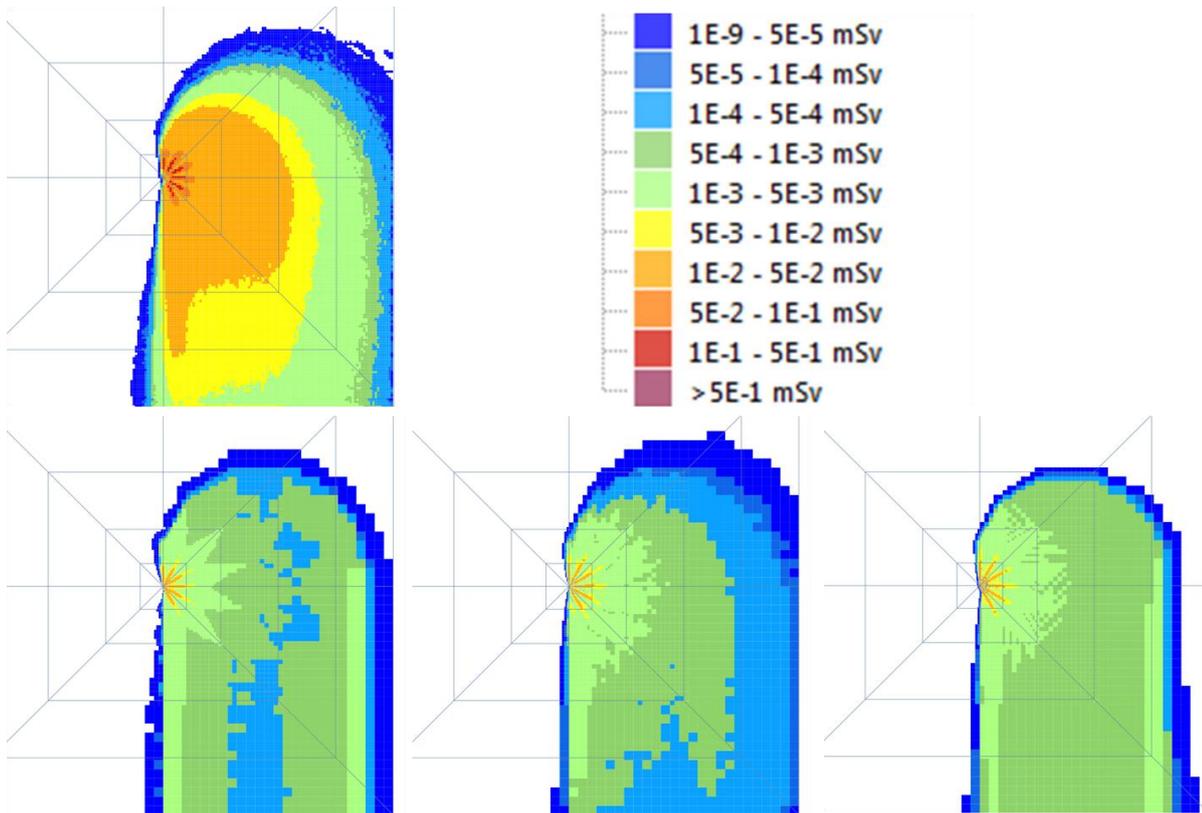


Abbildung 3.7-18: Effektive Dosis für die Modelle ABR100 (oben links), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 75km Quellabstand in nördlicher Richtung bis zu 100km in südlicher Richtung.

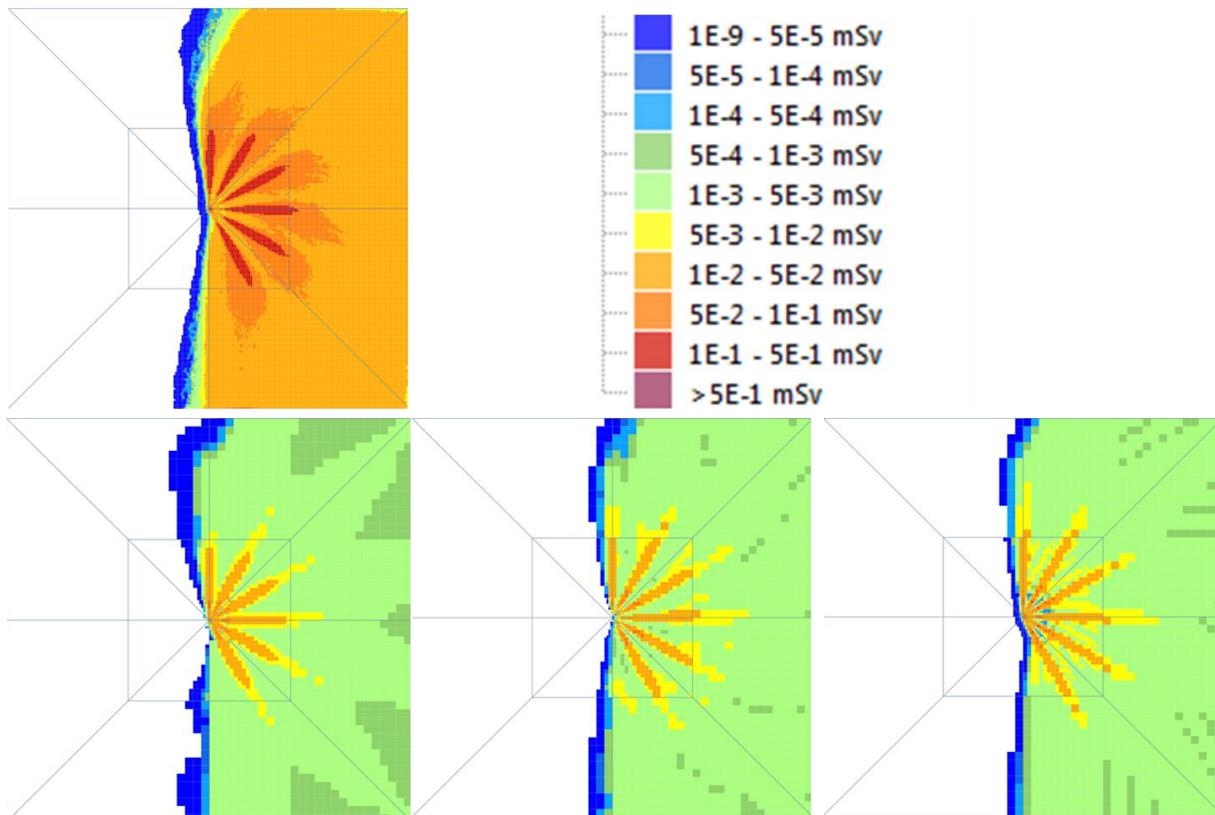


Abbildung 3.7-19: Effektive Dosis für die Modelle ABR100 (oben links), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 25x25km².

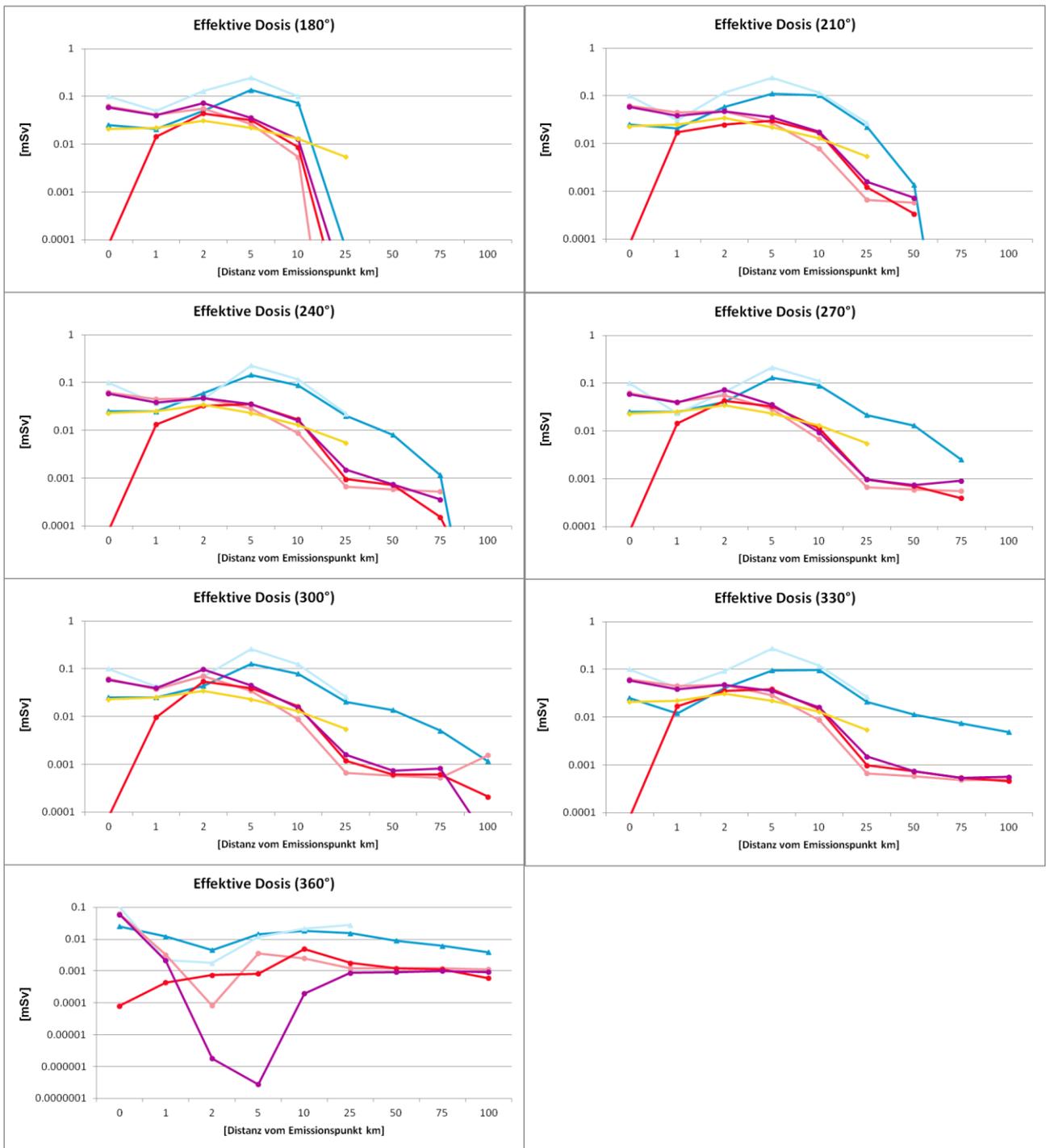


Abbildung 3.7-20: Effektive Dosis entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).

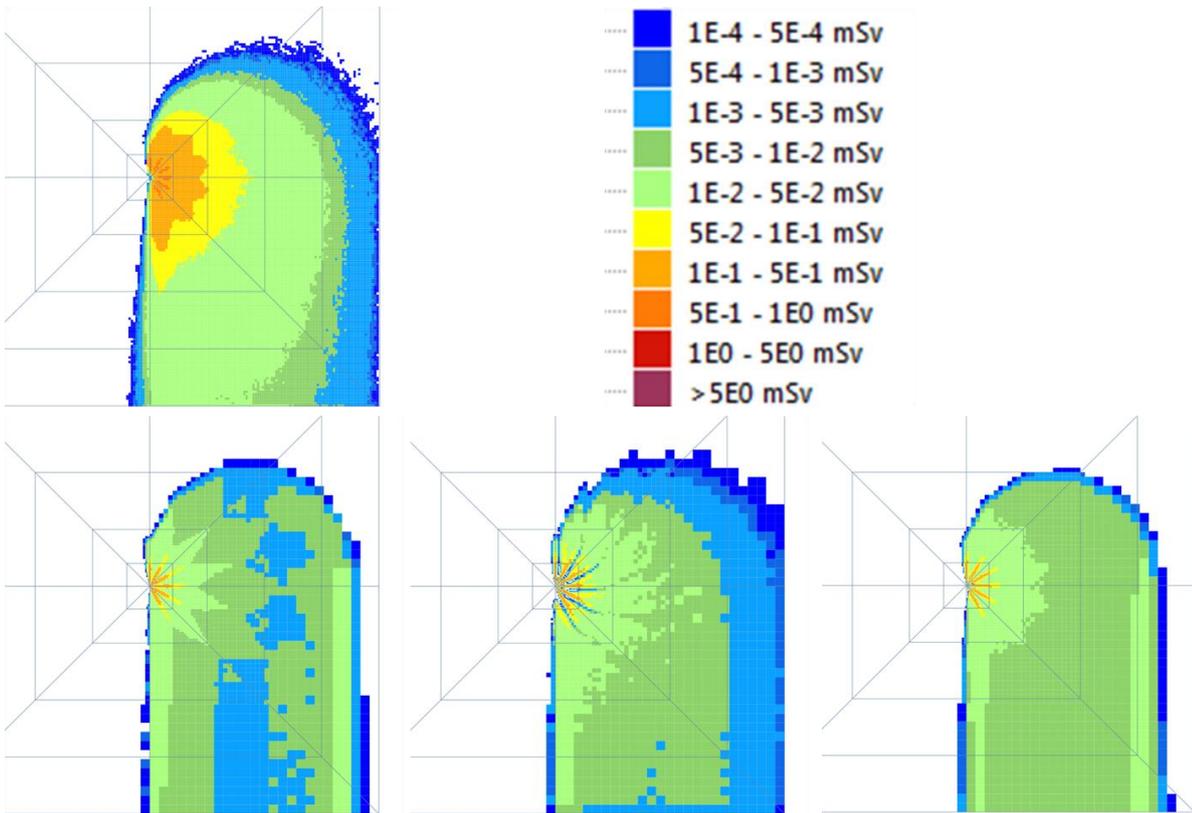


Abbildung 3.7-21: Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 75km Quellabstand in nördlicher Richtung bis zu 100km in südlicher Richtung.

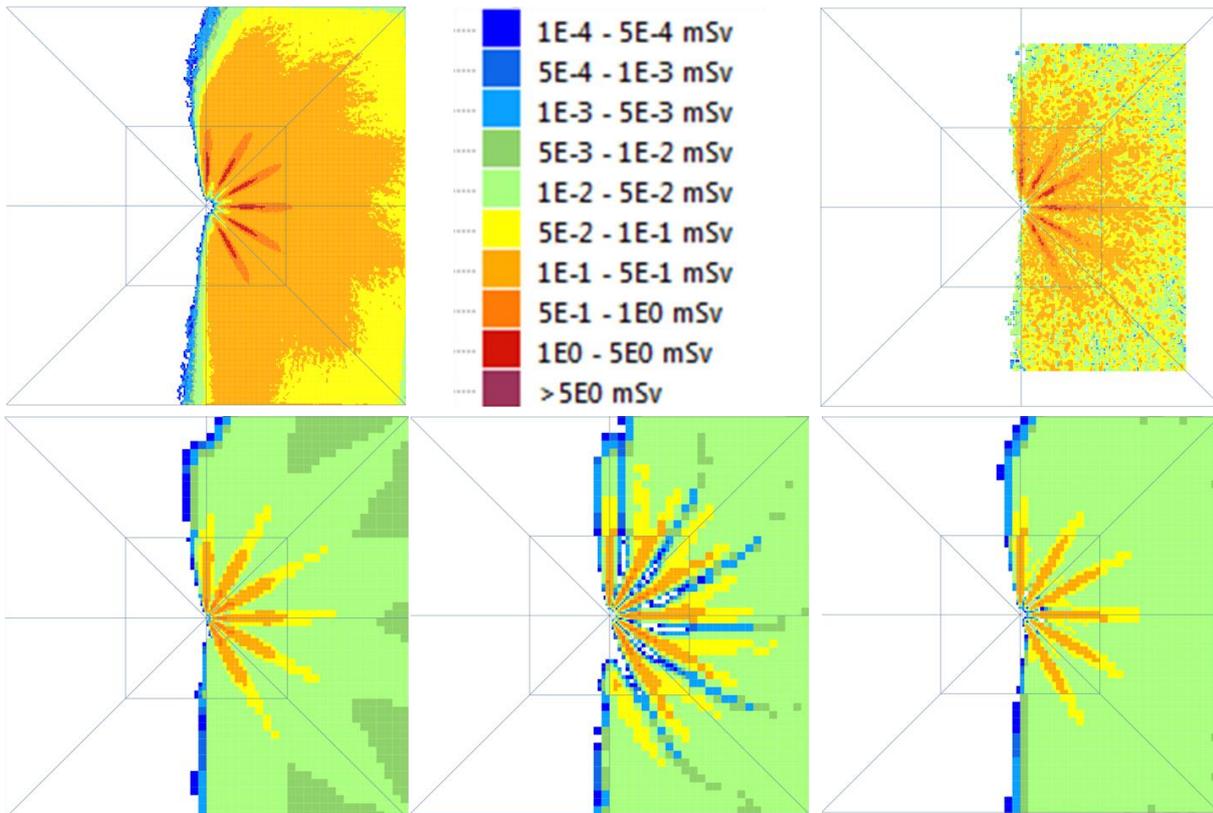


Abbildung 3.7-22: Inhalationsdosis Schilddrüse für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 25x25km².

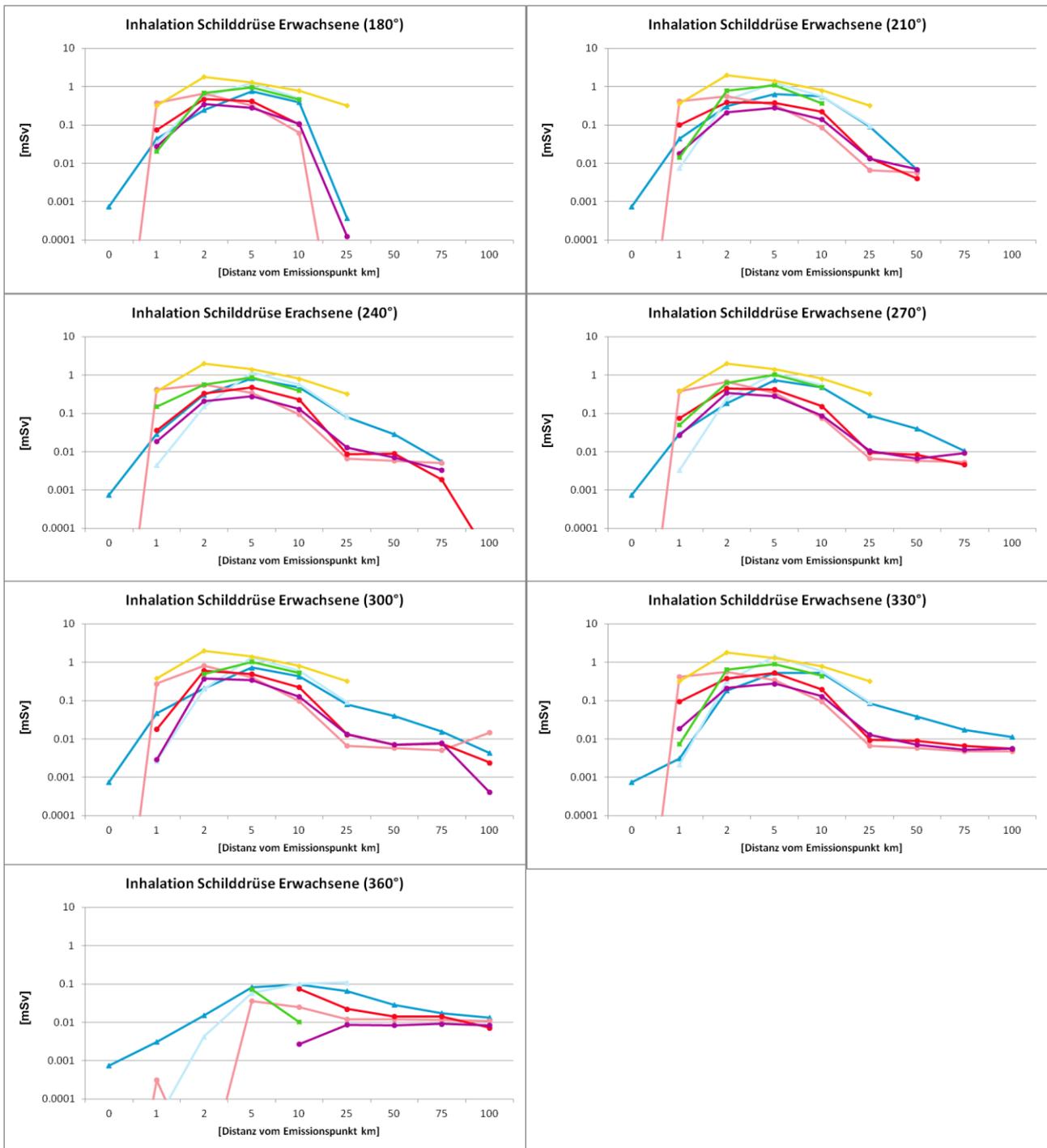


Abbildung 3.7-23: Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene für das Szenario E2M6 entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).

3.8 SZENARIO E2M7: WINDSCHERUNG

Das hier betrachtete Szenario untersucht das Verhalten der Modelle bei einer konstanten Scherungssituation, beschrieben durch eine Südströmung in Bodennähe, die von einer Südwestströmung in Emissionshöhe (hier 150 m) überlagert wird. Während die bisher untersuchten Szenarien alle im vorgesehenen Anwendungsbereich der Modelle liegen, d.h. die zugrundeliegenden Randbedingungen durch die Modellierung abgedeckt sind, gilt diese Aussage nicht mehr für alle Modelle bzgl. des Szenarios E3M7, wie im Folgenden erläutert wird.

Die Modelle SAFER und LASAIR sehen keine Eingabemöglichkeit für Windrichtung und Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen vor und nehmen daher nicht mehr am Modellvergleich für dieses Szenario teil. Natürlich sind die bei LASAIR eingesetzten Modelle grundsätzlich in der Lage, die Anforderungen des Szenarios zu erfüllen. Für den Einsatzzweck von LASAIR im Rahmen der nuklearen Gefahrenabwehr wurde jedoch auf die hierzu erforderliche Konfigurationsmöglichkeit verzichtet.

Für die Auswertung werden wieder die zweidimensionalen Darstellungen der bodennahen Konzentration von Xe133, der effektiven Dosis sowie der Inhalationsdosis erzeugt. Für die Verlaufskurven wurden im Rahmen der Projektdurchführung Darstellungen der Observablen entlang der Winkel 180° bis 220° in Schritten von 5° generiert. Für diesen Bericht wurden hieraus die Winkel 220°, 210°, 200°, 190° ausgewählt.

3.8.1 Vorbemerkung zu den Puff-Modellen bei diesem Szenario

Bei den Puff-Modellen ATSTEP und RIMPUFF ist zu beachten, dass diese nach Modellkonstruktion die geforderte Windscherung mit Freisetzung in Kaminhöhe nicht realistisch wiedergeben können. Bei der Modellierung wird jedem Puff eine effektive Transporthöhe zugewiesen, die mit der Starthöhe der Freisetzung beginnt und mit dem Diffusionsparameter σ_z wächst. In dieser effektiven Transporthöhe wird der jeweilige den Transport bestimmende Windvektor verwendet. Beim hier betrachteten Szenario merken die Puff-Modelle daher nichts von der darunterliegenden Scherung, weil die effektive Transporthöhe mit 150 m beginnt und dann während der Rechnung mit σ_z weiter ansteigt. Bei einer bodennahen Freisetzung würde hingegen eine anfängliche Biegung der Fahne beginnend mit der Richtung am Boden auf die Richtung in der Höhe sichtbar werden.

3.8.2 Vertikale Windprofile und Vorbemerkungen zum Einfluss der Turbulenzmodellierung in ARTM

Zu der Wettersituation dieses Szenarios gehört typischerweise eine eher stabile Schichtung der Atmosphäre (hier ausgedrückt durch die Diffusionskategorie E). Bei der stabilen Schichtung wurde bei der Diskussion des Szenarios E1M4 festgestellt, dass die vertikalen Windgeschwindigkeitsprofile der verschiedenen Modelle bei Vorgabe eines Windmesswertes in einer Höhe relativ ähnlich zueinander waren. Allerdings führte die bei der Ausbreitung verwendete zugehörige Turbulenzmodellierung zu teilweise vertikal sehr schmalen Fahnen aufgrund deutlich geringerer vertikaler Durchmischung, insbesondere bei den Modellen ARTM und LASAIR.

Im Szenario E2M7 ergeben sich nun bereits deutliche Unterschiede in der Wiedergabe der vertikalen Windprofile, wie in Abbildung 3.8-1 gezeigt ist. Im Vergleich zu den bisher betrachteten Szenarien, ist jetzt zusätzlich die Frage der Höhenabhängigkeit der Windrichtung relevant. Das Geschwindigkeitsprofil der ABR weicht deutlich von den anderen Modellen ab. ABR sagt insbesondere deutlich höhere Geschwindigkeiten unterhalb der Emissionshöhe vorher (vorgegeben waren 2 m/s in 10 m Höhe und 5 m/s in 150 m Höhe). Bzgl. der Windrichtung zeigt die ABR eine fast linear verlaufende Wiedergabe der Winddrehung von 180° auf 220°. Die bei RODOS verwendeten Profile sind ähnlich zu den für das Modell ARTM eingezeichneten Kurven, die im folgenden Absatz genauer erläutert werden. Auffällig bei RODOS ist die oberhalb der Emissionshöhe einsetzende Drehung zu nördlicheren Richtungen.

In ARTM lassen sich die meteorologischen Bedingungen für die hier definierte vertikale Scherung der Windrichtung nicht direkt eingeben. Stattdessen muss auf die in dem Grenzschichtmodell von ARTM implementierte Parametrisierung der Drehung der Windrichtung mit der Höhe zurückgegriffen werden, die in Abschnitt 8.2 des Anhangs 3 der TA Luft [17] dokumentiert ist. Die in Abbildung 3.8-1 dargestellten Vertikalprofile von ARTM stellen zwei Realisierungen der hiermit berechneten Windrichtungsdrehung dar: Die mit der hellbraunen Kurve dargestellten vertikalen Windprofile (sowie die Turbulenzparameter) wurden aus der für die Diffusionskategorie E und Rauigkeitslänge $z_0 = 0,1$ m resultierenden typischen Monin-Obukhov-Länge $L_M = 60$ m berechnet; siehe hierzu Tabelle 6 in Anhang 3 der TA Luft. In diesen Fall werden die für die Höhen 10 m und 150 m vorgegebenen Werte für Windgeschwindigkeit und Windrichtung jedoch nur näherungsweise getroffen. Die durch die dunkelbraunen Kurven gekennzeichneten Vertikalprofile, welche die vorgegebenen Werte für Windgeschwindigkeit und Windrichtung wesentlich besser treffen, wurden durch eine Modifikation der Monin-Obukhov-Länge gewonnen. Diese wurde hierzu so lange variiert bis sich eine bestmögliche Übereinstimmung ergab. Diese Erhöhung der Monin-Obukhov-Länge L_M von 60 m auf 150 m bedeutet eine Veränderung der stabilen thermischen Schichtungsverhältnisse in Richtung neutraler Schichtung mit stärker ausgebildeter Turbulenz. Deshalb ergeben sich auch Veränderungen in den Turbulenzparametern, d.h. der Standardabweichungen der turbulenten Geschwindigkeitsfluktuationen σ_u , σ_v , σ_w , der turbulenten (Lagrange-schen) Zeitskalen T_{Lu} , T_{Lv} und T_{Lw} sowie der resultierenden horizontalen und vertikalen Diffusionskoeffizienten K_h und K_v . Zur Dokumentation der hieraus resultierenden Unterschiede werden im Folgenden die ARTM-Rechnungen mit beiden Monin-Obukhov-Längen für die beiden Auflösungen von 256 m bzw. 1024 m betrachtet. Die Farbzuordnung der Verlaufskurven in diesem Abschnitt ist in Abbildung 3.8-2 gezeigt.

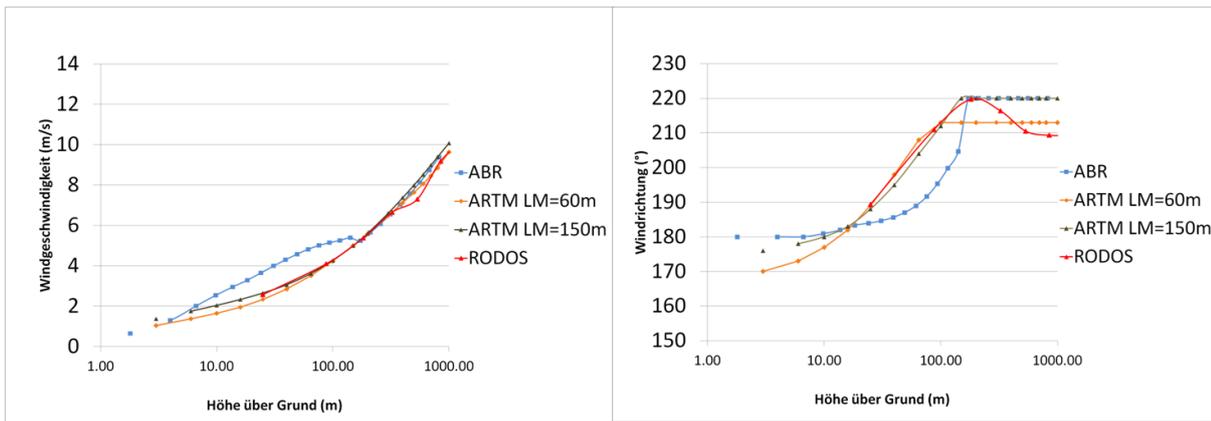


Abbildung 3.8-1: Vertikales Windgeschwindigkeits- (links) und Windrichtungsprofil (rechts) für das Szenario E3M7

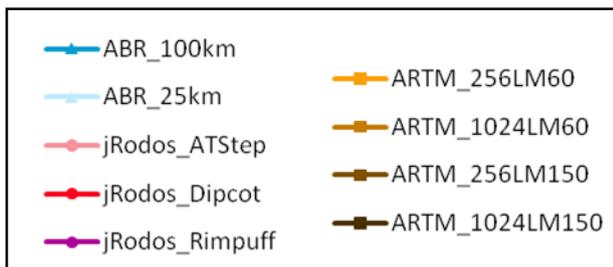


Abbildung 3.8-2: Legende für die Verlaufskurven im Szenario E3M7.

3.8.3 Bodennahe Luftkonzentration

Wie die obigen Ausführungen bereits vermuten lassen, zeigen die Ergebnisse der Modellrechnungen deutliche Unterschiede zwischen den Modellen auf. In den Abbildungen 3.8-3 bis 3.8-5 sind wieder die Ergebnisse für die zeitintegrierte Xenonkonzentration in der Fläche und entlang der oben definierten vier Achsen dargestellt.

- Die Puff-Modelle zeigen wie erwartet eine analog zu E1M4 schmale Fahne entlang der durch die in Emissionshöhe definierte Windgeschwindigkeit. Es ist keine Deformation durch die darunterliegende Scherung zu verzeichnen. Wie aus den Verlaufskurven ersichtlich, ergeben sich für die beiden Modelle nur Beiträge in Richtung von 220°.
- Entlang der 220°-Richtung liefern nur die drei RODOS-Modelle einen nennenswerten Beitrag. ABR und ARTM sagen hier nur kleine Werte voraus. Das gilt noch stärker für ARTM (aufgrund der schwächer ausgeprägten Turbulenz).
- Die ABR-Ergebnisse zeigen eine deutliche Scherung der Fahne in Richtung des Bodenwindes an. Ursachen hierfür sind die in der ABR stärkere vertikale Durchmischung der Fahne sowie der oben diskutierte Verlauf des Vertikalprofils der Windrichtung. Die ABR zeigt insgesamt wieder die deutlich breiteste Fahne.
- Die DIPCOT-Fahne ist bzgl. der Form ähnlicher zu den ARTM-Fahnen, was sich zum Teil auf das Vertikalprofil der Windrichtung zurückführen lässt. Allerdings sind hier die Maximalwerte näher an der 220°-Richtung lokalisiert.
- Bei den ARTM-Fahnen zeigen die mit LM=60 m gerechneten Fahnen die bereits aus E1M4 bekannte geringe vertikale Durchmischung an. Die zugehörigen Fahnen berühren den Boden erst bei Abständen größer als 10 km. Die Rechnungen mit LM=150 m ergeben eine deutlich breitere Fahne verbunden mit einer Verschiebung der Maximalwerte (Drehung in Richtung Nord), allerdings deutlich schwächer ausgeprägt als bei der ABR. In Richtung 220° ergibt sich hier nur ein minimaler Beitrag am Rand der Fahne (einzelne Punkte mit sehr kleinen Werten in den Diagrammen), während die Rechnung mit LM=60 m dort keinen Beitrag vorhersagt.
- Die Gesamtabweichungen zwischen den Modellergebnissen betragen mehrere Größenordnungen.

3.8.4 Deposition

Die in Abbildung 3.8-6 gezeigte Deposition von I131 verhält sich wie aus den Ergebnissen für die Konzentration zu erwarten ist. Auf eine Flächendarstellung wird an dieser Stelle verzichtet. Die Ergebnisse für das Nuklid Cs137 sind ebenfalls analog und daher nicht gezeigt.

3.8.5 Dosisparameter

Die bisherigen Ergebnisse zu E3M7 deuten bereits auf signifikante Unterschiede in den Dosisparametern hin. Die Ergebnisse für die effektive Dosis sind in den Abbildungen 3.8-7, 3.8-8 und für die Inhalationsdosis in den Abbildungen 3.8-9, 3.8-10 gezeigt. Folgendes ist festzuhalten:

- Die ABR sagt bis zu recht großen Abständen hohe Werte für die Dosis voraus. Die Puff-Modelle tun dies erwartungsgemäß nur für die Richtung 220°, bei der die ABR zwei Größenordnungen kleinere Werte angibt.
- In Quellnähe fällt auf, dass nur die ABR einen relativ hohen Wert für die effektive Dosis vorhersagt. Dieser wird durch die unterschiedliche Behandlung der Gammasubmersion verursacht. Diese führt zu der, auch entgegen der Ausbreitungsrichtung erkennbaren, Signatur in Quellnähe, die bei RIMP-UFF ebenfalls sichtbar ist, allerdings mit deutlich geringerer Ausprägung.
- Wie erwartet verhält sich die Inhalationsdosis analog zur bodennahen Konzentration. Für die Richtung 210° liegen die Ergebnisse zwischen DIPCOT und ABR nahe beieinander.
- Die Gesamtabweichungen sind deutlich und betragen zum Teil mehrere Größenordnungen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich das Szenario E3M7 durch die bisher deutlichsten Unterschiede in den Resultaten auszeichnet. Zunächst ist an dieser Stelle der deutlich unterschiedliche Verlauf des Vertikalprofils der Winddrehung als Ursache zu benennen. Die Erwartung liegt nahe, dass die deutlich abweichenden Ergebnisse der ABR sich bei Verwendung des ARTM-Profils an die ARTM-Resultate mit LM=150 m annähern würden. Bei Verwendung eines weiteren Windmesswerts zwischen der Boden- und Emissionshöhe wären die Unterschiede vermutlich ebenfalls geringer. In der Praxis ist diese zusätzliche Randbedingung über die meteorologische Instrumentierung am Kraftwerksstandort (Mast- oder SODAR-Messungen) oder aber über die Verwendung dreidimensionaler Windfelder aus der Wetterprognose in der Regel erfüllt. Als weitere Ursache für die Abweichungen zwischen ABR und ARTM ist die unterschiedliche Turbulenzmodellierung zu benennen, die im Fall der ABR zu einer deutlich stärkeren vertikalen Durchmischung und damit verbundenen erhöhten bodennahen Konzentration führt (vgl. hierzu die Ergebnisse zu E1M4).

In den ARTM-Ergebnissen zeigt sich analog zu E1M4, dass die hier in diesem Modell verwendete Turbulenzparametrisierung bei stabiler Schichtung deutlich von den anderen Modellen abweicht. Die Abweichungen der Puffmodelle sind wie oben erläutert verständlich, denn deren Modellierungsbasis berücksichtigt die hier zugrundeliegende Scherungssituation unterhalb der Emissionshöhe nicht.

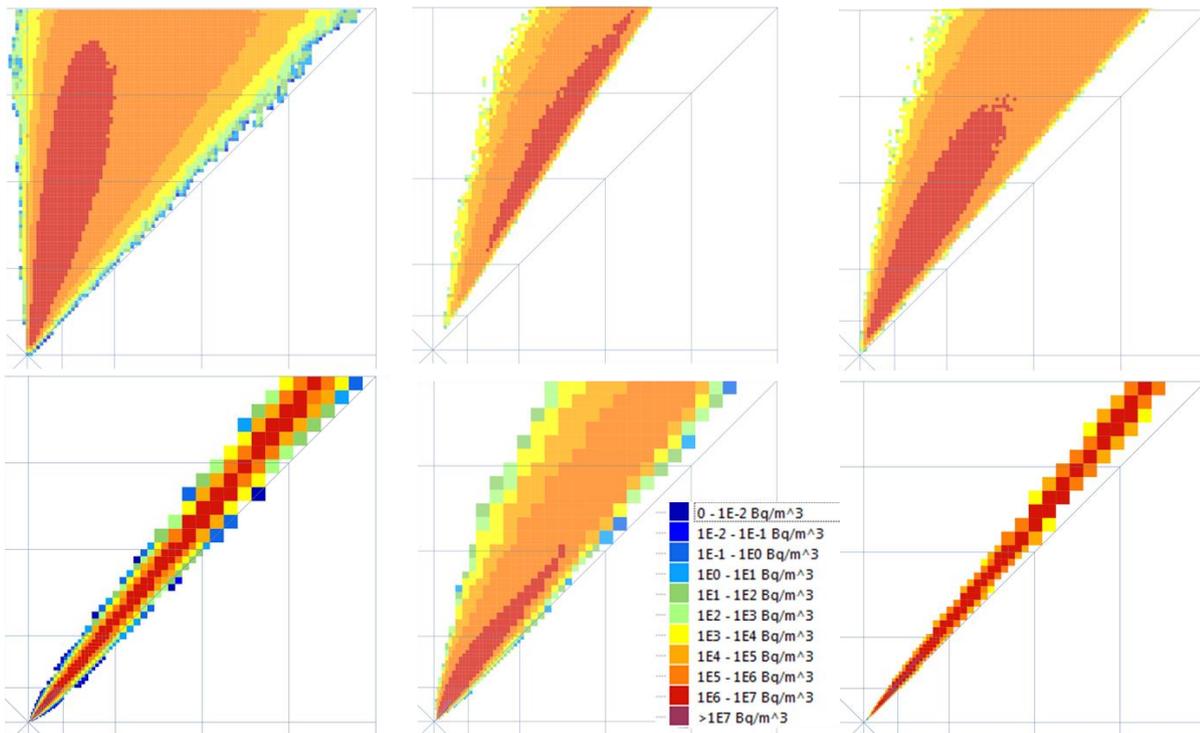


Abbildung 3.8-3: Vergleich der bodennahen Aktivitätskonzentrationen von Xe133 für die Modelle ABR (oben links), ARTM mit $L_M=60m$ (oben Mittel), ARTM mit $L_M=150m$ (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mittel), RIMPUFF (unten rechts): Ausschnitt 100x100 km².

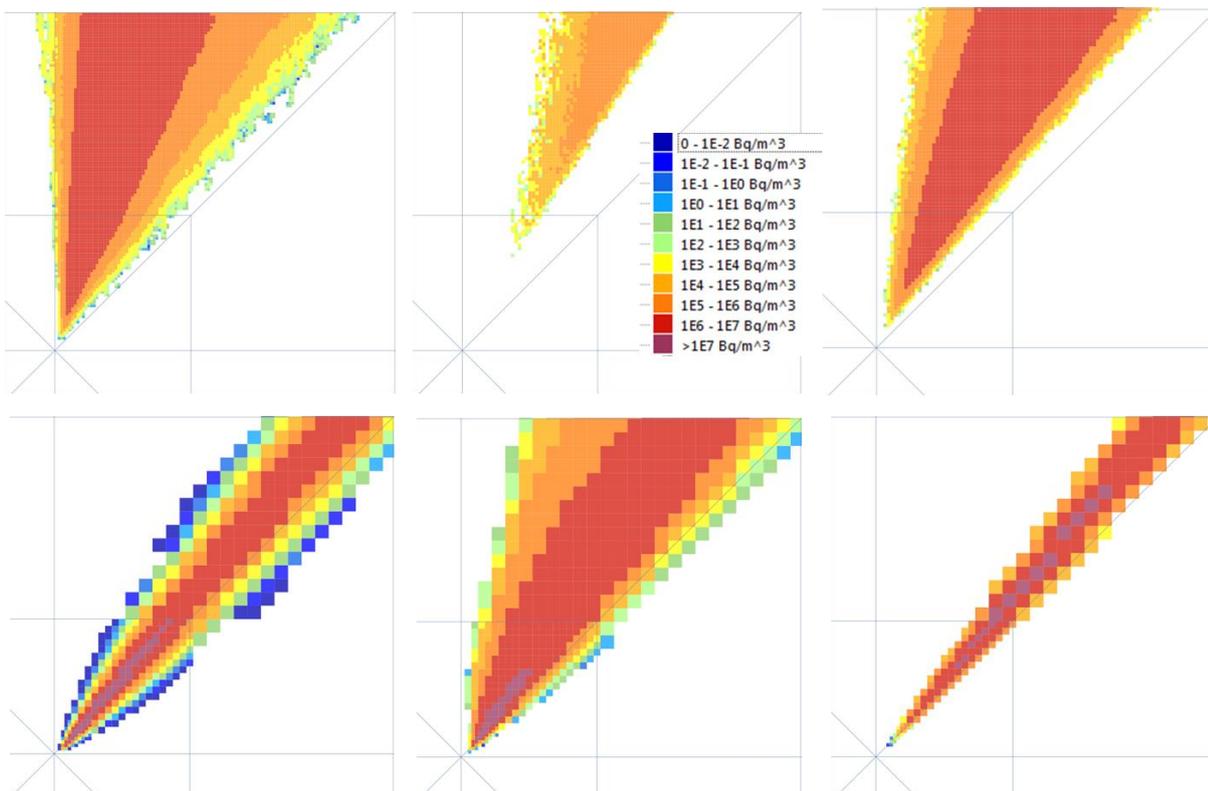


Abbildung 3.8-4: Vergleich der bodennahen Aktivitätskonzentrationen von Xe133 für die Modelle ABR (oben links), ARTM mit $L_M=60m$ (oben Mittel), ARTM mit $L_M=150m$ (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mittel), RIMPUFF (unten rechts): Ausschnitt 25x25 km².

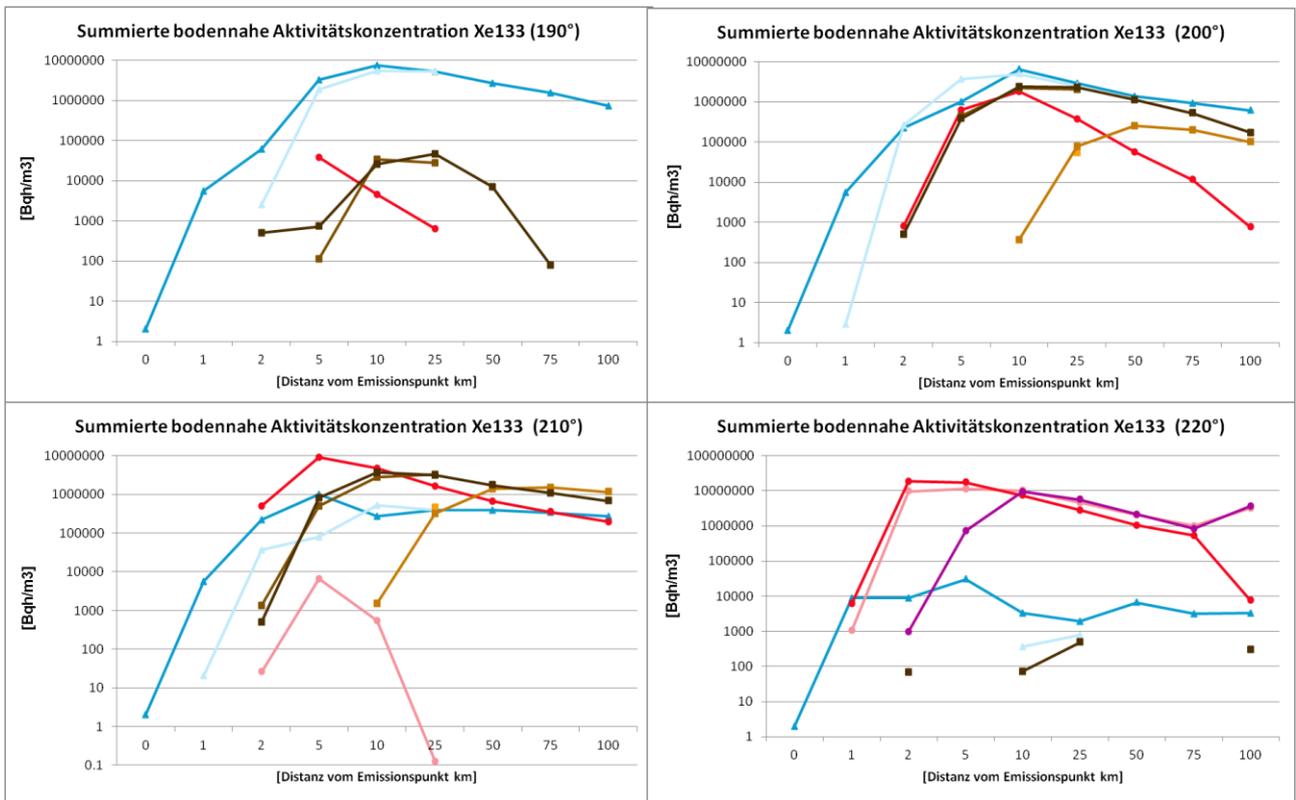


Abbildung 3.8-5: Vergleich der summierten bodennahen Aktivitätskonzentrationen von Xe133 entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.

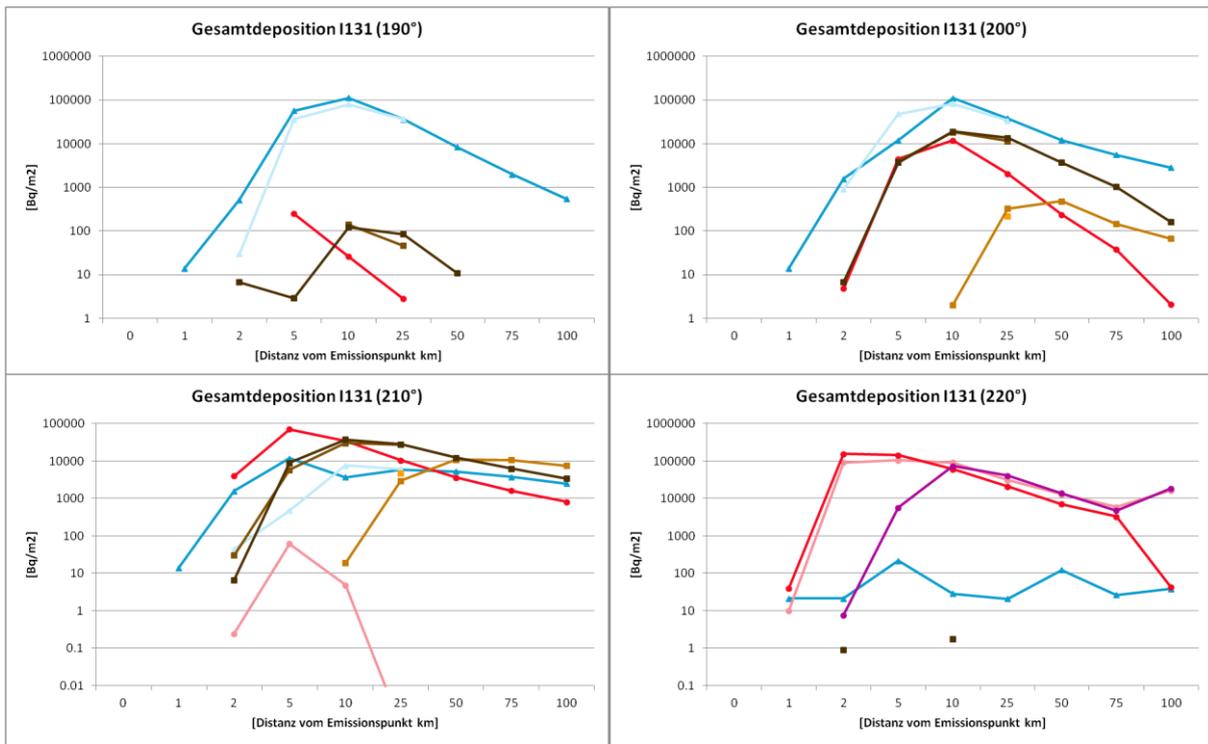


Abbildung 3.8-6: Vergleich der Deposition von I131 entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.

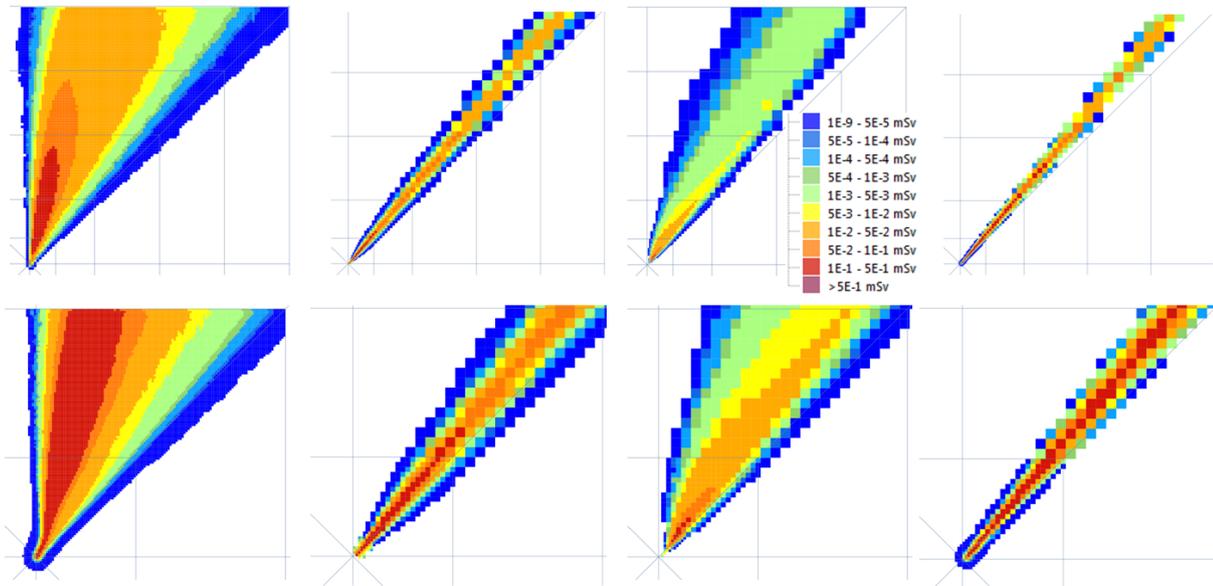


Abbildung 3.8-7: Vergleich der effektiven Dosis für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMPUFF (von links nach rechts). Die obere Reihe zeigt einen Gebietsausschnitt von 100x100 km², die untere einen Ausschnitt von ca. 25x25 km².

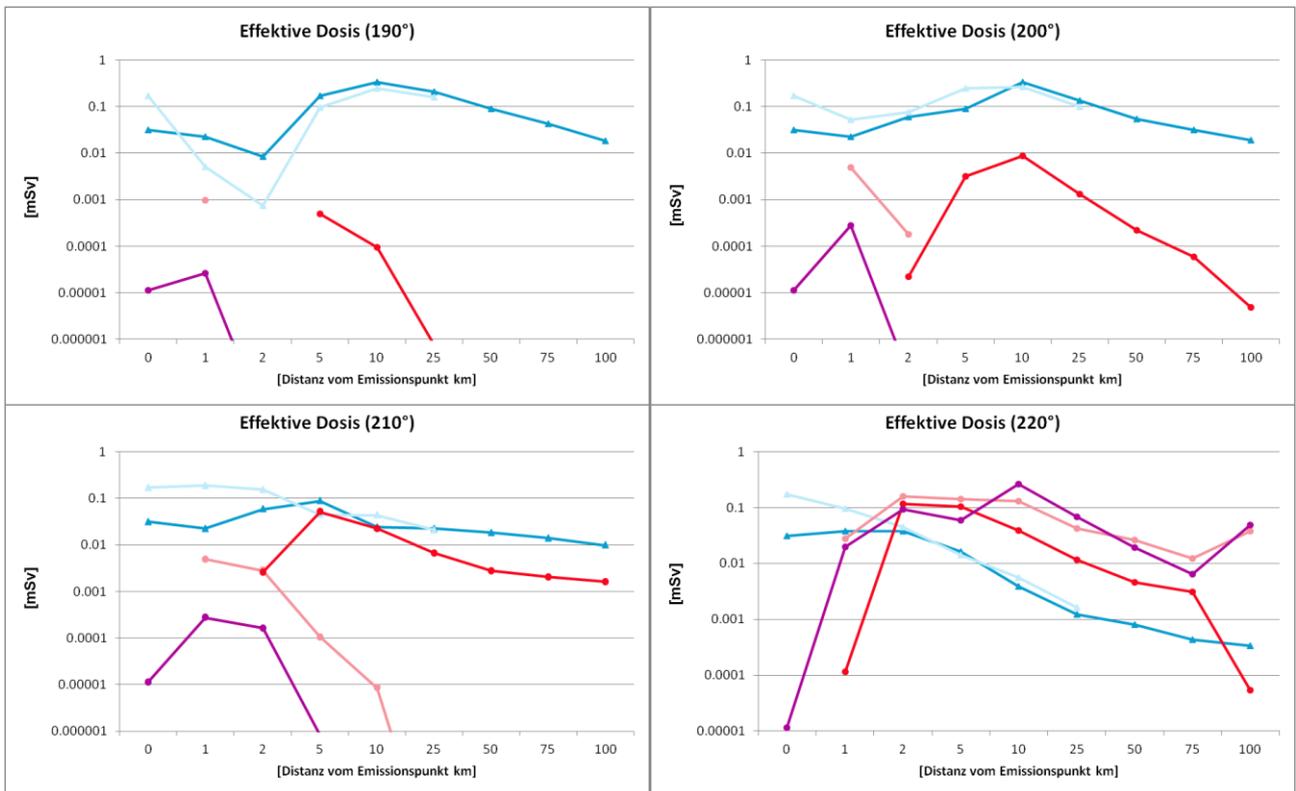


Abbildung 3.8-8: Vergleich der effektiven Dosis entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.

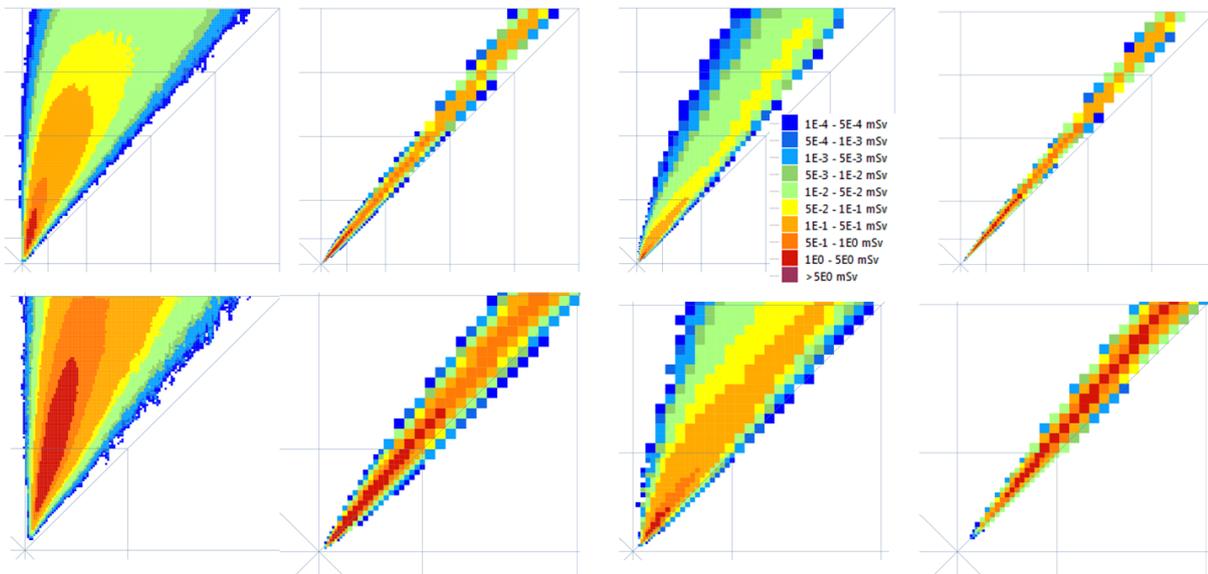


Abbildung 3.8-9: Vergleich der Inhalationsdosis Schilddrüse für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMP-UFF (von links nach rechts). Die obere Reihe zeigt einen Gebietsausschnitt von 100x100 km², die untere einen Ausschnitt von ca. 25x25 km².

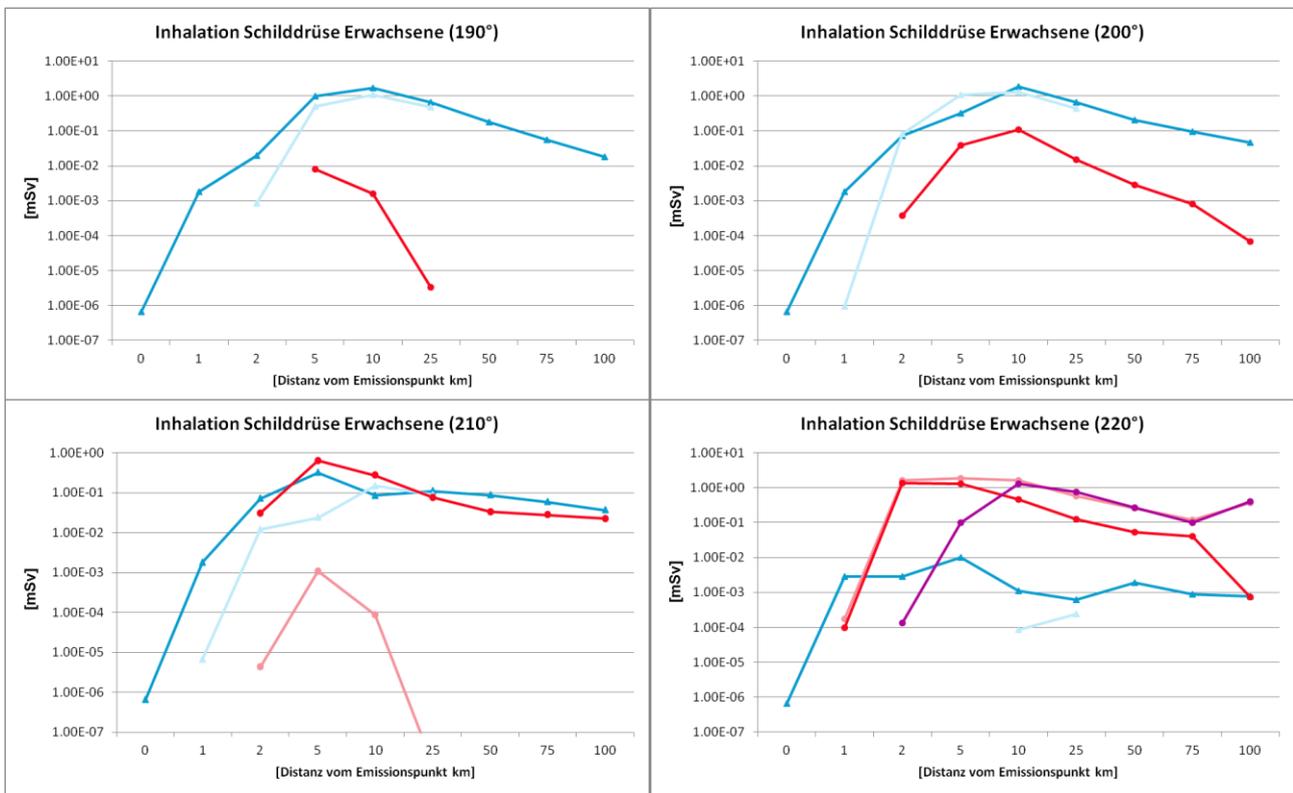


Abbildung 3.8-10: Vergleich der Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.

3.9 SZENARIO R1: REALISTISCHE METEOROLOGISCHE BEDINGUNGEN: WINDSCHERUNG IM MITTLEREN RHEINGRABEN

Das Szenario R1 gehört zu einer typischen Wettersituation im mittleren Rheingraben, die zum Zeitpunkt der Freisetzung eine deutliche Windscherung am Standort (Biblis, KWB) aufzeigt und im Lauf der Freisetzung mit einer leichten Winddrehung und dem Durchzug eines Niederschlagsgebietes kombiniert ist. In gewisser Art und Weise bildet dieses Szenario daher eine Fortsetzung der Szenarien E1M5, E2M6 und E3M7 zu realen Wettersituationen. Beim jetzigen Szenario ist nun auch das beim DWD eingesetzte Ausbreitungsmodell LPDM beteiligt. ARTM, SAFER und LASAIR scheidet aufgrund der nicht umgesetzten Realisierung zur Integration von 3D-Wettervorhersagedaten aus.

3.9.1 Vorbereitungen zur Wetterlage

Die gemeinsame Basis der Rechnungen bildet die COSMO-DE-Wettervorhersage des Deutschen Wetterdienstes vom 30.07.2013 00:00 UTC. Im Unterschied zu E3M7 liegen damit jetzt Eingangswerte in horizontaler und insbesondere auch in vertikaler Richtung –entsprechend der vertikalen Auflösung von COSMO-DE – für das gesamte Modellgebiet vor. Das sollte dazu führen, dass insbesondere die Vertikalprofile der Modelle ähnlicher werden, da weitere Stützstellen bei der Berechnung der räumlich höher aufgelösten diagnostischen Windfelder zur Verfügung stehen. Für die Auswertung wurden die 2D-Darstellungen mit einer Karte hinterlegt, um so den Geländeeinfluss deutlicher bewerten zu können. Hierzu wurde die entsprechende Erweiterung für topographische Karten von Google in QGIS verwendet.

Vor der Diskussion der Ausbreitungsergebnisse werden aufgrund der im Vergleich zu den bisher betrachteten einfachen Szenarien die eingehenden meteorologischen Daten etwas ausführlicher dokumentiert. Abbildung 3.9-1 zeigt das Strömungsfeld der COSMO-DE-Prognose im vierten Zeitschritt – also mitten in der laufenden Freisetzung für die Höhen 10 m, 122 m (d.h. etwas oberhalb der Emissionshöhe) und 446 m. Der Geländeeinfluss ist in der niedrigsten Schicht wie erwartet am deutlichsten ausgeprägt. Schön zu erkennen ist die Südströmung westlich des Odenwaldes. Mit zunehmender Höhe dreht der Wind von Südwest auf West. Diese Windsituation ist für die Zeitdauer der Emission zeitlich recht ähnlich. Zur genaueren Betrachtung sind die Windfelder für die unmittelbare Umgebung von KWB – diesmal alle Höhenschichten bis ca. 1 000 m über Grund in einem Bild – für den vierten Zeitschritt in Abbildung 3.9-2 gezeigt. Die durch die geringste Windgeschwindigkeit erkennbare Bodenströmung dreht zunächst bei steigender Geschwindigkeit nur sehr leicht – wie für eine typische Prandtl-Schicht zu erwarten. Das ist deutlich an den dicht nebeneinander liegenden Vektoren in der Nähe des Bodenwindes zu erkennen. Oberhalb dieser Schicht deutet sich eine für die Drehung in Richtung des Höhenwindes erwartete Ekmanspirale an. Zur quantitativen Darstellung ist in Abbildung 3.9-3 zusätzlich das vertikale Windprofil für den Standort für die Zeitschritte der Freisetzung dargestellt. Man erkennt, dass die meteorologischen Bedingungen am Standort im Freisetzungszeitraum vergleichsweise wenig variieren. Während die Scherung in den ersten 5 Zeitschritten mehr als 50° beträgt (am deutlichsten ausgeprägt im zweiten Zeitschritt), fällt sie im letzten Zeitschritt auf ca. 25° zurück. Dieser mit dem Tagesbeginn einsetzende Effekt setzt sich dann entsprechend in den folgenden Zeitschritten fort.

Die Komplexität der Wetterlage wird durch den im Vorhersagezeitraum prognostizierten Niederschlag erhöht. Hierbei ist zu beachten, dass der von Westen einsetzende Niederschlag stark zeitabhängig ist, d.h. der zu erwartende „Washout“-Effekt räumlich und zeitlich inhomogen ist. Zu Veranschaulichung sind in Abbildung 3.9-4 die in den ersten fünf Zeitschritten verwendeten Niederschlagsdaten für die Umgebung von Biblis dargestellt. In den darauf folgenden Stunden ist – zumindest für das hier vorrangig betrachtete Gebiet mit einer Ausdehnung von ca. 100 km – kaum noch Regen vorhergesagt. Wie man aus Abbildung 3.9-4 in Verbindung mit den in diesen Zeitschritten vorherrschenden Windrichtungen erwartet, sind die Haupteinflüsse des Niederschlags für die Deposition in den Zeitschritten zwei und drei zu erwarten. Für die eingesetzten Modelle ist damit nach den Erfahrungen aus dem Szenario E3M7 mit deutlichen Unterschieden in der Gestalt der Wolke in Bodennähe und damit in den Depositionsergebnissen zu rechnen.

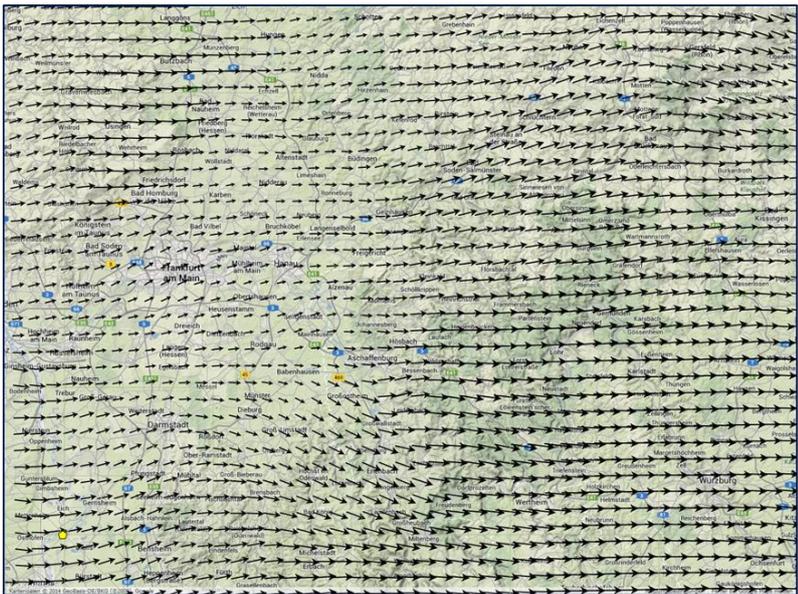
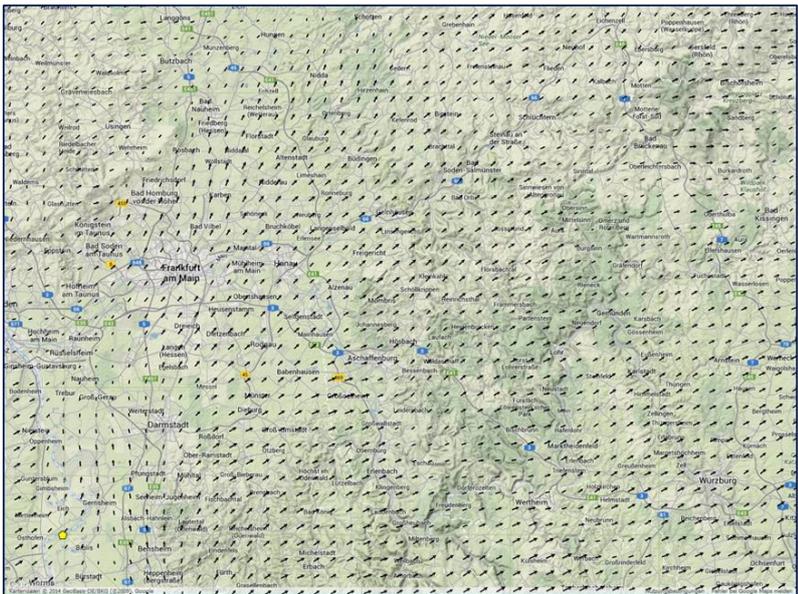


Abbildung 3.9-1: Windfelder im vierten Zeitschritt in den Höhen 10 m (oben), 122 m (Mitte) und 446 m (unten) für die Umgebung von Biblis bis zu ca. 100 km Entfernung. Der Standort Biblis ist gelb markiert in der unteren linken Ecke. Karten von Google Geographical.

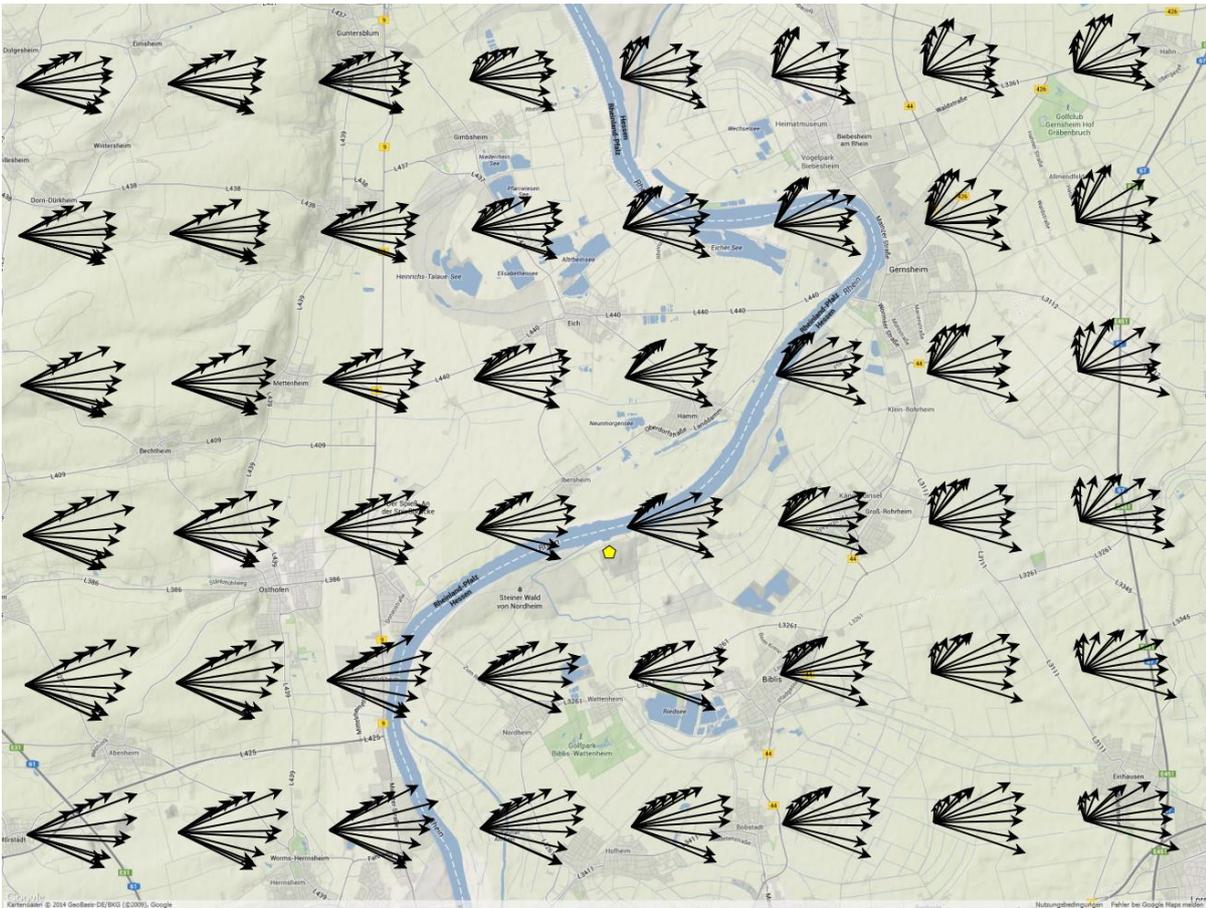


Abbildung 3.9-2: Windfelder in der Umgebung von Biblis (gelbe Markierung). Dargestellt sind die horizontalen Windvektoren in den Höhen von 10 m bis 1163 m (entsprechend der Schichtmitten der Höhenschichten von COSMO-DE). Karten von Google Geographical.

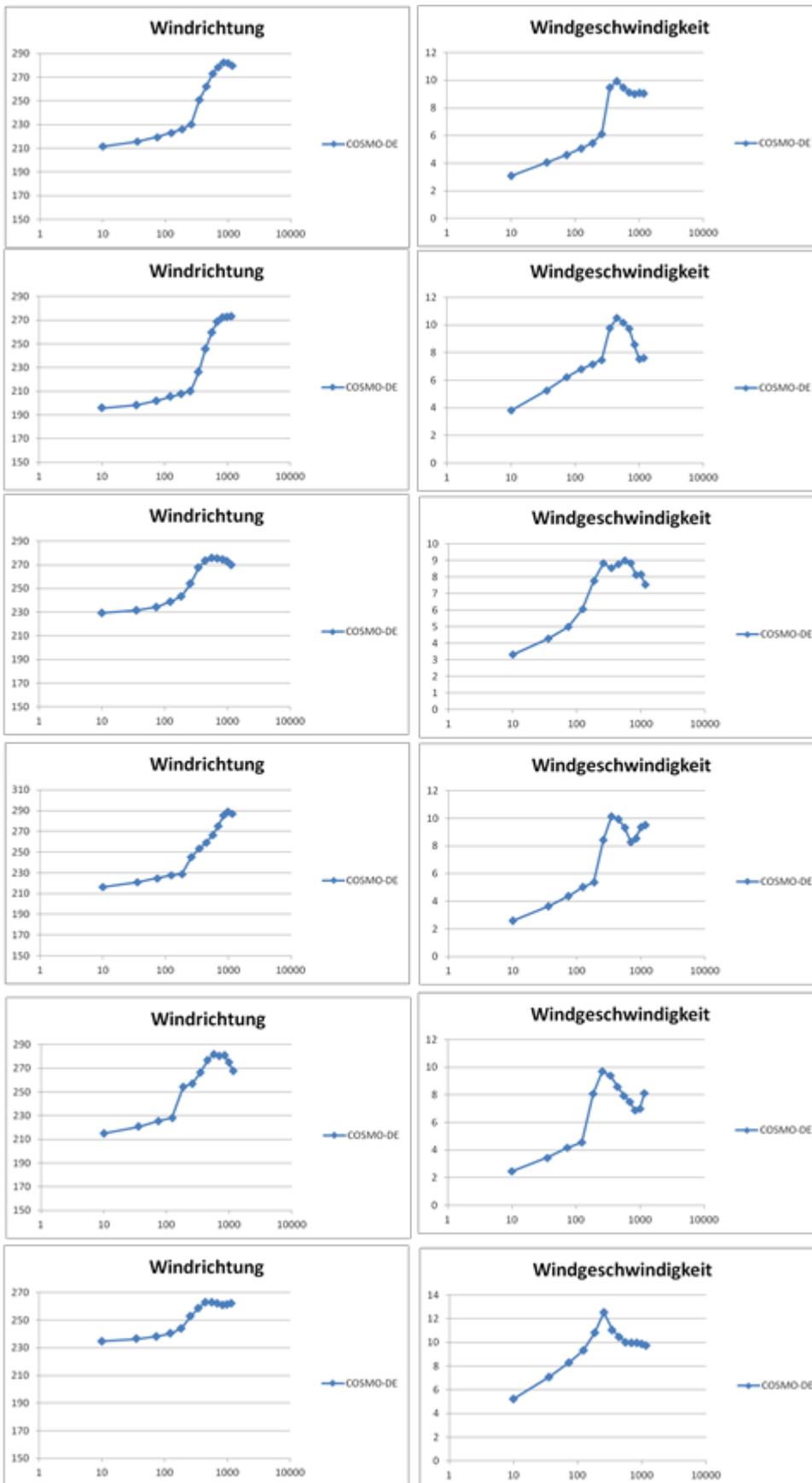


Abbildung 3.9-3: Vertikale Windprofile (Richtung links, Geschwindigkeit rechts) am Standort Biblis gemäß COSMO-DE (nur niedrigste Höhenschichten) für die ersten sechs Zeitschritte (von oben nach unten).

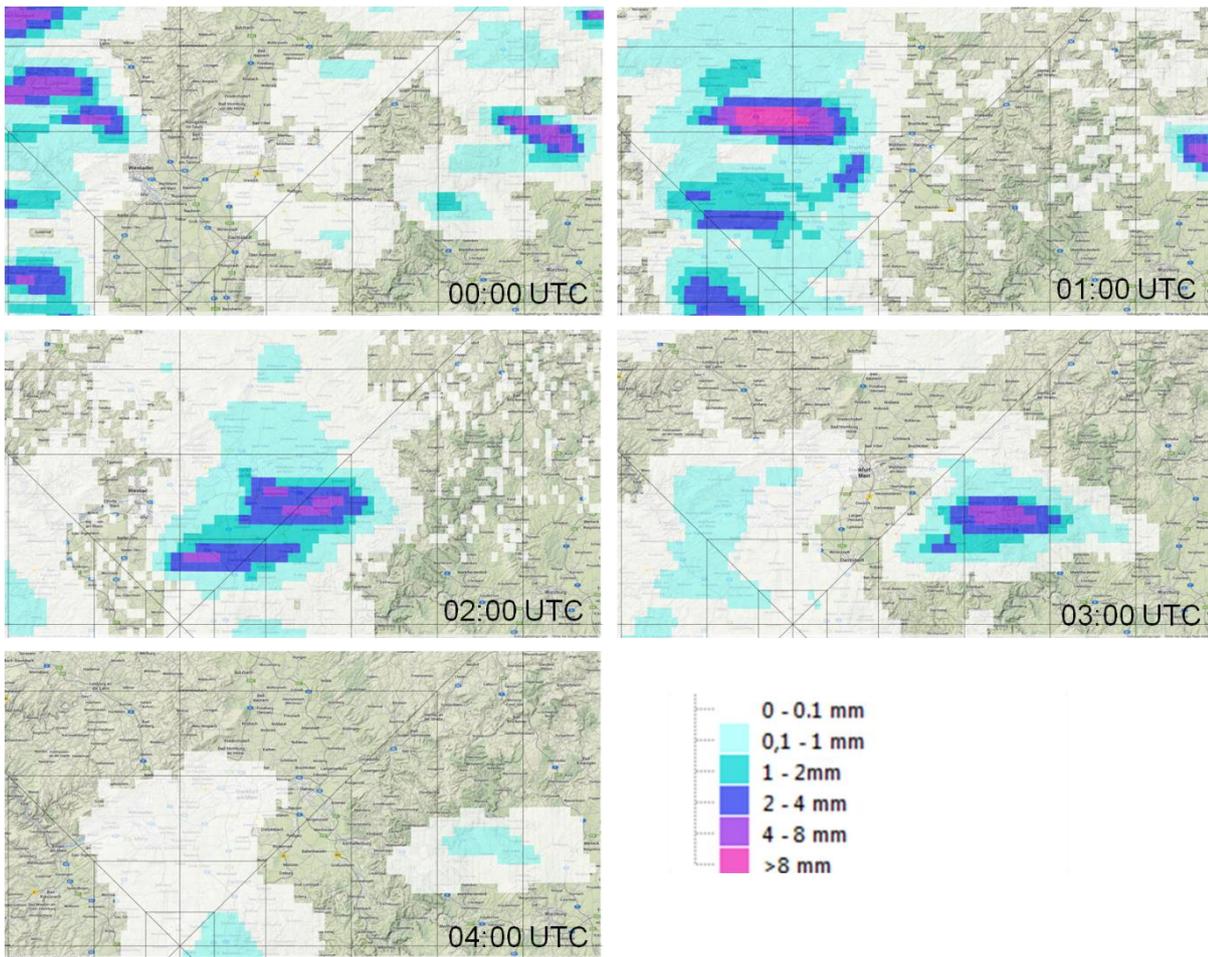


Abbildung 3.9-4: Niederschlagsprognose für die ersten 5 Stunden der Freisetzung gemäß COSMO-DE für die ersten 5 Prognosestunden. Im Anschluss ist der Niederschlag im betrachteten Gebietsausschnitt gering bzw. nicht vorhanden. Der Standort Biblis befindet sich im linken unteren Teil der Abbildungen (Zentrum des eingezeichneten Rasters).

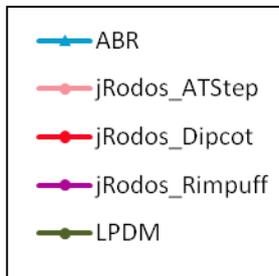


Abbildung 3.9-5: Legende für die Farbzunordnungen der Verlaufskurven im Szenario R1

3.9.2 Bodennahe Luftkonzentration

Wie bei den einfachen Szenarien wird zunächst die bodennahe Luftkonzentration von Xe133 betrachtet (Abbildungen 3.9-6, 3.9-7, 3.9-10 (linke Spalte)). Die Legende für die Verlaufskurven ist der Abbildung 3.9-5 zu entnehmen. Die Ergebnisse für das Edelgas sind unabhängig vom Niederschlag im Modellgebiet und können daher auch als repräsentativ für die zu erwartenden Ergebnisse bei Nichtberücksichtigung des Regens angesehen werden. Die quantitativen Unterschiede zwischen den Modellergebnissen werden wieder über Verläufe entlang definierter Richtungen dokumentiert. Aufgrund der Fahnenform wurden die Windrichtungen 210°, 225° und 250° ausgewählt.

Folgendes ist festzuhalten:

- Alle Modelle sagen eine qualitativ ähnliche Beschreibung der Ausbreitungssituation vorher. Das ist mit Rückblick auf die bisherigen Ergebnisse vielleicht etwas überraschend. Insbesondere am Rand des Modellgebiets in östlicher Richtung setzt sich die in größeren Höhen vorherrschende Westwindströmung durch, sodass die Fahnen hier sehr ähnlich sind. Wie zu erwarten stimmt die Form der

Fahne am besten bei LPDM, ABR und DIPCOT überein, während die Puff-Modelle etwas schmalere Fahnen produzieren.

- Aufgrund der im Vergleich zu E3 gewählten etwas niedrigeren Freisetzungshöhe sowie der erst in größerer Höhe einsetzenden Winddrehung, sind hier die Puff-Modelle in der Lage, die Scherung wiederzugeben.
- Die ABR zeigt in Übereinstimmung zu den Ergebnissen aus E3M7 eine Verlagerung der Fahne zu nördlichen Richtungen. Wie bereits beschrieben, wird dieser Effekt vor allem durch die bei der ABR schneller den Boden erreichende Fahne verursacht. Die ABR zeigt ferner eine recht deutliche Streuung in westlicher Richtung ab einer Entfernung von ca. 50 km. Diese Unterschiede werden durch das stark strukturierte Gelände des Odenwaldes verursacht, das in Bodennähe zu einem dort von COSMO-DE abweichenden Windfeld der ABR führt. Im Vergleich zu RODOS sind die Geländeeffekte in der ABR aufgrund der höheren vertikalen Auflösung in den unteren Schichten stärker ausgeprägt. Die Abweichung zu LPDM resultiert aus der höheren räumlichen Auflösung (Geländemodell).
- Interessanterweise weichen die beiden Puff-Modelle in Quellnähe recht deutlich voneinander ab. So zeigt auch RIMPUFF eine ähnlich zur ABR auftretende Scherung in nördliche Richtung an während ATSTEP –zumindest was die den Verlauf der Maximalwerte in Quellnähe betrifft – in nordöstliche Richtung verschoben ist. In größeren Entfernungen werden die Ergebnisse der beiden Modelle wieder ähnlicher.
- DIPCOT liefert die deutlich höchsten Werte für die bodennahe Konzentration. Die Unterschiede sind deutlicher ausgeprägt, als man zunächst aus den E3-Ergebnissen erwartet.
- Die LPDM-Ergebnisse decken ein deutlich größeres Gebiet ab. Die horizontale Ausdehnung der Fahne ist hier verbunden mit dem deutlich weniger steilen Abfall am Fahnenrand am größten. Aufgrund der gröberen räumlichen Auflösung weichen die Ergebnisse in Quellnähe deutlicher von den anderen Modellen ab: Die Maximalwerte liegen hier ca. eine Größenordnung niedriger.
- Die Maximalwerte liegen bei LPDM ab einer Entfernung von ca. 50 km relativ zentral in der Fahnenmitte (symmetrische Fahne). ABR, RIMPUFF und auch ATSTEP zeigen hier eher eine aus der Scherung resultierende Verzerrung in nördlichere Richtung während die DIPCOT-Werte eher die südlicheren Regionen betonen.
- Betrachtet man den Verlauf entlang der Richtungen von 210°, 225° und 250°, so ist der Verlauf bei allen Modellen qualitativ ähnlich. Man erkennt deutlich die stärkere Betonung der nördlichen Richtung bei der ABR. Auch der Einfluss des in östlicher Richtung beginnenden Odenwaldes ist hier am deutlichsten (Delle in der zu 250° gehörenden Kurve). Alle Modelle sagen eine recht hohe Konzentration bis zu Entfernungen von 100 km voraus. Auch wenn die qualitative Übereinstimmung überraschend gut erscheint, ist doch festzuhalten, dass die Abweichungen in den Ergebnissen zwischen den Modellen bis zu ca. zwei Größenordnungen betragen. Diese Unterschiede pflanzen sich natürlich direkt in die hieraus abgeleiteten Parameter fort.

3.9.3 Deposition

Aufgrund der komplexen Niederschlagssituation während der Emissionsphase wird im Folgenden die Deposition etwas detaillierter betrachtet. Wegen des inhomogenen Niederschlags ist im Gesamtbild keine deutliche Korrelation zwischen bodennaher Konzentration und Gesamtdeposition zu erwarten. Zur genaueren Betrachtung wurde in den Modellrechnungen neben der Gesamtdeposition auch die trockene und nasse Deposition separat berechnet. Zusätzlich wurde in den Modellen ABR und LPDM eine separate Rechnung ohne Regen durchgeführt um die trockene Deposition alleine und ohne Einfluss der Abreicherung durch Regen zu untersuchen. Der Bericht beschränkt sich jedoch auf die Diskussion der Rechnung mit Niederschlag. Die Flächendarstellungen finden sich in den Abbildungen 3.9-8, 3.9-9. Die zugehörigen Verlaufskurven sind in den Abbildungen 3.9-10 (rechte Spalte) und 3.9-11 (separate Darstellung von nassem und trockenem Anteil) gezeigt. Die folgenden Ergebnisse sind festzuhalten:

3.9.3.1 Gesamtdeposition

- Der Gesamteffekt des Niederschlags ist bei den Puff-Modellen etwas ausgeprägter zu sehen, während die ABR-, DIPCOT- und LPDM-Ergebnisse bzgl. der Flächendarstellung ähnlicher zum Bild der trockenen Deposition sind.
- Ähnlich zu den Ergebnissen aus E1M5 sind die Modellunterschiede entlang der Achsen 210° und 225° geringer als bei der bodennahen Konzentration (in diesem Gebiet war vor allem im zweiten und dritten Zeitschritt relativ starker Niederschlag vorhanden).

- Die Abweichungen liegen im Bereich von einer Größenordnung, was angesichts der Komplexität des Szenarios vielleicht etwas überraschend erscheint.
- Aufgrund der sehr unterschiedlichen räumlichen Auflösung der Modelle und der allein daraus resultierenden Abweichungen in Quellnähe wird der zum Abstand 0 km zugeordnete Wert nicht in den Verlaufskurven betrachtet. Zum genauen Vergleich müsste eine Mittelung der Werte auf eine gemeinsame Referenzfläche vorgenommen werden. Erste Abschätzungen hierzu zeigen, dass die Modellergebnisse sich dann in Quellnähe deutlich annähern.

3.9.3.2 Trockene Deposition

- Der Verlauf der trockenen Deposition korreliert wie erwartet mit der bodennahen Konzentration. Beim Vergleich mit der Edalgaskonzentration ist dabei zu beachten, dass diese keine Abreicherungseffekte enthält. Die Korrelation mit der hier nicht gezeigten bodennahen Jodkonzentration ist allerdings – wie zu erwarten – sehr gut bei allen Modellen wiedergegeben.
- Die stärkste Trockendeposition zeigen ABR, LPDM und DIPCOT. Im Vergleich zu LPDM sind die höheren Werte bei der ABR zu nördlichen Richtungen gedreht, während DIPCOT eher südlichere Richtungen betont. Die Puff-Modelle sagen etwas weniger trockene Ablagerung voraus. Die Abweichungen bei der trockenen Ablagerung liegen in derselben Größenordnung wie die beobachteten Abweichungen bei der Luftkonzentration. Entlang der 225°-Richtung ist die Übereinstimmung am besten.

3.9.3.3 Nasse Deposition

- Auch bei der Nassdeposition sind die Ergebnisse qualitativ ähnlich, die Abweichungen jedoch größer als im Fall der Trockendeposition. Quantitativ betragen die Unterschiede teilweise mehrere Größenordnungen, also deutlich mehr als im Rückblick auf die Ergebnisse aus E1M5.
- Qualitativ stimmen die Fahnenformen für die nasse Ablagerung recht gut überein. Am besten korrelieren wieder DIPCOT, ABR und LPDM. Aufgrund der schmalen Fahnenform der Luftkonzentrationen der Puff-Modelle sind dort auch die Fahnen für die Nassdeposition schmaler. Die Form der Fahnen erklärt sich aus der Überschneidung der Konzentrationsfahnen mit den Niederschlagsdaten in den entsprechenden Zeitschritten. Insofern ist festzuhalten, dass alle Modelle in der Lage sind, räumlich inhomogenen Niederschlag wiederzugeben.
- ABR und RIMPUFF zeigen aufgrund der stärkeren Konzentration in nördlicher Richtung dort auch eine stärkere Auswaschung, die auf den Niederschlag im ersten und zweiten Zeitschritt zurückzuführen ist.

3.9.4 Effektive Dosis

Die effektive Dosis (LPDM berechnet keine Dosisgrößen) zeigt ein entsprechend der obigen Ergebnisse zu erwartendes Verhalten (Abbildungen 3.9-12, 3.9-14 (linke Spalte)):

- Die beiden Puff-Modelle verhalten sich nur in Quellnähe recht ähnlich. Auffallend ist wieder die bereits beschriebene unterschiedliche Lage der erhöhten Werte in mittleren Entfernungen.
- Die beste Übereinstimmung zwischen allen Modellen findet sich entlang der 225°-Richtung.
- ABR und DIPCOT liefern die höchsten Maximalwerte entlang der betrachteten Achsen; beide Modelle sagen auch die größte Fläche mit erhöhten Werten voraus. Die ABR weist in östlicher Richtung einen aus der Drehung der Fahne resultierenden Bereich mit niedrigeren Werten aus.
- Die Gesamtabweichungen betragen für Abstände kleiner als 10 km etwas mehr als eine Größenordnung. Ab 10 km liegen die Werte weiter auseinander. Zum einen ist das auf die unterschiedlichen Fahnenformen zurückzuführen. Zum anderen äußert sich darin wieder die unterschiedliche Behandlung der Gammasubmersion bei den Modellen.

3.9.5 Inhalationsdosis Schilddrüse

Bei der Inhalationsdosis (Abbildungen 3.9-13, 3.9-14 (rechte Spalte)) sind die Ergebnisse weitgehend analog zur effektiven Dosis. Allerdings liegen die Werte der ABR im Vergleich zur effektiven Dosis auch in mittleren Entfernungen etwas näher an den anderen Modellen. Bei Verwendung gleicher Atemraten und Dosiskoeffizienten wäre die Übereinstimmung hier sogar noch deutlich besser (die ABR-Ergebnisse liegen aufgrund der Verwendung höherer Faktoren bereits einen Faktor 2,7 höher).

3.9.6 Resümee Szenario R1

Betrachtet man die Ergebnisse aus R1, so ist festzuhalten, dass die Abweichungen zwischen der ABR und RODOS hier im Vergleich zu den einfachen Szenarien – hierbei sei insbesondere auf E3M7 verwiesen – geringer sind. Die Hauptursache hierfür dürfte vor allem in den für alle Höhengschichten durch die Wetterprognose vorgegebenen vertikalen Windprofilen liegen. Die ABR betont immer noch stärker den Bodenwind, allerdings hier nicht aufgrund eines unterschiedlichen Windprofils, das sehr gut mit dem des vom DWD vorgegebenen übereinstimmt, sondern aufgrund der stärkeren vertikalen Durchmischung.

Bzgl. des Vergleichs zu den LPDM-Ergebnissen streuen alle anderen Modelle mehr oder weniger gleich stark. Die Unterschiede in Quellnähe dürfen dabei aufgrund der Auflösungsabhängigkeit nicht überbewertet werden.

Dennoch sind bei Anwendung der Modelle für die Empfehlung von Katastrophenschutzmaßnahmen – vor allem in den Bereichen zwischen 10 und 25 km – deutliche Unterschiede zu erwarten. Zur Klärung dieser Problematik sind jedoch weitere Rechnungen mit realistischeren Quelltermen erforderlich.

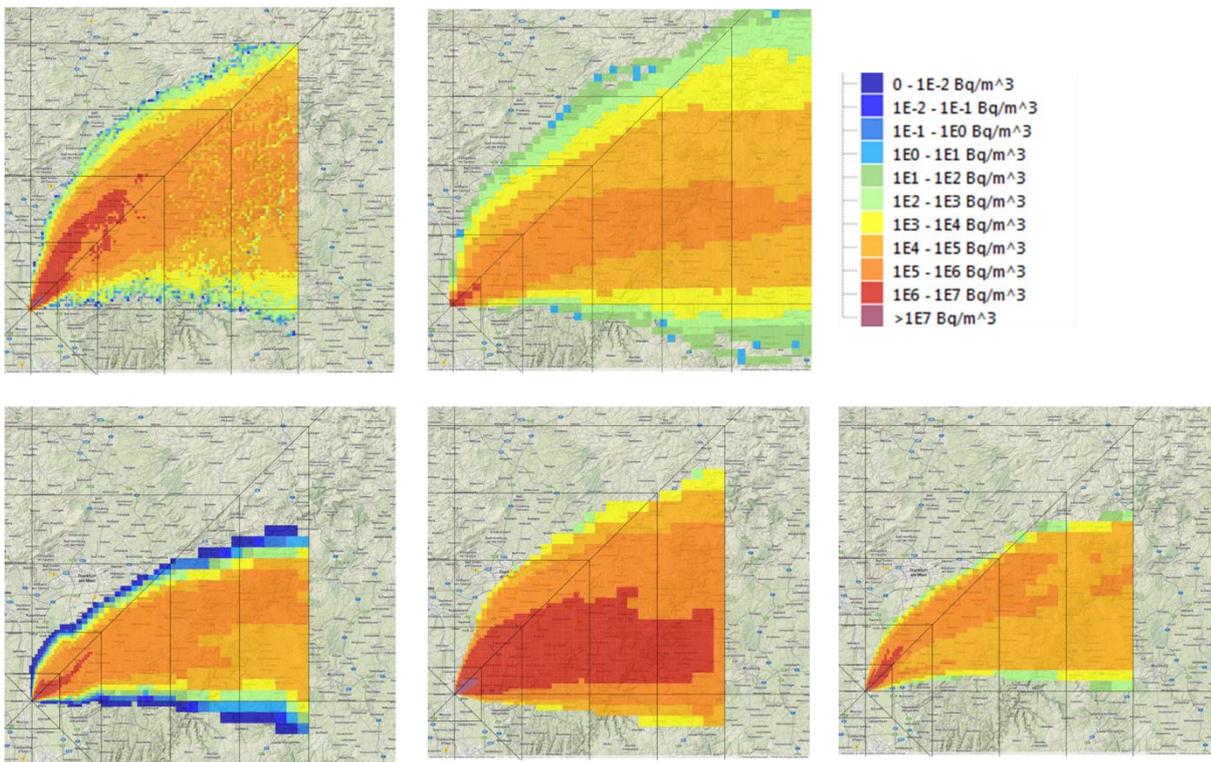


Abbildung 3.9-6: Summierte bodennahe Luftkonzentrationen Xe^{133} für die Modelle ABR (oben links), LPDM (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte), RIMPUFF (unten rechts): Gebietsausschnitt ca. 100x100 km². Karten von Google Geographical.

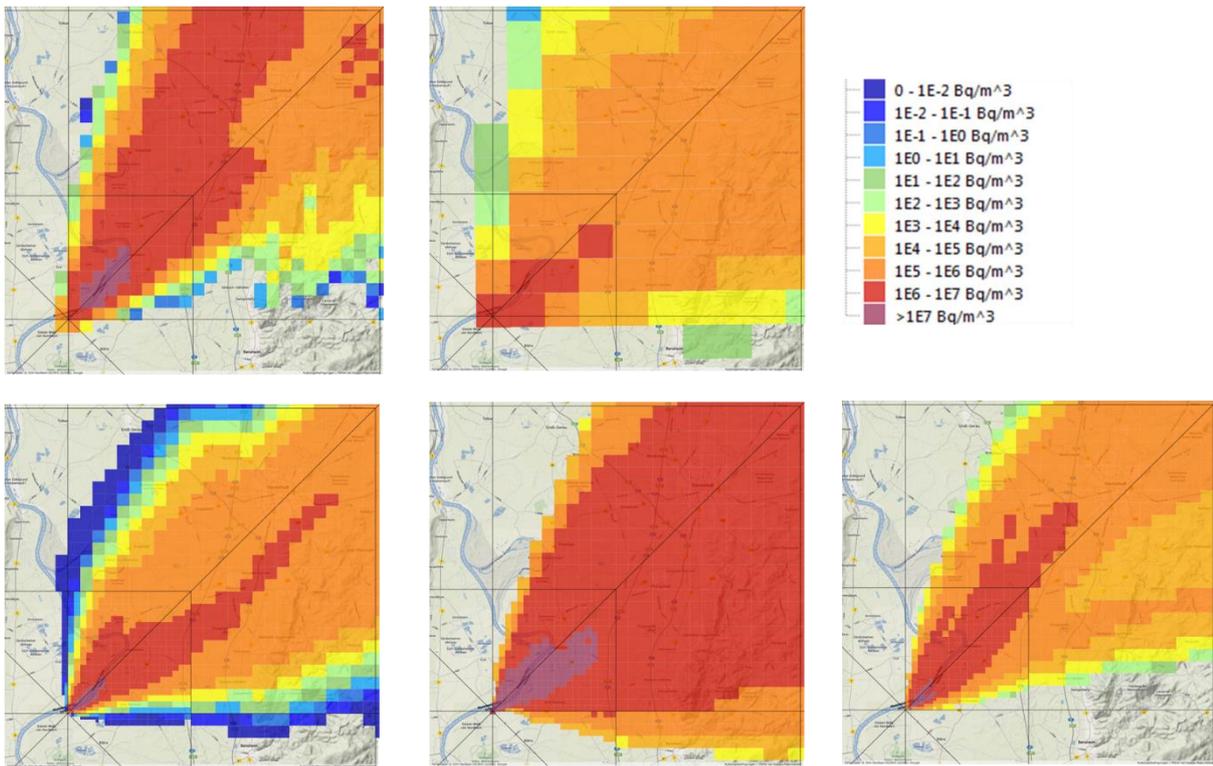


Abbildung 3.9-7: Summierte bodennahe Luftkonzentrationen Xe133 für die Modelle ABR (oben links), LPDM (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte), RIMPUFF (unten rechts): Gebietsausschnitt ca. 25x25 km². Karten von Google Geographical.

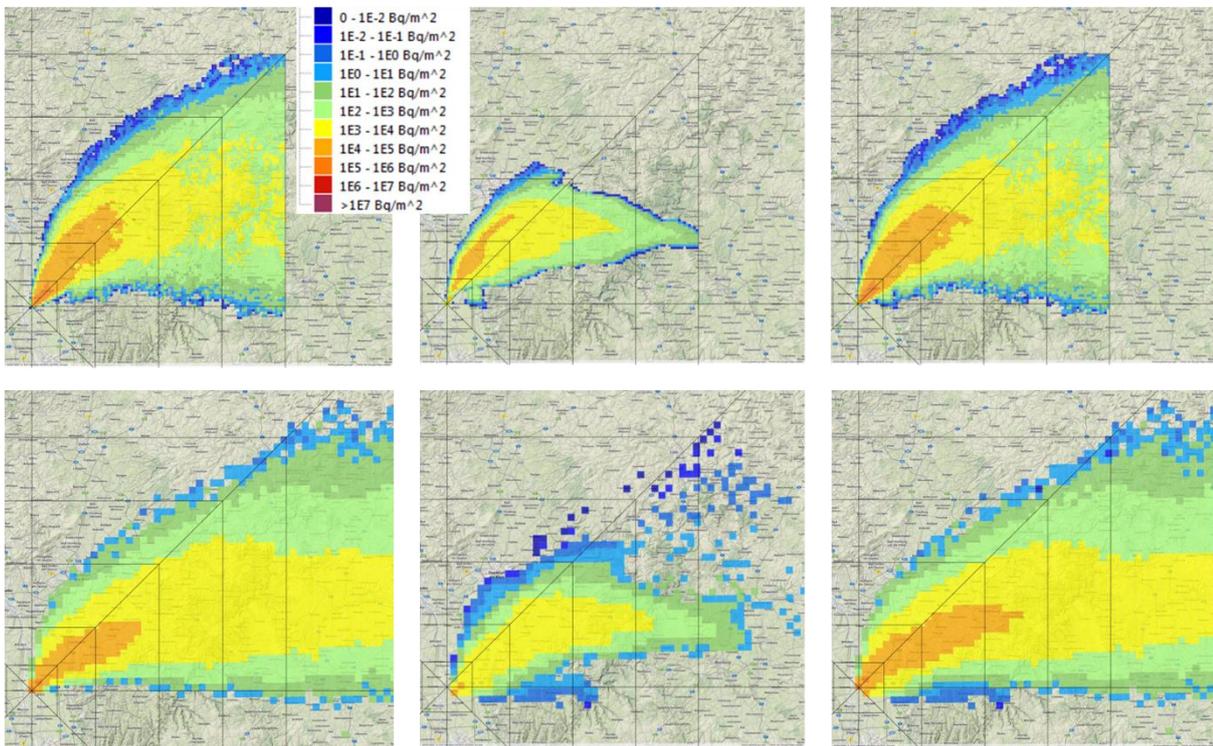


Abbildung 3.9-8: Gesamtdeposition I131 für die Modelle ABR (oben) und LPDM (unten): Trockener Anteil (links), nasse Deposition (Mitte), Gesamtdeposition (rechts). Karten von Google Geographical.

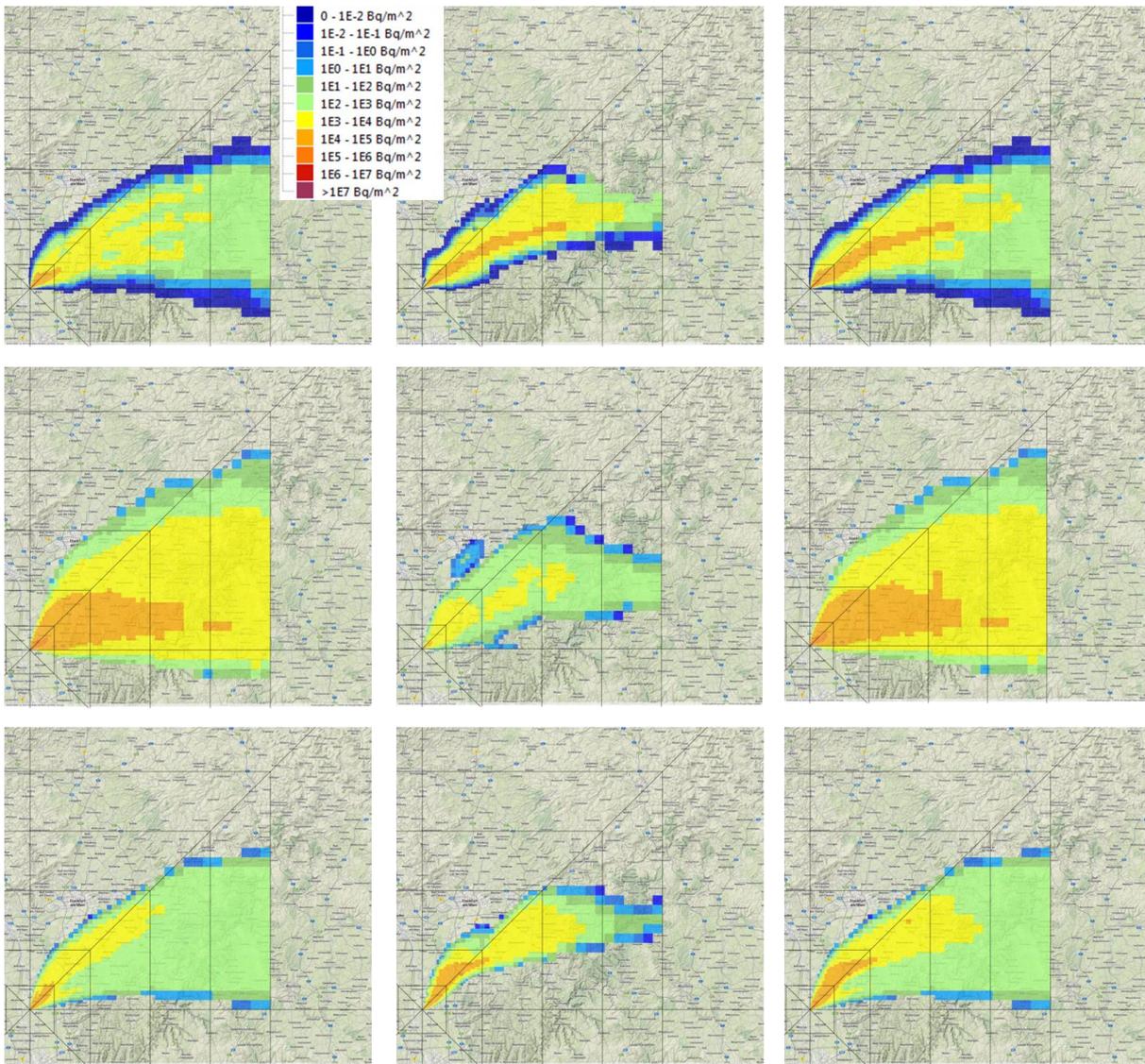


Abbildung 3.9-9: Gesamtdeposition I131 für die Modelle ATSTEP (oben), DIPCOT (Mitte) und RIMPUFF (unten): Trockener Anteil (links), nasse Deposition (Mitte), Gesamtdeposition (rechts). Karten von Google Geographical.

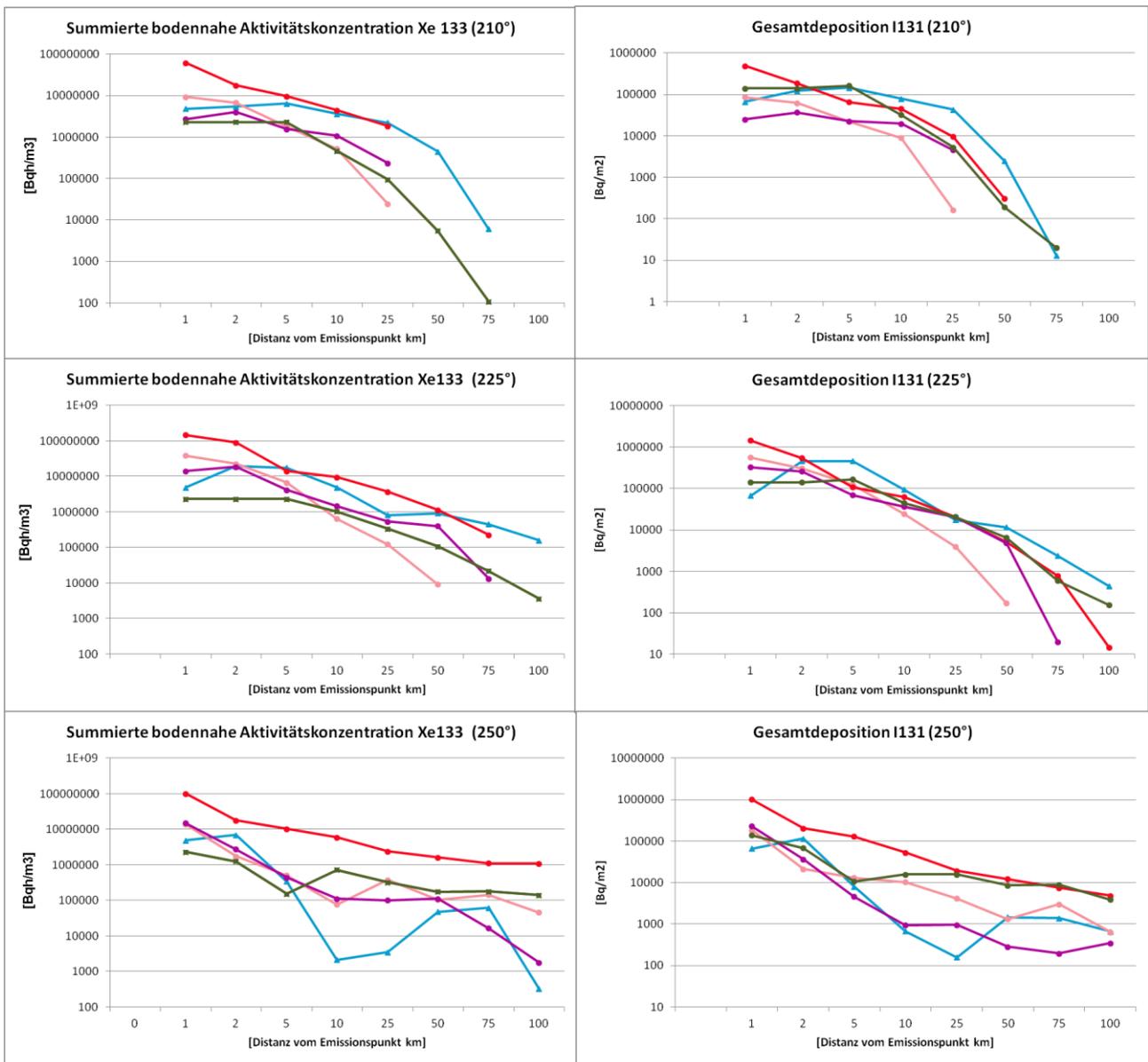


Abbildung 3.9-10: Verlauf von bodennaher Luftkonzentration Xe133 und Gesamtdeposition von I131 entlang der durch Windrichtungen 210°, 225° und 250° definierten Achsen.

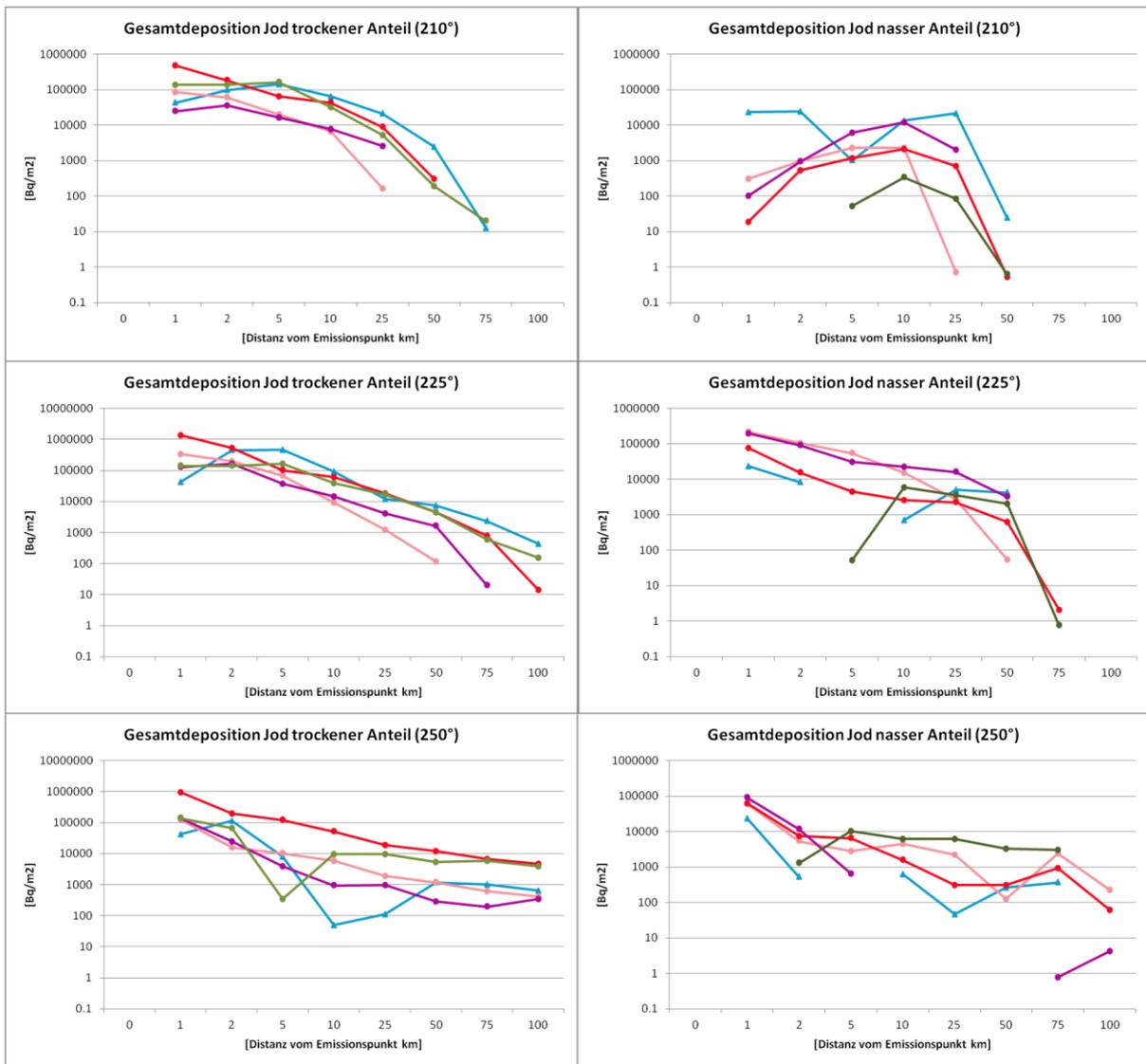


Abbildung 3.9-11: Deposition von I131: Trockener und nasser Anteil I131 entlang der durch Windrichtungen 210°, 225° und 250° definierten Achsen.

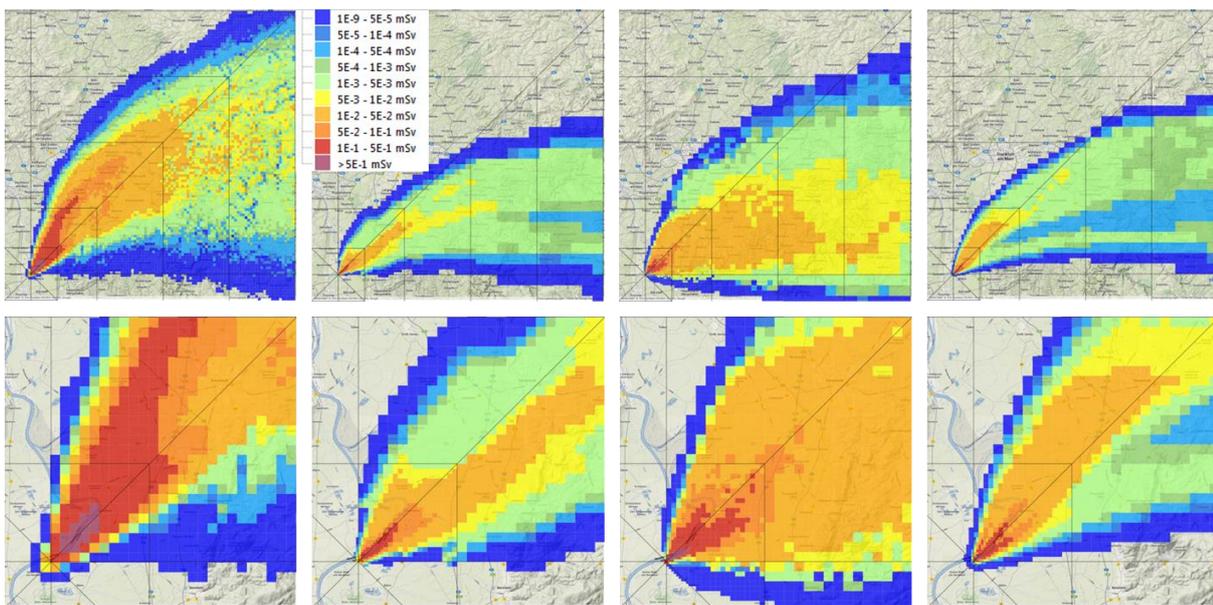


Abbildung 3.9-12: Effektive Dosis für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMPUFF (von links nach rechts) für die Gebiets-ausschnitte 100x100 km² (oben) und 25x25 km² (unten).

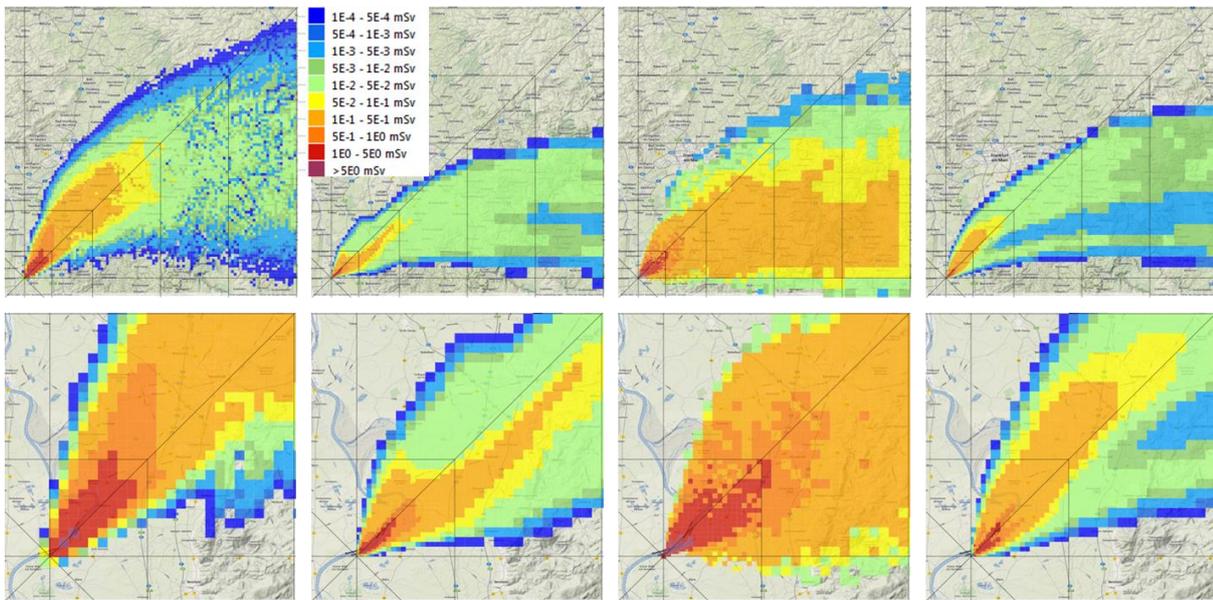


Abbildung 3.9-13: Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMP-UFF (von links nach rechts) für die Gebietsausschnitte 100x100 km² (oben) und 25x25 km² (unten).

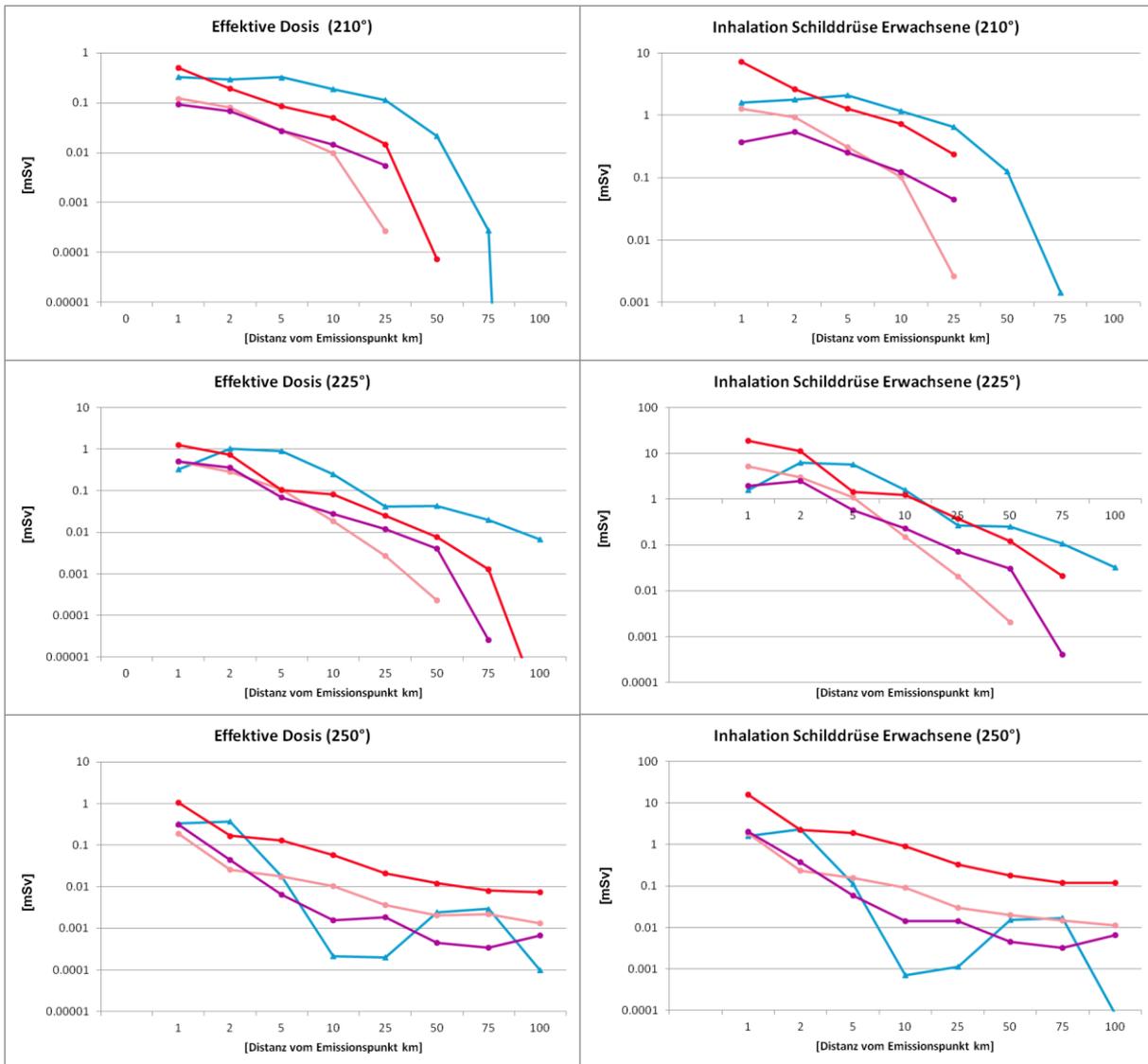


Abbildung 3.9-14: Effektive Dosis und Inhalationsdosis Schilddrüse entlang der durch die Windrichtungen 210°, 225° und 250° definierten Achsen für die Modelle ABR, DIPCOT, ATSTEP und RIMP-UFF.

4 ZUSAMMENFASSUNG, EMPFEHLUNGEN UND OFFENE FRAGESTELLUNGEN

Zentrale Zielsetzung des Vorhabens war die Untersuchung zu den Gemeinsamkeiten und Unterschieden, die bei der Anwendung von Ausbreitungsmodellen zu erwarten sind. Betrachtet wurden Modelle, die aktuell im Rahmen des Notfallschutzes kerntechnischer Anlagen –insbesondere in Deutschland und in der Schweiz –operationell eingesetzt werden.

Insgesamt betrachtet sind die Ergebnisse für die einfachen Szenarien qualitativ sehr ähnlich, insbesondere bzgl. der Entfernungsabhängigkeit und der Form der Wolken. Bei labilen und neutralen atmosphärischen Bedingungen betragen die Abweichungen weniger als einen Faktor 5 in der bodennahen Luftkonzentration. Bei stabiler Schichtung ergeben sich erwartungsgemäß zum Teil deutlichere Unterschiede in den Ergebnissen bzgl. der Entfernungsabhängigkeit. Die vorausgesagten Maximalwerte liegen jedoch in der gleichen Größenordnung. Aufgrund unterschiedlicher Modellparameter lassen sich die etwas größeren Unterschiede in der Deposition wie auch bei der Inhalationsdosis erklären. Als weitere Ursachen für die Abweichungen bei Konzentration und Deposition konnten die Modellierung des Vertikalprofils für Windgeschwindigkeit und Windrichtung im verwendeten Strömungsmodell sowie die unterschiedliche Behandlung des turbulenten Transports identifiziert werden.

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Parametern wurden jeweils die Dosis aus Wolken- und Bodenstrahlung sowie die effektive Dosis als Summe von Wolken-, Bodenstrahlung und Inhalation diskutiert. Auffällig sind die Abweichungen bei der Gammasubmersionsdosis. Bei den Ergebnissen für die Dosis sollte jedoch beachtet werden, dass die aus der Gammasubmersion resultierenden Unterschiede in der effektiven Dosis bei Quelltermen mit hohen Iod- und Aerosolanteilen (INES 7) eher geringer werden, da die Anteile aus der Inhalationsdosis und der Bodenstrahlung entsprechend dominanter werden. Für gefilterte Druckentlastungen des Sicherheitsbehälters stellt der Edelgasanteil allerdings den dominanten Beitrag dar, so dass hier deutliche Unterschiede bei der Dosisprognose zu erwarten sind.

Die obigen Feststellungen gelten sowohl für die zunächst betrachteten stationären Randbedingungen als auch für die komplexeren Ausbreitungsszenarien mit Niederschlag, Winddrehungen und realistischen Bedingungen. Lediglich das Szenario mit der künstlichen Windscherungssituation zeigt qualitativ und quantitativ deutlichere Abweichungen, deren Ursachen ebenfalls geklärt werden konnten (Windprofil und Turbulenz). Dabei ist zudem festzuhalten, dass die in diesem Szenario verwendete Meteorologie (homogene Windscherung im gesamten Modellgebiet) in der Realität so nicht zu erwarten ist.

Aus den Ergebnissen lassen sich einige Empfehlungen und Anregungen für mögliche Folgeuntersuchungen ableiten, die in den folgenden Abschnitten zusammengefasst und erläutert werden.

4.1 EMPFEHLUNGEN

Die im Abschlussbericht dokumentierten Ergebnisse führen zu folgenden Empfehlungen:

4.1.1 Empfehlung 1

Die den Rechnungen zugrundeliegenden variablen Parameter (Quellterm und meteorologische Daten) sollen im Ergebnis aufgelistet bzw. referenziert werden.

Erläuterung: Vor allem bei länger andauernden Szenarien, bei denen im zeitlichen Verlauf mehrere verschiedene Quellterme betrachtet werden, ist es für die Arbeit der Krisenstäbe entscheidend, einen guten Überblick über das jeweilige Ergebnis einer durchgeführten Ausbreitungsrechnung zu haben. Für die Dokumentation des Quellterms erscheint hier die Gesamtfreisetzungsmenge für jede Nuklidgruppe (oder alternativ für die drei Leitnuklide) sowie Beginn und Ende der Freisetzung ausreichend. Bei der Meteorologie sollte die Datenquelle angegeben sein (z. B. gemäß COSMO-DE-Prognose eines bestimmten Zeitpunktes). Auch der Zeitpunkt der Rechnung sollte angegeben werden. Diese Empfehlung ist bereits in den meisten Programmsystemen umgesetzt und ist im Zusammenhang mit den Empfehlungen für die Lagedarstellung zu betrachten.

4.1.2 Empfehlung 2

Zur optimalen Nutzung der bereits existierenden Fähigkeiten von Strömungsmodellen sollen zur Verfügung stehende Windprofilmessdaten eingesetzt werden.

Erläuterung: Die Ergebnisse der Szenarien E1-E3 zeigen, dass die Ergebnisse der Rechnungen deutlich durch die in den Modellen enthaltenen Windfeldmodelle beeinflusst werden. Dies führt bei Vorgabe einer Windmessung in nur einer Höhe zu teilweise sehr unterschiedlichen Windfeldern in anderen Höhen und damit unter Umständen zu deutlichen Unterschieden in den Aktivitätskonzentrationen. Bei Verwendung von

aus mehreren Höhen gemessenen Windvektoren, wie sie an Kraftwerksstandorten vorliegen, werden die Unterschiede deutlich geringer. Entsprechend gilt dass bei Verwendung von Wetterprognosen die im Rahmen der Vorhersagemodelle zur Verfügung gestellten dreidimensionalen Windfelder verwendet werden sollten. Für die ausländischen Standorte sollte durch die zuständigen Behörden geprüft werden, ob gemessene Windprofile vom Betreiber im Rahmen des internationalen Datenaustauschs zur Verfügung gestellt werden können.

4.1.3 Empfehlung 3

Es sollten möglichst einheitliche Dosiskoeffizienten, Dosisleistungskoeffizienten und Atemraten verwendet werden.

Erläuterung: Die in der Inhalationsdosis beobachteten Unterschiede konnten durch die Verwendung unterschiedlicher Dosiskoeffizienten und Atemraten erklärt werden. Dies betrifft insbesondere die Aufteilung von Iod in die Stoffgruppen elementar, organisch und aerosolgebunden sowie die konservative Berücksichtigung einer erhöhten Atemrate im Fall einer Notfallsituation.

4.1.4 Empfehlung 4

Aufgrund des durch die Verwendung der Integrationszeit von 7 Tagen bei nasser Deposition resultierenden deutlichen Einflusses der Bodenstrahlung auf die effektive Dosis sollte dieser Sachverhalt bei der Planung von Katastrophenschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

Erläuterung: Diese Empfehlung basiert auf den Resultaten des Szenarios E1M5. In Quellnähe führt der Beitrag der nassen Deposition sogar zum dominanten Beitrag für die effektive Dosis. Bei ungünstigen Bedingungen kann die aus den Modellen prognostizierte Dosis aus Bodenstrahlung sogar zum Überschreiten des Eingreifrichtwerts für die Evakuierung führen. Im Fall einer mit Niederschlag verbundenen Ausbreitungssituation soll daher bei Überschreitung der Eingreifrichtwerte für die Evakuierung der aus externer Bodenstrahlung resultierende Dosisbeitrag unter Verwendung verschiedener Integrationszeiten explizit betrachtet werden, um die Prüfung einer Evakuierungsempfehlung abzuwägen. Dieser Punkt ist vor allem bei schnell ablaufenden Ereignissen relevant.

4.1.5 Empfehlung 5

Die Quellterminformation des Betreibers soll die Aufteilung von Iod (elementar, organisch, Aerosol) enthalten. Die daraus folgenden Konsequenzen für die Ausbreitungs- und Dosisberechnung sollten in den Modellen möglichst einheitlich umgesetzt werden.

Erläuterung: Die Lageberichte der Betreiber machen zurzeit keine Aussage über die chemisch-physikalischen Fraktionen von Iod, das als elementares, organisches oder aerosolgebundenes Iod vorliegen kann. Auch die in KFÜ-Systemen verfügbaren Messwerte der Iodmonitore im Fortluftkamin lassen keine diesbezügliche Unterscheidung zu. Die Verteilung der chemisch-physikalischen Fraktionen ist vom Ereignis selbst, von Rückhalteeigenschaften in der Anlage und im Fall der Druckentlastung des Sicherheitsbehälters von Filterfaktoren abhängig. Bei Übernahme der Angaben aus dem Lagebericht muss die für die Durchführung der Ausbreitungsrechnung verantwortliche Behörde in Zusammenarbeit mit der Verbindungsperson des Betreibers (oder mit dem Betreiber) eine Annahme zur chemisch-physikalischen Zusammensetzung treffen. Im Ereignisfall können unterschiedliche Annahmen aufgrund der signifikant unterschiedlichen Ablagerungsgeschwindigkeiten und Washoutkoeffizienten zu deutlichen Abweichungen in der Ermittlung der Deposition und den Dosisprognosen und damit zu unterschiedlichen Empfehlungen von Katastrophenschutzmaßnahmen führen. Die betrachteten Modelle selbst berücksichtigen bereits die unterschiedlichen Formen von Iod. Die konkrete Parametrisierung der Iodaufteilung im Rahmen einer Ausbreitungs- und Dosisberechnung, ist jedoch – sofern keine für das ausgewählte Szenario hinterlegten Werte vorgegeben sind – durch den Anwender einzugeben. Sofern zu diesem Zeitpunkt keine Information zur chemisch-physikalischen Iodzusammensetzung bekannt ist, soll bei der Ausbreitungs- und Dosisprognose konservativ von 100% elementarem Iod ausgegangen werden. Diese Vorgehensweise wird z. B. in der Schweiz verfolgt und findet sich auch im Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung [18]).

4.1.6 Empfehlung 6

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen zeigen, dass eine weitere Harmonisierung von Ausbreitungsmodellen auf internationaler Ebene angestrebt werden soll. Insbesondere sollten die in den Nachbarländern eingesetzten Modelle in den Modellvergleich aufgenommen werden.

Erläuterung: In unmittelbarer Nachbarschaft sind Kernkraftwerke in Frankreich, der Schweiz, Tschechien, Belgien und den Niederlanden in Betrieb. Es ist davon auszugehen, dass die Beurteilung des Anlagenzustands und die der darauf basierenden Quellterminformation im Herkunftsland am besten möglich sind. Aus diesem Grund und zur Harmonisierung von über Landesgrenzen hinausgehenden Katastrophenschutzmaßnahmen sollen im grenzüberschreitenden Notfallschutz bevorzugt die Ergebnisse der in den jeweiligen Ländern verwendeten Ausbreitungsmodelle zugrunde gelegt werden. Zur Einordnung der Ergebnisse auf deutscher Seite sollte versucht werden, die in den Nachbarstaaten eingesetzten Modelle in den bisherigen Modellvergleich einzubeziehen, um die Unterschiede in den Modellen bei verschiedenen meteorologischen Lagern zu erkennen. Hier wäre insbesondere das zurzeit in RODOS integrierte Lagrange'sche Ausbreitungsmodell LASAT zu benennen.

4.2 OFFENE FRAGESTELLUNGEN

Die Ergebnisse der Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass die Anwendung unterschiedlicher Modelle bei gleichen Randbedingungen unter Umständen zur Empfehlung unterschiedlicher Katastrophenschutzmaßnahmen führen kann. Die sich hier zeigende Bandbreite der Ergebnisse wird noch durch die Unsicherheiten im Quellterm und in den verwendeten meteorologischen Daten erheblich beeinflusst und kann mehrere Größenordnungen betragen. Die beiden letztgenannten Punkte stellen dabei die dominanten Unsicherheitsfaktoren dar.

Aus diesem Grund erscheinen Untersuchungen zur Frage sinnvoll, wie sich die Unsicherheiten sowohl der Eingangsdaten wie auch der verwendeten Modelle auf die wichtigsten Prognoseergebnisse auswirken, d. h. insbesondere auf Aussagen dazu, in welchen Gebieten Eingreifrichtwerte überschritten werden.

Im Rahmen des Erfahrungsrückflusses Fukushima wurden in erster Linie die meteorologischen Parameter, ihr Einfluss auf die Modelle und die spezifischen Eigenschaften der Modelle selbst untersucht. Diese Untersuchung sollte in einer weiteren Studie noch erweitert werden.

Insbesondere müssen noch realistische Nuklidverteilungen in Verbindung mit bodennahen Freisetzungen, Quellüberhöhungen, sowie Standorte mit stark strukturiertem Gelände (z. B. Neckarwestheim) betrachtet werden. Auch der Einfluss von Gebäuden soll aufgrund ihres erheblichen Einflusses auf das Strömungsfeld im Nahbereich untersucht werden. Durch die Verwendung aufeinander folgender Wettervorhersagen bei verschiedenen Wetterlagen und ansonsten gleichem Quellterm kann die sich aus den meteorologischen Randbedingungen ergebende Unsicherheit dokumentiert werden.

Eine Validierung der Modelle kann letztlich nur durch den Vergleich mit Ausbreitungsexperimenten erfolgen. Zum Abschluss der Untersuchungen sollten daher ausgewählte Experimente mit Ergebnissen von Modellrechnungen verglichen werden. Die zurzeit verfügbaren experimentellen Daten decken jedoch nicht den gesamten Anwendungsbereich der Modelle ab. Zur besseren Validierung der Modelle werden Ausbreitungsexperimente (insbesondere für Quellentfernungen zwischen 10 km und 100 km) mit mehrstündigen Freisetzungen vorgeschlagen. Diese sollten mit den in der bisherigen Studie genutzten Modellen untersucht werden. Dabei kann eine bereits derzeit im BfS laufende Studie mit herangezogen werden.

5 ANHANG: MODELLDOKUMENTATIONEN

5.1 SAFER

5.1.1 Systemübersicht

Name des Systems	SAFER
Kurze Beschreibung <i>(Wichtigste Eigenschaften in Stichworten)</i>	<p>Programm zur Berechnung der „Strahlenexposition als Folge eines Reaktorunfalls“</p> <p>Modell, Annahmen und Parameter gemäß dem „Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen“, SSK-Hefte 37 [18] und 38 [19]</p> <p>Eingangsdaten der deutschen Kernkraftwerke, der schweizerischen Kernkraftwerke und der grenznahen französischen Kernkraftwerke (Lage, Leistung, Emissionshöhen)</p> <p>Ergebnisse dienen dem Fachberater Strahlenschutz zum Vergleich mit den Richtwerten gemäß den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen [20].</p>
Modelltyp <i>(z.B. Simulationssystem mit diagnostischem Strömungsfeld und Lagrange-Partikel Modell)</i>	<p>Gauß-Fahnenmodell, in modifizierter Form auch als einfaches Gauß-Puff-Modell</p> <p>Zeitabhängige Ausbreitungsparameter (DFK-Modell) oder</p> <p>Ortsabhängige Ausbreitungsparameter (optional)</p>
Entwickler/Hersteller	TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG/ Fa. IT Köhncke
Ansprechpartner <i>(mit E-Mail Adresse)</i>	<p>P. Schumacher</p> <p>pschumacher@tuev-nord.de</p>
Verfügbarkeit <i>(Rechte für Vertrieb des Systems; wie kann das System beschafft werden; Kosten für Inbetriebnahme und Nutzung)</i>	<p>Rechte bei der TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG</p> <p>Vertrieb über TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG</p> <p>(Einzelplatzlizenz, Generallizenz)</p>
Einsatzzweck <i>(z.B. Unterstützung Krisenstab, Forschung)</i>	Unterstützung von Krisenstäben, insbesondere dem Fachberater Strahlenschutz im kerntechnischen Notfallschutz bei der Erarbeitung der radiologischen Lage

<p>Anwendungsbereich <i>(Nahbereich, Fernbereich)</i></p> <p>Wichtigste Aufgaben <i>(z. B. Erstellung radiologische Lage, Vorbereitung von Notfallübungen)</i></p>	<p>Nahbereichsausbreitung bis zu 20 km Abstand zur kerntechnischen Anlage, je nach Modellgebietsgröße mit unterschiedlicher horizontaler Auflösung</p> <p>Wichtigste Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erstellung der radiologischen Lage zur Empfehlung von Maßnahmen im Notfallschutz • Erstellen des Lageberichts für den Krisenstab der Anlage • Übungstool für den Fachberater Strahlenschutz der Katastropheneinsatzleitung • Vorbereitung von Notfallübungen (z.B. Entwicklung von Übungsszenarien, Berechnung von ODL-Daten für KFÜ-Simulation) • Analyse von Ortsdosisleistungsmessungen und Oberflächenkontaminationen
<p>Anwenderkreis <i>(Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • BMU, BfS, GRS, LfU, • Aufsichtsbehörden • Katastrophenschutzbehörden • Betreiber kerntechnischer Anlagen, • Fachberater Strahlenschutz beim TÜV NORD
<p>Export-Schnittstellen zu anderen Systemen <i>(Einbettung in andere Systeme, z.B. großräumige Modelle oder auch Systeme im Rahmen des Katastrophenschutzes)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Export-Schnittstelle • Ergebnisse werden parallel und im Vergleich zu KFÜ und RODOS-Rechnungen verwendet
<p>Hardware-Anforderungen <i>(CPU, Speicher, Platten)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • handelsüblicher PC, ab 400 MHz • mind. 256 MB Arbeitsspeicher • mind. 42 MB freier Festplattenspeicher • CD-Rom-Laufwerk oder USB-Schnittstelle zur Installation
<p>Betriebssysteme <i>(Unix/Linux/Windows mit genauen Versionsbezeichnungen)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Microsoft. WINDOWS 2000 / XP • Microsoft WINDOWS 7 • Software: Microsoft DOT.NET Framework (wird mitgeliefert)
<p>Typische Rechenzeiten für eine Simulation mit 24 Stunden Simulationszeit bei einer Zeitschrittweite von 60 Minuten <i>(mit Angabe der HW-Umgebung und Anzahl Maschinen)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Weniger als 5 Sekunden pro Rechenlauf
<p>Verfügbare Ergebnisreports <i>(welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse liegen nach Ablauf der Rechnung vor? Z. B. Windfeld, Konzentration, Deposition, Dosis)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dosis Inhalation Erwachsener (EW) und Kleinkind • (KK, 1-2a), effektive Dosis und Schilddrüsendosis • Dosis Gammasubmersion EW und KK, effektive Dosis • Dosis Gammabodenstrahlung EW und KK, effektive Dosis, 1h, 24h, 7d, 1a, 50a

	<ul style="list-style-type: none"> • Summe externe Dosis (7d) und Summe Dosis alle Pfade • Maximale Werte der Einzelpfade • Vergleich mit Eingreifrichtwerten ohne Abschirmung • Vergleich mit Eingreifrichtwerten mit Abschirmung • Aktivitätskonzentration Luft (Edelgase, Jod, Aerosole) • Bodenkontamination (Jod, Aerosole)
Datenvolumen aller Ergebnisreports pro Zeitschritt (mit Angabe der Maschenzahl)	< 1 MB

5.1.2 Modellgebiete und verwendete(s) Gitter

Verwendete Koordinatensysteme (kartesisch, geländefolgend)	Ebenes Polarkoordinatensystem
Verwendetes Gitter (Auflösung, äquidistant oder variable Maschengröße (Nesting))	<p>Es wird ein ebenes Polarkoordinatensystem verwendet mit Aufpunkten, die bestimmt sind durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 Winkelgrade (Mitte der 30 °-Sektoren) • 10 Entfernungen im 200 m-Abstand bis 2 000 m • 10 Entfernungen im 2 000 m-Abstand bis 20 000 m • <p>Zusätzlich kann für jeden beliebigen Aufpunkt, der durch Winkel α und Quellentfernung x bestimmt ist, eine Berechnung durchgeführt werden</p>
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein)	<p>Ja, vereinfacht parametrisiert durch Schrotschussmethode</p> <p>(Reduzierung der effektiven Emissionshöhe)</p>
Verwendete Geländemodelle (z.B. SRTM)	Nicht explizit verwendet.
Horizontale und vertikale Auflösung; Anzahl Maschen	<ul style="list-style-type: none"> • 12 Winkelgraden (Mitte der 30°-Sektoren) • 10 Entfernungen im 200 m-Abstand bis 2 000 m • 10 Entfernungen im 2 000 m-Abstand bis 20 000 m • Beliebige Aufpunkte bis 20 000 m Quellentfernung
Zeitliche Auflösung (typische Zeitschrittweiten)	Keine Zeitschritte
Zur Zeit konfigurierte Standorte	<p>KKWs in Deutschland</p> <p>zu Deutschland grenznahe KKWs in der Schweiz</p> <p>zu Deutschland grenznahe KKWs in Frankreich</p>

<p>Kann ein zusätzlicher Standort frei gewählt werden? (z.B. für Transportunfall mit radioaktiven Stoffen, dirty bomb Ereignis)</p> <p>Siehe hierzu auch S. 10 (Emissionsorte frei wählbar)</p>	<p>Teilweise ja, Quellhöhe ist frei konfigurierbar, Ergebnis kann in Polarkoordinaten unabhängig von der Topographie dargestellt werden.</p>
---	--

5.1.3 Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten

<p>Schnittstellen und Eingabeformate</p> <p>(wie erfolgt die Kommandierung (manuell bzw. Commandfile(s) u.o. Oberfläche) und Speicherung der verwendeten Eingangsdaten? Details in den folgenden Punkten)</p>	<p>Manuelle Eingabe</p>
<p>Emissionsdaten</p> <p>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen (z.B. KFÜ): siehe auch Abschnitt Quellterm)</p>	<p>Manuelle Eingabe von:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gemessenen oder abgeschätzten Emissionsdaten • (Leitnuklide, Nuklidgruppen, Einzelnuklide) • Emissionsdaten der RSK/SSK-Alarmierungskriterien [21] (Voralarm, Katastrophenalarm), standortspezifisch • Quellterme für DWR gemäß DRS, Phase A (Auswahl) • Quellterme für DWR gemäß DRS, Phase B (Auswahl) • Quellterm KMV-Störfall für DWR-Anlage • Aktivitätskonzentrationen in Luft (Edelgase, Jod, Aerosole) • Bodenkontaminationen (Jod, Aerosole)
<p>Meteorologische Messdaten</p> <p>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen)</p>	<p>Manuelle Eingabe von:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windrichtung • Windgeschwindigkeit • Messhöhe für Windgeschwindigkeit • Diffusionskategorie (6 Klassen oder 3 Klassen) • Strahlungsbilanz (optional) zur Berechnung der Diffusionskategorie • Niederschlagsrate
<p>Wetterprognosen</p> <p>(Welche Möglichkeiten für Vorhersagen bestehen, z.B. Modelle des DWD?)</p>	<p>Nur durch manuelle Eingabe von Prognosedaten</p>

5.1.4 Behandlung des Quellterms

<p>Inventarbestimmung</p>	
<p>Referenzinventare</p> <p>(z.B. Leitfaden Fachberater Strahlenschutz)</p>	<p>Nach Leitfaden Fachberater Strahlenschutz [18],[19]</p> <p>Gleichgewichtskern eines Reaktors mit Urankern und einer thermischen Leistung von 3733 MW am Zyklusende,</p>

	wird auf die standortspezifische Leistung umgerechnet
Modellierung der Abhängigkeit des Inventars von Betriebsparametern <i>(Berücksichtigung von Betriebszeit, Stillstandszeit und Abklingzeit)</i>	Betriebszeit wird nicht explizit berücksichtigt, muss durch manuelle Eingabe der tatsächlichen Einzelnuclidfreisetzungen simuliert werden Zeit nach Ende der Kettenreaktion wird automatisch berechnet
Berücksichtigung des Zerfalls bis zur Freisetzung <i>(ja/nein)</i>	Zeit nach Ende der Kettenreaktion wird automatisch berechnet
Freisetzungsanteile	
Unterteilung in Stoffkategorien (Aerosol, Gasförmig, gebunden) Insbes. Aufteilung Iod Elementar Organisch gebunden Aerosolgebunden Anzahl der freigesetzten Nuklide	<ul style="list-style-type: none"> • Nuklidgruppen Edelgase, Jod, Aerosole • Leitnuclide Xe-133, I-131 und Cs-137 • 54 Einzelnuclide • Jodanteile können beliebig vorgegeben werden: • Aerosolförmiges Jod • Elementares Jod • Organisch gebundenes Jod • Jodfraktionsabhängige Filterfaktoren (z.B. beim Venting) können vorgegeben werden • Aerosolgrößenspektrum (8 Klassen der aerodynamischen Durchmesser) können berücksichtigt werden für Sinkgeschwindigkeit, Ablagerungsgeschwindigkeit und Lungengängigkeit)
Modellierung der Freisetzungsanteile für die Nuklide und Annahmen für den Nuklidvektor (z.B. Bezug auf Unfallszenario)	Die Zusammensetzung des Nuklidvektors wird entweder <ul style="list-style-type: none"> • manuell eingegeben oder • durch Vorgabe eines Alarmierungskriteriums (Voralarm, Katastrophenalarm) bestimmt oder • aus der Quelltermbibliothek für Stör und Unfälle (DRS, Phase A, Phase B, ausgewählte Szenarien) entnommen •
Schnittstellen für Quellterm-übernahme <i>(z.B. QPRO der GRS, KFÜ-Daten)</i>	Nur manuelle Übernahme
Emission	
Minimal und maximal mögliche Freisetzungsdauer (in den installierten Systemen)	Eingabe von 10 zeitlich nicht definierten Einzelemissionen (Puffs) möglich <ul style="list-style-type: none"> • mit variierender Quellstärke • mit variierender Meteorologie • mit variierender Quellhöhe
Emissionsorte frei wählbar <i>(ja/nein, s. a. Abschnitt zu Modellgebiet)</i>	Folgende Eingaben von Punktquellen, alle auf dieselben Koordinaten transformiert, sind möglich <ul style="list-style-type: none"> • Kamin • Maschinenhaus • Ventingsystem und

	<ul style="list-style-type: none"> beliebige Quellschicht <p>Es ist eine Überlagerung der Quellen aus verschiedenen Quellschichten möglich.</p>
Punktquelle (ja/nein)	Ja.
Flächenquelle (ja/nein)	Nein.
Volumenquelle (ja/nein)	Nein.
Mehrere Emissionsorte mit anderen Nuklidvektoren kombinierbar (ja/nein)	Nur Emissionsorte mit gleichen (x,y)-Koordinaten, aber unterschiedlichem z (Höhe) sind kombinierbar
Mehrere Emissionsphasen (ja/nein)	Ja, 10 Einzelpuffs können überlagert werden. Für jeden einzelnen Puff ändern sich auf dem Transportweg die meteorologischen Bedingungen aber nicht. Die zeitliche Veränderung der Meteorologie wird nur beim nächsten Puff an der Quelle wirksam.
Berücksichtigung Freisetzungsbedingungen (Kamin, Explosion, Brand) (Ziel: Bestimmung der effektiven Freisetzungshöhe; Welche Möglichkeiten bietet das Modell hier?)	Erfolgt über die Angabe der Emissionshöhe.
Berücksichtigung Beeinflussung durch Bauwerke Wenn ja, wie?	Ja. Entsprechend AVV zu § 47 StrlSchV [15] und den Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV [22]
Abgasfahnenüberhöhung Wenn ja, wie?	Ja. Über Angabe der Abgasfahnenüberhöhung (thermisch, mechanisch, Summe) Alternativ über Berechnung der thermischen und mechanischen Überhöhung, falls die dazu erforderlichen Daten (Volumenstrom, Temperatur, Feuchte) bekannt sind (Modelle Briggs, Stümke)
Kühlturmeinfluss Wenn ja, wie?	Einfluss kann nur über die Berechnung des Bauwerkseinflusses simuliert werden

5.1.5 Strömungsmodell(e)

Name des Modells (falls Unterschied zu Systemname)	Entfällt
Art des Modells (z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld)	Entfällt.
Kurze Beschreibung	Entfällt.

<i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall sollten die verwendeten Änderungen gegenüber Literatur benannt werden; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	
<p>Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Entfällt.
<p>Verwendete Eingangsdaten</p> <p><i>(z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder)</i></p>	Entfällt.
<p>Vertikale Windprofile</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Potenzformel, Ansatz wie bei AVV zu § 47 StrlSchV [15] bzw. den Störfallberechnungsgrundlagen [21]</p> $u(z) = u(z_0) \times (z/z_0)^m$ <p>m (Diffusionkategorie)</p>
<p>Eingabe geostrophischer Wind erforderlich</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?)</i></p>	Nein
<p>Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	nicht berücksichtigt

5.1.6 Ausbreitungsmodell

<p>Name des Modells</p> <p><i>(falls Unterschied zu Systemname)</i></p>	
<p>Art des Modells</p> <p><i>(z.B. Partikelmodell)</i></p>	<p>Gauß-Fahnenmodell</p> <p>Optional: vereinfachtes Gauß-Puffmodell</p>
<p>Kurze Beschreibung</p> <p><i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i></p>	<p>1) Leitfaden für den Fachberater der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen, DFK-Modell</p> <p>SSK-Hefte 37 [18] und 38 [19]</p> <p>2) Frühere Version zu [18]: 2. Auflage von 1993</p> <p>Zu 1) Das DFK-Modell (Modell der Deutsch-Französischen Kommission) enthält zeitabhängige Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z, die mit den ortsabhängigen Ausbreitungsparametern der AVV zu § 47 StrlSchV [15] oder den Störfallberechnungsgrundlagen [22] nicht direkt zu vergleichen sind</p>

	Zu 2) zusätzlich werden gemäß 1) im Programm SA-FER2 auch ortsabhängige Ausbreitungsparameter angeboten, um Vergleiche mit der AVV zu § 47 StrlSchV [15] oder den Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV [22] führen zu können.
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; Variation Partikelzahl über Eingabe möglich <i>(ja/nein)</i>	
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	3 Diffusionsklassen gemäß DFK-Modell [18],[19] (labil, neutral bis stabil, sehr stabil) 6 Diffusionsklassen gemäß AVV zu § 47 StrlSchV [15] und den Störfallberechnungsgrundlagen [22] (sehr labil, labil, labil-neutral, neutral-stabil, stabil, sehr stabil)
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen	<ul style="list-style-type: none"> • Edelgase, Aerosole, Iod (elementares, aerosolförmiges und organisch gebundenes) • Leitnuklide Xe-133, I-131 und Cs-137 • 54 Einzelnuclide
Partikelgrößen für Iod, Aerosole <i>(evtl. mehrere Angaben möglich)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • AED < 1 µm • AED < 5 µm • AED 5 bis 10 µm • AED 10 bis 20 µm • AED 20 bis 40 µm • AED 40 bis 70 µm • AED 70 bis 100 µm • AED > 100 µm
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein.

Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Deposition	
Trockene Deposition	
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Bei Aerosoldurchmesser < 1 µm Ablagerungsgeschwindigkeiten v_g gemäß den Störfallberechnungsgrundlagen [22]. Bei Aerosoldurchmesser > 1 µm Ablagerungsgeschwindigkeiten v_g gemäß dem Bericht [23]. Zusätzlich Sinkgeschwindigkeit berücksichtigt [24].
Depositionsgeschwindigkeiten <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Gemäß [23].
Berücksichtigung Resuspension <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Berücksichtigung Interzeption (ja/nein, wenn ja wie?) <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Nasse Deposition	
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Bei Aerosoldurchmesser < 1 µm: Washoutkoeffizienten gemäß den Störfallberechnungsgrundlagen [22] Bei Aerosoldurchmesser > 1 µm: Washoutkoeffizienten gemäß [23].
Washout <i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Rainout <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Kein Unterschied zu Washout.

<p>Schnee</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Keine Unterscheidung Niederschlagsform.
<p>Feuchte Deposition durch Nebel/Tau</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Nicht berücksichtigt.
<p>Berücksichtigung Interzeption (wenn ja, dann kurze Beschreibung)</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Nein.
<p>Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag</p> <p><i>(z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Nein.

5.1.7 Dosisberechnung

Gammastrahlung	
<p>Beschreibung Berechnungsverfahren</p> <p><i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i></p>	<p>Die Gammastrahlung wird nach dem „Halbraummodell“ berechnet (aus der Konzentration einer räumlich unendlich ausgedehnten homogenen Verteilung der radioaktiven Stoffe am jeweiligen Aufpunkt) und nicht als Ergebnis der Beiträge der Gammaquanten aus der inhomogen verteilten Ausbreitungsfahne („Fahnenmodell“).</p> <p>Dies entspricht dem Modell des Leitfadens Fachberater [18] und [19] ist nicht mit dem Modell gemäß der AVV zu § 47 StrlSchV [15] oder dem der Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV [22] vergleichbar.</p> <p>Da die Gammastrahlung bei diesem Modell im Nahbereich in der Regel unterschätzt wird, wird wie folgt verfahren:</p> <p>Für alle Entfernungen, die geringer sind als das Konzentrationsmaximum, sind als Näherung die Werte am Konzentrationsmaximum anzusetzen.</p>
<p>Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Gammastrahlungskoeffizienten für 54 Nuklide, keine weitere Energieabhängigkeit des Ausbreitungsfaktors für Gammastrahlung.
Berücksichtigung Dosisaufbau	Gemäß Leitfaden [18] und [19].

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Berücksichtigung Rückstreuung Boden <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Gemäß Leitfaden [18] und [19].
Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung <i>(Literaturverweis)</i>	Gemäß Leitfaden [18] und [19].
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nur indirekt durch Reduzierung der effektiven Emissionshöhe.
Bodenstrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Gemäß Leitfaden [18] und [19].
Behandlung von Integrationszeiten	Standardwert ist 7 d. Bei Einzelnucliden können folgende Integrationszeiten gewählt werden: 1 h, 24 h, 7 d, 1 a, 50 a.
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Gelände an dieser Stelle nicht explizit berücksichtigt.
Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nicht enthalten.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Gemäß Leitfaden [18] und [19].
Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Die Berechnung erfolgt gemäß Leitfaden [18].
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Gemäß Leitfaden [18] und [19].

5.1.8 Berichte zur Anwendung von SAFER

SAFER wird als schnell einsetzbares Tool hauptsächlich zur Erstellung der radiologischen Lage und zu Übungszwecken bei Behörden, bei der Fachberatung im Katastrophenschutz der Länder Hamburg, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern sowie als Notfallprogramm und zum Fachkunderhalt in kern-technischen Anlagen eingesetzt,

Beispiele zur Anwendung von SAFER finden sich in [25].

5.2 RODOS

5.2.1 Systemübersicht

Name des Systems	RODOS
Kurze Beschreibung <i>(Wichtigste Eigenschaften in Stichworten)</i>	RODOS, Real-time Online Decision Support- System Umfangreiche Dokumentation siehe [26].
Modelltyp <i>(z.B. Simulationssystem mit diagnostischem Strömungsfeld und Lagrange-Partikel Modell)</i>	Simulationssystem für die Abschätzung früher und später Schutz- und Gegenmaßnahmen bei kerntechnischen Unfällen. Es enthält die verschiedensten Simulationsmodelle. Im meteorologischen Teilbereich gibt es Module für diagnostische und prognostische Ausbreitungsrechnungen mit meteorologischem Präprozessor, massenkonsistentem Windfeld, bzw. 3d-NWP Feld und verschiedenen Ausbreitungs-, Ablagerungs- und Dosismodellen.
Entwickler/Hersteller	ehem. Forschungszentrum Karlsruhe, heute KIT, Risó, Demokritos.
Ansprechpartner <i>(mit E-Mail Adresse)</i>	W. Raskob (wolfgang.raskob@kit.edu), J. Päsler-Sauer (juergen.paesler@kit.edu)
Verfügbarkeit <i>(Rechte für Vertrieb des Systems; wie kann das System beschafft werden; Kosten für Inbetriebnahme und Nutzung)</i>	Nach Absprache.
Einsatzweck <i>(z.B. Unterstützung Krisenstab, Forschung)</i>	Einsatz in der RODOS-Zentrale des BfS in Neuherberg und in nationalen Katastrophenschutzzentren in Europa; weltweiter Einsatz möglich.
Anwendungsbereich <i>(Nahbereich, Fernbereich)</i> Wichtigste Aufgaben, z.B. <i>Erstellung radiologische Lage, Vorbereitung von Notfallübungen)</i>	Nahbereich (und Fernbereich in Anwendung des Modells MATCH, bzw. in Zusammenarbeit mit DWD). RODOS-Module EmerSim, FDMT, Ermin und AgriCP zur Abschätzung der kurz- und langfristigen Konsequenzen einer Freisetzung. Ausbildung und Training in radiologischen und Notfallschutz bezogenen Fragestellungen.
Anwenderkreis <i>(Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden)</i>	Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden.
Export-Schnittstellen zu anderen Systemen	Schnittstelle zu Fernbereichs-Ausbreitungsrechnungen des DWD.

<i>(Einbettung in andere Systeme, z.B. großräumige Modelle oder auch Systeme im Rahmen des Katastrophenschutzes)</i>	.
Hardware-Anforderungen (CPU, Speicher, Platten)	jRODOS: Dual Core Intel Prozessor 3 GHz, 2GB RAM, harddisk 7200 rpm.
Betriebssysteme <i>(Unix/Linux/Windows mit genauen Versionsbezeichnungen)</i>	jRODOS: Unix, Linux, Windows, MacOS.
Typische Rechenzeiten für eine Simulation mit 24 Stunden Simulationszeit bei einer Zeitschrittweite von 60 Minuten <i>(mit Angabe der HW-Umgebung und Anzahl Maschinen)</i>	jRODOS: 2 Minuten (ATSTEP), 4 Minuten (RIMP-UFF), 10 Minuten (DIPCOT), Dual Core Intel Prozessor 3 GHz, 2GB RAM, harddisk 7200 rpm, für ca. 5 000 Gitterpunkte.
Verfügbare Ergebnisreports <i>(welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse liegen nach Ablauf der Rechnung vor? Z.B. Windfeld, Konzentration, Deposition, Dosis)</i>	Windfelder, Wolken-Ankunftszeiten; Nuklidspez. Konzentration in der Luft momentan und zeitintegriert, trockene und nasse Deposition, lokale externe Gammadosisraten, organspez. Gamma- und Inhalationsdosen; Konzentrationen in Nahrungs- und Futtermitteln; Maßnahmensimulation Aufsuchen von Häusern. Evakuierung, Umsiedlung, Verteilung von Jodtabletten.
Datenvolumen aller Ergebnisreports pro Zeitschritt <i>(mit Angabe der Maschenzahl)</i>	

5.2.2 Modellgebiet(e) und verwendete Gitter

Verwendete Koordinatensysteme <i>(kartesisch, geländefolgend)</i>	
Verwendetes Gitter <i>(Auflösung, äquidistant oder variable Maschengröße (Nesting))</i>	Dynamisches Gitter mit 2 520 Punkten, Maschenweiten 1 km, 2 km, 4 km und 8 km, kann bis zu einem Faktor 10 untersetzt und Faktor 3 erweitert werden. Ab 2013: Neues Dynamisches Gitter mit 8056 Punkten, (bis 2,5 km) Gitterweite 0,25 km 400 Punkte (bis 10 km) Gitterweite 0,5 km 1500 Punkte (bis 26 km) Gitterweite 1 km 2304 Punkte (bis 52 km) Gitterweite 2 km 2028 Punkte (bis 100 km) Gitterweite 4 km 1824 Punkte

	kann bis zu einem Faktor 5 untersetzt und Faktor 8 erweitert werden.
Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Verwendete Geländemodelle <i>(z.B. SRTM)</i>	Globale NASA Daten, 1 km Auflösung. Bei Bedarf können auch andere Daten hinterlegt werden.
Horizontale und vertikale Auflösung; Anzahl Maschen	Typischerweise 200 x 200 km Rechengebiet; 10 vertikale Schichten.
Zeitliche Auflösung <i>(typische Zeitschrittweiten)</i>	Diagnose: 10 Minuten Schritte. Prognose: 30 oder 60 Minuten Schritte.
Zur Zeit konfigurierte Standorte	Alle Standorte D, Europa inkl. Russland.
Kann ein zusätzlicher Standort frei gewählt werden? <i>z.B. für Transportunfall mit radioaktiven Stoffen, dirty bomb Ereignis</i> <i>Siehe hierzu auch S. 10 (Emissionsorte frei wählbar)</i>	Ja.

5.2.3 Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten

Schnittstellen und Eingabeformate <i>(wie erfolgt die Kommandierung (manuell bzw. Commandfile(s) u.o. Oberfläche) und Speicherung der verwendeten Eingangsdaten?)</i> <i>Details in den folgenden Punkten</i>	XML Eingabeformat für Rechenläufe und Quellterm
Emissionsdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen (z.B. KFÜ): siehe auch Abschnitt Quellterm)</i>	Direkte manuelle Eingabe, manuelle Auswahl vorgegebener Quellterme, Übernahme aus KFÜ.
Meteorologische Messdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen)</i>	Direkte manuelle Eingabe, manuelle Auswahl vorgegebener Daten, Wettervorhersagedaten, Übernahme von nationalen NWP-Daten.
Wetterprognosen <i>(Welche Möglichkeiten für Vorhersagen bestehen, z.B. Modelle des DWD?)</i>	BfS Installation: Alle 12 Stunden werden automatisch Prognosedaten des DWD eingelesen (Prognosedauer 48 Stunden, zeitliche Auflösung 1 Stunde). Historische NWP-Daten des DWD und von anderen Diensten, sowie aktuelle DWD-Vorhersagedaten werden benutzt. Generell können GRIB 1 und GRIB 2 Daten verarbeitet werden. DWD übernimmt Nahbereichsergebnisse von RODOS und führt Fernbereichsrechnungen durch.

5.2.4 Behandlung des Quellterms

Inventarbestimmung	
Referenzinventare <i>(z.B. Leitfaden Fachberater Strahlenschutz)</i>	Vom Betreiber, bzw. Leitfaden falls keins angegeben.
Modellierung der Abhängigkeit des Inventars von Betriebsparametern <i>(Berücksichtigung von Betriebszeit, Stillstandszeit und Abklingzeit)</i>	4 verschiedene Abbrandzeiten plus Gleichgewichtskern.
Berücksichtigung des Zerfalls bis zur Freisetzung <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Freisetzungsteile	
Unterteilung in Stoffkategorien (Aerosol, Gasförmig, gebunden) Insbes. Aufteilung Iod Elementar Organisch gebunden Aerosolgebunden Anzahl der freigesetzten Nuklide	Ja. Bis zu 25 Radionuklide können ausgebreitet werden, Auswahl aus ca. 80 Nukliden.
Modellierung der Freisetzungsteile für die Nuklide und Annahmen für den Nuklidvektor (z.B. Bezug auf Unfallszenario)	Wahlweise direkte Eingabe von Einzelnucliden, oder Berechnung des Nuklidvektors im Programm aus Anfangsinventar, Zeitintervall der Freisetzung, und Benutzereingabe (prozentual oder freigesetzte Aktivität) für Nuklidgruppen. Quelltermbibliothek wurde aktualisiert [27].
Schnittstellen für Quelltermübernahme <i>(z.B. QPRO der GRS, KfÜ-Daten)</i>	KfÜ-Daten und QPRO.
Emission	
Minimal und maximal mögliche Freisetzungsdauer (in den installierten Systemen)	Diagnose: Minimal 10 Minuten, Dauer unbegrenzt. Prognose: Minimal 10 Minuten, Maximal 48 Tage.
Emissionsorte frei wählbar (ja/nein, s. a. Abschnitt zu Modellgebiet)	Alle KKW's; Mobiler Standort möglich.
Punktquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Flächenquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Volumenquelle <i>(ja/nein)</i>	Nein.

Mehrere Emissionsorte mit anderen Nuklidvektoren kombinierbar <i>(ja/nein)</i>	Nein, in Entwicklung befindlich.
Mehrere Emissionsphasen <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Berücksichtigung Freisetzungsbedingungen (Kamin, Explosion, Brand) <i>(Ziel: Bestimmung der effektiven Freisetzungshöhe; Welche Möglichkeiten bietet das Modell hier?)</i>	Explosion nur für den dirty bomb-Fall. Bei Kaminfreisetzungen wird Anfangsimpuls (vertikal) und thermischer Fahnenaufstieg (Brigg-Formalismus) angewendet. Bei Transportunfall mit Brand ebenfalls Brigg-Formalismus.
Berücksichtigung Beeinflussung durch Bauwerke <i>Wenn ja, wie?</i>	Bei Freisetzungen aus geringer Höhe kann Anfangsverbreiterung der Fahne eingesetzt werden.
Abgasfahnenüberhöhung <i>Wenn ja, wie?</i>	Briggs Plume Rise Model (thermisch und vertikaler Impuls).
Kühlturmeinfluss <i>Wenn ja, wie?</i>	Nur durch wählbare Anfangsverbreiterung der Fahne.

5.2.5 Strömungsmodell(e)

Name des Modells (falls Unterschied zu Systemname)	
Art des Modells <i>(z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld)</i>	Diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld.
Kurze Beschreibung; <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall sollten die verwendeten Änderungen gegenüber Literatur benannt werden; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	
Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	alpha-Wert im massenkonsistenten Windfeldmodell: instabile Atmosphäre: $\sqrt{10}$ neutral: 1 stabile Atmosphäre: $\sqrt{0.1}$
Verwendete Eingangsdaten	

<i>(z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder)</i>	Handeingabe oder gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder.
Vertikale Windprofile <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Bei Handeingabe Potenzansatz, bei Mastmeßdaten Anpassung an Ähnlichkeitstheorie im met. Präprozessor.
Eingabe geostrophischer Wind erforderlich <i>(ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?)</i>	Nein.
Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja, entsprechend RODOS Tabelle Landuse:z0.

5.2.6 Ausbreitungsmodell RIMPUFF

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	RIMPUFF
Art des Modells <i>(z.B. Partikelmodell)</i>	
Kurze Beschreibung <i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Puff-Modell von Risö mit sphärischen (ellipsoiden) Puffs (siehe [26]).
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; Variation Partikelzahl über Eingabe möglich <i>(ja/nein)</i>	
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Pasquill-Gifford Stability Categories, Diffusion: Carruthers Sigma-Parameter (siehe [26]).
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja.
Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz	Ja.

(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)	Bei variablen Bedingungen während einer numerischen Wetter-Prognose.								
Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen	Alle 25 Rechen-nuklide, Edelgase, elementares/org. geb. Iod, Aerosole.								
Partikelgrößen für Iod, Aerosole (evtl. mehrere Angaben möglich)	1 µ AMAD.								
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports (ja/nein)	Ja.								
Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports (ja/nein)	Nein, jedoch Aufbau von radioaktiven Tochternukliden während der Ausbreitung (Kr 88 - Rb 88 und Te132- I 132).								
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden (ja/nein)	Ja.								
Deposition									
Trockene Deposition									
Dokumentation Verfahren und Parameter (evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)	Verschiedene Depositionsgeschwindigkeiten für elementares und organisch geb. Iod, sowie Aerosole. Die Depositionsgeschwindigkeiten werden aus den atmosphärischen und den oberflächen-spezifischen Widerständen für turbulenten Transport berechnet.								
Depositionsgeschwindigkeiten (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)	Typische mittlere Werte für Rasen: <table border="1" data-bbox="810 1429 1406 1816"> <tr> <td>Edelgas</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Iod (elementar)</td> <td>Kat A-D: 0,54e-02 m/s, Kat F: 0,36e-02 m/s</td> </tr> <tr> <td>Iod (organisch)</td> <td>Kat A-D: 0,54e-04 m/s, Kat F: 0,36e-04 m/s</td> </tr> <tr> <td>Aerosole</td> <td>Kat A-D: 0,70e-03 m/s, Kat F: 0,65e-03 m/s</td> </tr> </table>	Edelgas	-	Iod (elementar)	Kat A-D: 0,54e-02 m/s, Kat F: 0,36e-02 m/s	Iod (organisch)	Kat A-D: 0,54e-04 m/s, Kat F: 0,36e-04 m/s	Aerosole	Kat A-D: 0,70e-03 m/s, Kat F: 0,65e-03 m/s
Edelgas	-								
Iod (elementar)	Kat A-D: 0,54e-02 m/s, Kat F: 0,36e-02 m/s								
Iod (organisch)	Kat A-D: 0,54e-04 m/s, Kat F: 0,36e-04 m/s								
Aerosole	Kat A-D: 0,70e-03 m/s, Kat F: 0,65e-03 m/s								
Berücksichtigung Resuspension (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)	Nur für Inhalationsdosen im von der GSF in Neuherberg erstellten Folgeprogramm Foodchain- and Dose-Module Terrestrial (FDMT) [26].								

<p>Berücksichtigung Interzeption (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Ja, im Folgeprogramm FDMT.</p>
<p>Nasse Deposition</p>	
<p>Dokumentation Verfahren und Parameter (evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</p>	<p>Washout-Modell.</p>
<p>Washout (Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Siehe Modellbeschreibung ATSTEP.</p>
<p>Rainout (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Nein.</p>
<p>Schnee (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Wie Regen, nur Washout mit erhöhter Intensität.</p>
<p>Feuchte Deposition durch Nebel/Tau (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Nein.</p>
<p>Berücksichtigung Interzeption (wenn ja, dann kurze Beschreibung) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Ja, nur im Folgeprogramm FDMT.</p>
<p>Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag (z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Niederschlagsfelder aus der numerischen Wettervorhersage.</p>

5.2.7 Dosisberechnung RIMPUFF

<p>Gammastrahlung</p>	
------------------------------	--

<p>Beschreibung Berechnungsverfahren</p> <p><i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i></p>	<p>RODOS-Dokument "Description of the Atmospheric Dispersion Module RIMPUFF" RODOS(WG2)-TN(98)-02 Abschnitt 2.7 "Gamm dose calculations" und Abschnitt 3.4.1 "Gamm dose rate from a puff" (siehe [26]).</p> <p>In dieser Beschreibung wird auf die RISØ-Berichte [28], [29] verwiesen, die die Berechnung detailliert behandeln.</p> <p>Fernbereich: Gamma Submersion.</p>
<p>Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Alle Gamma-Rechennuklide. Nur eine mittlere Gamma Energie.</p>
<p>Berücksichtigung Dosisaufbau</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>S.o.</p>
<p>Berücksichtigung Rückstreuung Boden</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>S.o.</p>
<p>Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung</p> <p><i>(Literaturverweis)</i></p>	<p>Fahnen-Gamma Dosisratenfaktoren der GfS [26].</p>
<p>Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i></p> <p><i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i></p>	<p>Nein.</p>
<p>Bodenstrahlung</p>	
<p>Beschreibung Berechnungsverfahren</p> <p><i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i></p>	<p>Siehe Modellbeschreibung ATSTEP.</p> <p>Ebener kontaminierter Rasen, Boden-Gamma-Strahlung in 1 m Höhe, nuklidspezifisch.</p> <p>Boden-Gamma Dosisratenfaktoren und tabellierte Dosisfaktoren für verschieden lange Integrationszeiten.</p>
<p>Behandlung von Integrationszeiten</p>	<p>Siehe Modellbeschreibung ATSTEP.</p> <p>Zeitliche Interpolation von tabellierten Boden-Gamma-Dosisfaktoren für verschieden lange Integrationszeiten.</p>
<p>Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i></p> <p><i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i></p>	<p>Nein.</p>
<p>Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit</p>	<p>Selbstabschirmung des Bodens.</p>

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	
Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Siehe Modellbeschreibung ATSTEP. Inhalationraten für Erwachsene und Kinder, organspezifische Inhalations-Dosifaktoren.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	

5.2.8 Ausbreitungsmodell ATSTEP

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	ATSTEP
Art des Modells <i>(z.B. Partikelmodell)</i>	
Kurze Beschreibung <i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	<p>Puff-Modell (keine sphärischen Puffs, sondern ‚long puffs‘ entsprechend der Zeitschrittlänge von 10, 30, oder 60 Minuten. Jeder ‚long puff‘ besitzt einen vorderen und einen hinteren Angriffspunkt für Windvektoren und Turbulenz.</p> <p>Dadurch, dass das Modellgebiet mit einer kleineren Zahl von ‚long-puffs‘ (und Zeitschritten) überdeckt wird, rechnet ATSTEP deutlich schneller als herkömmliche Puff-Modelle.</p> <p>Die vertikale Verteilung ist Gauss-förmig (σ_z) mit Reflexionen, die horizontal transversale ebenfalls (σ_y). Die Verteilung über die Längsrichtung des ‚long-puffs‘ wird durch eine Errorfunktion mit σ_x berechnet.</p>
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Große Puff-Längen (s.o.) setzen bei großen, kurzfristigen Windrichtungsänderungen (unterhalb der Zeitschrittlänge von 30 min) das Auflösungsvermögen herab.
Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; <i>Variation Partikelzahl über Eingabe möglich (ja/nein)</i>	
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Pasquill-Gifford Stability Categories, Diffusion: (im Nahbereich für 10-20km) :Karlsruhe-Jülich bzw. Mol-Parameter, Deutsch-Französische Parameter, Doury-Parameter.

	Für größere Entfernungen stetige Extrapolation mit Briggs-Sigmaparametern.						
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja.						
Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja. Indirekt durch Berücksichtigung des Einflusses variierender Rauigkeit (Wechsel zwischen KA-JÜ- und Mol-Parametern). und zusätzlich bei variablen Bedingungen während einer numerischen Wetter-Prognose.						
Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen	Alle 25 Rechen-nuklide: Edelgase, elementares/org.geb.Iod, Aerosole.						
Partikelgrößen für Iod, Aerosole <i>(evtl. mehrere Angaben möglich)</i>	1 µ AMAD.						
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Ja.						
Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein, jedoch Aufbau von radioaktiven Tochternukliden während der Ausbreitung (Kr 88 - Rb 88 und Te132-I 132).						
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden <i>(ja/nein)</i>	Ja.						
Deposition							
Trockene Deposition							
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Verschiedene Depositionsgeschwindigkeiten für elementares und organisch geb. Iod, sowie Aerosole. Die Depositionsgeschwindigkeiten werden aus den atmosphärischen und den oberflächen-spezifischen Widerständen für turbulenten Transport berechnet.						
Depositionsgeschwindigkeiten <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Typische mittlere Werte für Rasen: <table border="1" data-bbox="810 1839 1422 2049"> <tr> <td>Edelgas</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Iod (elementar)</td> <td>Kat A-D: 0,54E-02 m/s, Kat F: 0,36E-02 m/s</td> </tr> <tr> <td>Iod (organisch)</td> <td>Kat A-D: 0,54E-04 m/s, Kat F: 0,36E-04 m/s</td> </tr> </table>	Edelgas	-	Iod (elementar)	Kat A-D: 0,54E-02 m/s, Kat F: 0,36E-02 m/s	Iod (organisch)	Kat A-D: 0,54E-04 m/s, Kat F: 0,36E-04 m/s
Edelgas	-						
Iod (elementar)	Kat A-D: 0,54E-02 m/s, Kat F: 0,36E-02 m/s						
Iod (organisch)	Kat A-D: 0,54E-04 m/s, Kat F: 0,36E-04 m/s						

	Aerosole	Kat A-D: 0,70E-03 m/s, Kat F: 0,65E-03 m/s															
Berücksichtigung Resuspension <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nur für Inhalationsdosen im von der GSF in Neuherberg erstellten Folgeprogramm Foodchain- and Dose-Module Terrestric (FDMT) [26].																
Berücksichtigung Interzeption <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja, im Folgeprogramm FDMT.																
Nasse Deposition																	
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Washout-Modell.																
Washout <i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Washout-Koeffizienten berechnet wie folgt: $\Lambda = a(I/1\text{mm/h})^b$, I ist Niederschlagsintensität in mm/h																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>a</th> <th>b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Edelgas</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>elementares Iod</td> <td>8E-05</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>organisch gebundenes Iod</td> <td>8E-07</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>Aerosole</td> <td>8E-05</td> <td>0,8</td> </tr> </tbody> </table>			a	b	Edelgas	0		elementares Iod	8E-05	0,6	organisch gebundenes Iod	8E-07	0,6	Aerosole	8E-05	0,8
	a	b															
Edelgas	0																
elementares Iod	8E-05	0,6															
organisch gebundenes Iod	8E-07	0,6															
Aerosole	8E-05	0,8															
Rainout <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.																
Schnee <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Wie Regen, nur erhöhter Washout.																

<p>Feuchte Deposition durch Nebel/Tau (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	Nein.
<p>Berücksichtigung Interzeption (wenn ja, dann kurze Beschreibung) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	Ja, nur im Folgeprogramm FDMT.
<p>Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag (z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	Niederschlagsfelder aus der numerischen Wettervorhersage.

5.2.9 Dosisberechnung ATSTEP

Gamma submersion	
<p>Beschreibung Berechnungsverfahren (evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</p>	<p>Nahbereich bis max 20 km: Übertragung der Methode „Interpolation von Tabellen mit Fahnenstrahlungs-Korrekturfaktoren, GSF Neuherberg“ auf die Longpuffs in ATSTEP. Fernbereich: Gamma Submersion. Vergl.: S.113-114 in [30].</p>
<p>Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	Alle Gamma-Rechennuklide. Nur eine mittlere Gamma Energie.
<p>Berücksichtigung Dosisaufbau (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	Enthalten in den Fahnen-Gamma-Korrekturfaktoren.
<p>Berücksichtigung Rückstreuung Boden (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	Enthalten in den Fahnen-Gamma-Korrekturfaktoren.
<p>Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung (Literaturverweis)</p>	Fahnen-Gamma Dosisratenfaktoren (GSF, Neuherberg: GSF-Report 12/90) [31].
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein)	Nein.

<i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	
Bodenstrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Ebener kontaminierter Rasen, Boden-Gamma-Strahlung in 1 m Höhe, nuklidspezifisch. Boden-Gamma Dosisratenfaktoren und tabellierte Dosisfaktoren für verschieden lange Integrationszeiten (GSF, Neuherberg).
Behandlung von Integrationszeiten	Zeitliche Interpolation von tabellierten Boden-Gamma-Dosisfaktoren (GSF, Neuherberg: GSF-Report 12/90) für verschieden lange Integrationszeiten.
Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i> <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Selbstabschirmung des Bodens.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	
Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Inhalationsraten für Erwachsene und Kinder, organspezifische Inhalations-Dosisfaktoren (GSF, Neuherberg: GSF-Report 12/90)
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	

5.2.10 Ausbreitungsmodell DIPCOT

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	DIPCOT.
Art des Modells <i>(z.B. Partikelmodell)</i>	
Kurze Beschreibung <i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Lagrange Partikel Modell mit Gauss-Kernel Methode [32].
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Gauß Kernel Methode zur Einsparung von Partikelanzahlen.

Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; <i>Variation Partikelzahl über Eingabe möglich (ja/nein)</i>	In der RODOS-Version des BfS: DIPCOT wird mit einer Particle-Rate von 360 P/h betrieben. Diese relativ niedrige Rate erklärt sich durch die Nutzung des DIPCOT-Puffmodus (Gauss Kernel).
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ähnlichkeitstheorie korreliert mit Pasquill-Gifford Stabilitätskategorien.
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja. Rauigkeit und Bewuchs werden aus digitalen Landkarten der landwirtschaftlichen Bodennutzung und Oberflächenstruktur abgeleitet.
Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja. Indirekt durch Berücksichtigung des Einflusses variierender Rauigkeit und zusätzlich bei variablen Bedingungen während einer numerischen Wetter-Prognose.
Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen	Alle 25 Rechen-nuklide.
Partikelgrößen für Iod, Aerosole <i>(evtl. mehrere Angaben möglich)</i>	1 µ AMAD.
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein, jedoch Aufbau von radioaktiven Tochternukliden während der Ausbreitung (Kr 88 - Rb 88 und Te132-132).
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Deposition	
Trockene Deposition	
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Verschiedene Depositionsgeschwindigkeiten für elementares und organisch geb. Iod, sowie Aerosole. Die Depositionsgeschwindigkeiten werden aus den atmosphärischen und den oberflächen-spezifischen Widerständen für turbulenten Transport berechnet. Die Partikel-Depositionsfunktionen sind den in der Modellbeschreibung ATSTEP gegebenen Depositionsgeschwindigkeiten angepasst.
Depositionsgeschwindigkeiten <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Typische mittlere Werte für Rasen.

	Die Partikel-Deposition ist den in der Modellbeschreibung ATSTEP gegebenen Depositionsgeschwindigkeiten angepasst.
Berücksichtigung Resuspension <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nur für Inhalationsdosen im Folgeprogramm FDMT.
Berücksichtigung Interzeption <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja, im Folgeprogramm FDMT.
Nasse Deposition	
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Washout-Modell.
Washout <i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Die Partikel-Washoutfunktionen sind den in der Modellbeschreibung ATSTEP gegebenen Washout-Formeln angepasst.
Rainout <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Schnee <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Wie Regen, nur erhöhter Washout.
Feuchte Deposition <i>durch Nebel/Tau (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Berücksichtigung Interzeption <i>(wenn ja, dann kurze Beschreibung) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja, nur im Folgeprogramm FDMT.
Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag <i>(z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Niederschlagsfelder aus der numerischen Wettervorhersage.

ur dokumentieren)	
-------------------	--

5.2.11 Dosisberechnung DIPCOT

Gammastrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Gauß Kernel Methode wird für die Partikel-Gammastrahlung verwendet, woraus vereinfachte Strahlungsintegralformeln folgen. Siehe [33][34][35].
Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Alle Gamma-Rechen-nuklide.
Berücksichtigung Dosisaufbau <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Berücksichtigung Rückstreuung Boden <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung <i>(Literaturverweis)</i>	Fahnen-Gamma Dosisratenfaktoren.
Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i> <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Bodenstrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Wie in der Beschreibung ATSTEP angegeben: Ebener kontaminierter Rasen, Boden-Gamma-Strahlung in 1 m Höhe, nuklidspezifisch. Boden-Gamma Dosisratenfaktoren und tabellierte Dosisfaktoren für verschieden lange Integrationszeiten.
Behandlung von Integrationszeiten	Wie in der Beschreibung ATSTEP angegeben: Zeitliche Interpolation von tabellierten Boden-Gamma-Dosisfaktoren für verschieden lange Integrationszeiten.
Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i> <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Selbstabschirmung des Bodens.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	

Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Wie in der Beschreibung ATSTEP angegeben: Inhalationraten für Erwachsene und Kinder, organspezifische Inhalations-Dosifaktoren.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Wie in der Beschreibung ATSTEP angegeben:

5.3 KFÜ-ABR

5.3.1 Systemübersicht

Name des Modells	ABR
<p>Kurze Beschreibung (Wichtigste Eigenschaften in Stichworten)</p>	<p>System zur Berechnung der luftgetragenen Ausbreitung radioaktiver Stoffe;</p> <p>Integriert in KFÜ BW und RFÜ Rheinland-Pfalz/Saarland;</p> <p>Online-Datenanbindung an Kraftwerk und Umgebungsmessungen;</p> <p>Zugriff auf die in der KFÜ verfügbaren Daten des DWD COSMO-EU und COSMO-DE-Vorhersagen, die kontinuierlich abgerufen werden;</p> <p>System basiert auf verschiedenen Modellen: Geländemodell, Diagnostische Windfelder, Transportmodell und Dosisberechnungen, die untereinander kombiniert werden können;</p> <p>Horizontale Auflösung abhängig von Modellgebiet (siehe unten);</p> <p>Beschreibung siehe z.B. [36].</p>
<p>Modelltyp (z.B. Simulationssystem mit diagnostischem Strömungsfeld und Lagrange-Partikel Modell)</p>	<p>Simulationssystem mit diagnostischem Windfeld, Lagrange-Partikel Modell und anschließender Dosisberechnung.</p>
<p>Entwickler/Hersteller</p>	<p>IKE Universität Stuttgart.</p>
<p>Ansprechpartner (mit E-Mail Adresse)</p>	<p>Dr. Walter Scheuermann scheuermann@ike.uni-stuttgart.de</p>
<p>Verfügbarkeit (Rechte für Vertrieb des Systems; wie kann das System beschafft werden; Kosten für Inbetriebnahme und Nutzung)</p>	<p>Rechte beim UM Baden-Württemberg, d.h. kostenlose Nutzung für Behörden möglich.</p> <p>Inbetriebnahme und Installation über Auftragsrechnung.</p>
<p>Einsatzzweck (z.B. Unterstützung Krisenstab, Forschung)</p>	<p>Unterstützung von Krisenstäbe im kerntechnischen Notfallschutz bei der Erarbeitung der radiologischen Lage</p>
<p>Anwendungsbereich (Nahbereich, Fernbereich)</p> <p>Wichtigste Aufgaben, z.B. Erstellung radiologische Lage, Vorbereitung von Notfallübungen)</p>	<p>Nahbereichsausbreitung bis zu ca. 100 km Abstand zur kerntechnischen Anlage, je nach Modellgebietsgröße mit unterschiedlicher horizontaler Auflösung.</p> <p>Wichtigste Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> Erstellung der radiologischen Lage zur Empfehlung von Maßnahmen im Notfallschutz [36]

	<ul style="list-style-type: none"> • Vorbereitung von Notfallübungen (z.B. Berechnung von ODL-Daten für KFÜ-Simulation) [37][38] • Analyse von Ortsdosisleistungsmessungen, insbesondere <ul style="list-style-type: none"> ○ Ausschluss von Emissionen bei Niederschlagsbedingten Erhöhungen der Messwerte ○ Erarbeitung von Strategien für mobile Messungen.
Anwenderkreis <i>(Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden)</i>	Aufsichtsbehörden und Katastrophenschutzbehörden (UM BW, MWKEL Rheinland-Pfalz, Regierungspräsidien Stuttgart, Karlsruhe und Freiburg).
Export-Schnittstellen zu anderen Systemen <i>(Einbettung in andere Systeme, z.B. großräumige Modelle oder auch Systeme im Rahmen des Katastrophenschutzes)</i>	Die ABR-Ergebnisse werden über die KFÜ-Oberfläche visualisiert. Es erfolgt keine Einbettung in ein großräumiges Modell. Über das KFÜ-System Integration der Ergebnisse in die Elektronische Lagedarstellung des UM BW.
Hardware-Anforderungen <i>(CPU, Speicher, Platten)</i>	Je nach Anforderung. Skalierbar von lokaler Arbeitsplatzlösung bis zu Multi-CPU-Servern. In KFÜ-BW: HP DL 585 G7, 8 CPU, 32 GB RAM, HP MSA 2000 SAN mit 10k Platten mit je 256GB (Total 2 TB).
Betriebssysteme <i>(Unix/Linux/Windows mit genauen Versionsbezeichnungen)</i>	Microsoft Windows Server 2003, 2008. Microsoft Windows XP, Windows 7.
Typische Rechenzeiten für eine Simulation mit 24 Stunden Simulationszeit bei einer Zeitschrittweite von 60 Minuten <i>(mit Angabe der HW-Umgebung und Anzahl Maschen)</i>	30 Sekunden pro Zeitschritt (bei Anzahl Maschen: 1 600 000); Hardware: HP DL 585 G7
Verfügbare Ergebnisreports <i>(welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse liegen nach Ablauf der Rechnung vor? Z.B. Windfeld, Konzentration, Deposition, Dosis)</i>	Diagnostisches 3D-Windfeld; Aktivitätskonzentration (3D) für die Nuklidgruppen Iod, Aerosol und Edelgas; Deposition für die Nuklidgruppen Iod und Aerosol; Dosisreports für alle Expositionspfade und Personengruppen gemäß AVV [15];

	Spezifische Berichte, z.B. Dosismaxima,
Datenvolumen aller Ergebnisreports pro Zeitschritt (mit Angabe der Maschenzahl)	Ca. 50MB (inkl. aller 3D-Daten)

5.3.2 Modellgebiete und verwendete(s) Gitter

Verwendete Koordinatensysteme (kartesisch, geländefolgend)	Geländefolgendes Koordinatensystem.
Verwendetes Gitter (Auflösung, äquidistant oder variable Maschengröße (Nesting))	Es wird ein äquidistantes Gitter verwendet dessen horizontale Maschenweite von der räumlichen Größe abhängt: Möglich sind horizontale Auflösungen zwischen 50m bis zu 1 000m; die vertikale Auflösung beträgt 40m (zur Zeit bis zu 1 000m über Grund)
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein)	ja
Verwendete Geländemodelle (z.B. SRTM)	Landesvermessungsamt Baden-Württemberg SRTM-Daten für Modellgebiet 200x200 km ²
Horizontale und vertikale Auflösung; Anzahl Maschen	200x200 km ² : horizontal 1x1 km ² vertikal 25 Layer zu je 40 m, d.h. 1 000 000 Gitterpunkte 50x50 km ² : 200x200m ² Maschen, d.h.2 500 000 Gitterpunkte
Zeitliche Auflösung (typische Zeitschrittweiten)	Variable Zeitschrittweiten (Vielfache von 10 Minuten) Typischerweise verwendet werden 10 Minuten oder 1 Stunde in Anlehnung an die Mittelungsintervalle der Mess- oder Prognosedaten
Zur Zeit konfigurierte Standorte	KKP, GKN, KWO, KWB, CATT, KKB, KGG, KKL, KMK, Fukushima-Daiichi
Kann ein zusätzlicher Standort frei gewählt werden? z.B. für Transportunfall mit radioaktiven Stoffen, dirty bomb Ereignis Siehe hierzu auch S. 10 (Emissionsorte frei wählbar)	Nein. Erweiterung in Konfiguration erforderlich. Geländedaten und Eingangsdaten müssen zur Verfügung stehen.

5.3.3 Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten

Schnittstellen und Eingabeformate (wie erfolgt die Kommandierung (manuell bzw. Commandfile(s) u.o. Oberfläche) und Speicherung der verwendeten Eingangsdaten? Details in den folgenden Punkten	Kommandierung über Web-Oberfläche sowie automatisierte Rechnungen (z.B. bei radiologischem KFÜ-Alarm) Art der Parametrisierung erfolgt je nach Rechnungstyp:
--	---

	<p>Automatische Alarmrechnung auf Basis gemessener Daten, die über Web-Service-Schnittstellen aus der KFÜ-Datenbank abgerufen werden</p> <p>Prognoserechnungen</p> <p>Manuelle Kommandierung von Quellterm und Meteorologie (s.u.)</p> <p>Speicherung des Szenarios als XML-Datei</p>
<p>Emissionsdaten</p> <p><i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen (z.B. KFÜ): siehe auch Abschnitt Quellterm)</i></p>	<p>Gemessene Abgaberraten für Aerosol, Iod und Edelgas (inkl. Störfallinstrumentierung)</p> <p>Alternativ</p> <p>vollständig manuelle Kommandierung möglich (inkl. Import Quellterm)</p> <p>Verwendung von Standard-Unfallszenarien</p>
<p>Meteorologische Messdaten</p> <p><i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen)</i></p>	<p>Integration der Messungen am Standort und in der Umgebung (KFÜ-eigene Meteorologie sowie synoptische Daten und Radarniederschlagsdaten des DWD)</p> <p>Auch vollständig manuelle Kommandierung möglich, allerdings eingeschränkt auf die Daten am Emissionsort.</p>
<p>Wetterprognosen</p> <p><i>(Welche Möglichkeiten für Vorhersagen bestehen, z.B. Modelle des DWD?)</i></p>	<p>Kontinuierliche Übernahme von COSMO-EU und COSMO-DE-Prognosedaten des DWD aus der KFÜ.</p> <p>Berücksichtigung der Höhenschichten bis ca. 2 000 Meter über Grund (d.h. 17 Schichten aus den COSMO-Modellen)</p>

5.3.4 Behandlung des Quellterms

Inventarbestimmung	
<p>Referenzinventare</p> <p><i>(z.B. Leitfaden Fachberater Strahlenschutz)</i></p>	<p>Das Inventar für GKN und KKP wurde aufgrund aktueller Beladepläne und unter Berücksichtigung von Abbrand, Brennelementtyp und der Verweilzeit der Brennelemente mit Hilfe des Programm ORIGEN bestimmt. Dabei werden 69 Nuklide berücksichtigt. Siehe [39]. Die im Leitfaden [18][19] aufgeführten Nuklide sind vollständig enthalten.</p> <p>Für andere Anlagen erfolgt eine leistungsabhängige Umrechnung auf Basis des hinterlegten GKN-2-Inventars.</p>
<p>Modellierung der Abhängigkeit des Inventars von Betriebsparametern</p> <p><i>(Berücksichtigung von Betriebszeit, Stillstandszeit und</i></p>	<p>Die Inventarberechnung berücksichtigt die Betriebszeit, Stillstandszeit, sowie die Abklingzeit</p>

<i>Abklingzeit)</i>	
Berücksichtigung des Zerfalls bis zur Freisetzung <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Freisetzungsteile	
Unterteilung in Stoffkategorien (Aerosol, Gasförmig, gebunden) Insbes. Aufteilung Iod Elementar Organisch gebunden Aerosolgebunden Anzahl der freigesetzten Nuklide	Für die Modellierung des Nuklidvektors wird Bezug auf eine Unfallkategorie sowie auf das errechnete Kerninventar zum Zeitpunkt der Freisetzung genommen. Von den im Inventar berücksichtigten Nukliden werden 55 freigesetzt. Die Transportmodellierung erfolgt über die Zuordnung zu den Nuklidgruppen Edelgas, Iod elementar, Iod organisch und Aerosol. Aufteilung in elementares und organisch gebundenes Iod konfigurierbar (default je 50%). Transport von aerosolgebundenem Iod ist derzeit nicht modelliert, wird allerdings zurzeit realisiert.
Modellierung der Freisetzungsteile für die Nuklide und Annahmen für den Nuklidvektor <i>(z.B. Bezug auf Unfallszenario)</i>	Die Zusammensetzung des Nuklidvektors (d.h. die relativen Anteile der Einzelnuclide) wird durch die Zuordnung aus dem errechneten Inventar und der Berücksichtigung von Freisetzungsteilen definiert.
Schnittstellen für Quellterm-übernahme <i>(z.B. QPRO der GRS, KFÜ-Daten)</i>	Einfache Übernahme über definiertes XML-Format Übernahme externer Quellterme aus QPRO prototypisch umgesetzt
Emission	
Minimal und maximal mögliche Freisetzungsdauer (in den installierten Systemen)	Keine prinzipielle Begrenzung. Zurzeit sind 72 Stunden Simulationszeit als default konfiguriert.
Emissionsorte frei wählbar <i>(ja/nein, s. a. Abschnitt zu Modellgebiet)</i>	Ja, in der produktiven ABR allerdings eingeschränkt auf Orte im Bereich einer kerntechnischen Anlage.
Punktquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Flächenquelle <i>(ja/nein)</i>	Möglich aber in der ABR momentan nicht vorgesehen.
Volumenquelle <i>(ja/nein)</i>	Möglich aber in der ABR momentan nicht vorgesehen.
Mehrere Emissionsorte mit anderen Nuklidvektoren kombinierbar <i>(ja/nein)</i>	Prinzipiell möglich aber in der ABR momentan derzeit nicht realisiert.
Mehrere Emissionsphasen <i>(ja/nein)</i>	Ja, allerdings keine zeitliche Überschneidung erlaubt.
Berücksichtigung Freisetzungsbedingungen (Kamin, Explosion, Brand) <i>(Ziel: Bestimmung der effektiven Freisetzungshöhe; W</i>	Erfolgt über die Angabe der Emissionshöhe.

<i>elche Möglichkeiten bietet das Modell hier?)</i>	
Berücksichtigung Beeinflussung durch Bauwerke <i>Wenn ja, wie?</i>	Ja. Entsprechend AVV [15].
Abgasfahnenüberhöhung <i>Wenn ja, wie?</i>	Erfolgt über die Angabe der Emissionshöhe.
Kühlturmeinfluss <i>Wenn ja, wie?</i>	Einfluss eines in Betrieb befindlichen Kühlturms nicht modelliert.

5.3.5 Strömungsmodell WINDO

Name des Modells (<i>falls Unterschied zu Systemname</i>)	ABR-WINDO.												
Art des Modells (<i>z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld</i>)	Diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld auf Basis vorgegebener Daten für gemessene Winddaten und ermittelte Stabilitätskategorien. Das Modell stammt aus dem Simulationssystem SPEEDI [40].												
Kurze Beschreibung; (<i>evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall sollten die verwendeten Änderungen gegenüber Literatur benannt werden; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts</i>)	<p>Auf Basis eines initialen Windfeldes wird durch Interpolation ein 3D-Windfeld erzeugt, das nicht massenkonsistent sein muss.</p> <p>Durch Lösen der Kontinuitätsgleichung wird daraus ein massenkonsistentes und divergenzfreies Windfeld erzeugt.</p> <p>Der Einfluss des Abstandes der Messstationen in horizontaler und vertikaler Richtung zur jeweiligen Masche bei der Interpolation wird durch Wichtungsfaktoren beschrieben.</p> <p>Bei manueller Eingabe wird das vertikale Profil durch logarithmische Extrapolation bestimmt.</p>												
<p>Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse</p> <p>(<i>Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren</i>)</p>	<p>In Abhängigkeit von der Diffusionskategorie verwendet werden die Werte:</p> <p>Für die in dem zu minimierenden Funktional eingehenden horizontalen und vertikalen Transmissionskoeffizienten gilt:</p> $\tau_h = \frac{1}{2\alpha_1^2}$ $\tau_v = \frac{1}{2\alpha_2^2}$ <p>Wobei α_1 von der Stabilitätsklasse abhängt und $\alpha_2=1$ gesetzt wird.</p> <p>Für α_1 werden abhängig von der Stabilitätsklasse folgende Werte verwendet:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,0</td> <td>1,0</td> <td>0,8</td> <td>0,5</td> <td>0,1</td> <td>0,05</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	C	D	E	F	1,0	1,0	0,8	0,5	0,1	0,05
A	B	C	D	E	F								
1,0	1,0	0,8	0,5	0,1	0,05								

Verwendete Eingangsdaten <i>(z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder)</i>	Im Modellgebiet erfasste Messdaten für Wind und Diffusionskategorien.
Vertikale Windprofile <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Bei manueller Kommandierung wird ein Potenzansatz verwendet; ansonsten gemäß [40].
Eingabe geostrophischer Wind erforderlich <i>(ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?)</i>	Nein.
Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nicht berücksichtigt, d.h. Modell rechnet mit konstanter Rauigkeitslänge für das gesamte Modellgebiet.

5.3.6 Strömungsmodell MCF

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	MCF.
Art des Modells <i>(z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld)</i>	Diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld auf Basis vorgegebener Daten für gemessene Winddaten und ermittelte Stabilitätskategorien (siehe [41]).
Kurze Beschreibung, ggfs. Modellgleichungen; wie gehen die Eingangsdaten bei der Bestimmung ein? <i>(evtl Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Verfahren analog zu WINDO (siehe 5.3.5). Die Berechnung erfolgt in einem geländefolgenden Koordinatensystem, wobei die Vorgabe maschenspezifischer Rauigkeitslängen möglich ist.
Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse	Für die horizontalen und vertikalen Transmissionskoeffizienten gilt: $\tau_h = \frac{1}{2\alpha_1^2}$ $\tau_v = \frac{1}{2\alpha_2^2}$ Für das Verhältnis der vertikalen zu den horizontalen „Tuningparameter“ gilt: $\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)^2 = \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^2 = \left(\frac{w}{u}\right)^2$
Verwendete Eingangsdaten <i>(Z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien)</i>	Im Modellgebiet erfasste Messdaten für Wind und Diffusionskategorien
Vertikale Windprofile <i>(falls Unterschiede zu Literatur oder kein Literaturverweis vorhanden)</i>	Verschiedene –von der Stabilität – abhängende Profile. Siehe [41].

Eingabe geostrophischer Wind erforderlich <i>(ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?)</i>	Ja, bzw. Messdaten aus höheren Schichten.
Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen	Ja.

5.3.7 Ausbreitungsmodell

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	PAS. (IKE-Weiterentwicklung auf Basis von SPEEDI [42]).
Art des Modells <i>(z.B. Partikelmodell)</i>	Lagrange Partikel Modell
Kurze Beschreibung <i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Basiert auf dem Modell SPEEDI [42]. Die Ausbreitungsparameter p_i und q_i können nach Pasquill-Gifford oder Karlsruhe-Jülich gewählt werden. Siehe z.B. [42][43][44].
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Kein Markow-Prozess modelliert.
Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; Variation Partikelzahl über Eingabe möglich <i>(ja/nein)</i>	Voreingestellter Wert: 50 000 Partikel pro Zeitschritt.
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Charakterisierung der Turbulenz über 6 Diffusionskategorien. Wählbar sind die Parametrisierungen nach Karlsruhe-Jülich und nach Pasquill-Gifford.
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein, nur über das Windfeld berücksichtigt.
Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja, Diffusionskategorien für 3 Höhenschichten.
Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen	Edelgase, Aerosole, Iod wobei zwischen elementarem und organisch gebundenem Iod unterschieden wird. Insgesamt sind 55 Nuklide für die Freisetzung modelliert.
Partikelgrößen für Iod, Aerosole <i>(evtl. mehrere Angaben möglich)</i>	< 10 μm .

Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein.								
Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein.								
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden <i>(ja/nein)</i>	Ja. Allerdings keine Zerfallsbedingte ‚Freisetzung‘ von Edelgas nach Deposition (z.B. Iod->Xenon) implementiert.								
Deposition									
Trockene Deposition									
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Abreicherung über den Depositionsfluss nach: $F_d = v_d * c(x, y, z_r)$ mit $z_r = 1\text{m}$ über Grund Edelgase werden nicht deponiert								
Depositionsgeschwindigkeiten <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	<table border="1"> <tr> <td>Edelgas</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Iod (elementar)</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>Iod (organisch)</td> <td>0,0005</td> </tr> <tr> <td>Aerosole</td> <td>0,0018</td> </tr> </table>	Edelgas	-	Iod (elementar)	0,01	Iod (organisch)	0,0005	Aerosole	0,0018
Edelgas	-								
Iod (elementar)	0,01								
Iod (organisch)	0,0005								
Aerosole	0,0018								
Berücksichtigung Resuspension <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.								
Berücksichtigung Interzeption <i>(ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.								
Nasse Deposition									
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Bestimmung des Depositionsflusses nach: $F_d(x, y) = \int_0^{H_N} \Lambda(x, y, z) * C(x, y, z) * dz$ Mit dem Washout-Koeffizienten $\Lambda = \Lambda_0 * \left(\frac{l}{1\text{mm}/h} \right)^k$ Bei der Berechnung werden räumlich inhomogene Niederschlagsdaten verwendet (Messnetze, Prognose oder Radardaten). H_N kennzeichnet die Höhe der Grenzschicht.								

<p>Washout</p> <p><i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Washout-Koeffizienten berechnet folgenden tabellarischen Werten</p> <table border="1" data-bbox="807 300 1401 725"> <thead> <tr> <th></th> <th>Λ_0</th> <th>κ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Edelgas</td> <td>0,0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>elementares Iod</td> <td>7E-5</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>organisch gebundenes Iod</td> <td>7E-7</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Aerosole</td> <td>7E-5</td> <td>0,8</td> </tr> </tbody> </table>		Λ_0	κ	Edelgas	0,0	-	elementares Iod	7E-5	0,8	organisch gebundenes Iod	7E-7	0,8	Aerosole	7E-5	0,8
	Λ_0	κ														
Edelgas	0,0	-														
elementares Iod	7E-5	0,8														
organisch gebundenes Iod	7E-7	0,8														
Aerosole	7E-5	0,8														
<p>Rainout</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Kein Unterschied zu Washout.</p>															
<p>Schnee</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Keine Unterscheidung Niederschlagsform.</p>															
<p>Feuchte Deposition durch Nebel/Tau</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Nicht berücksichtigt.</p>															
<p>Berücksichtigung Interzeption (wenn ja, dann kurze Beschreibung)</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Nein.</p>															
<p>Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag</p> <p><i>(z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Ja.</p> <p>Es werden sowohl gemessene, räumlich inhomogene Niederschläge, Radarniederschlagsdaten des DWD sowie die Niederschlagsprognose herangezogen.</p>															

5.3.8 Dosisberechnung

<p>Gammastrahlung</p>	
<p>Beschreibung Berechnungsverfahren</p> <p><i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i></p>	<p>Berechnung der Gammastrahlung erfolgt auf Basis extern berechneter adjungierter Flüsse (Strahlentransportrechnung) siehe [45]. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Aufteilung der Energiegruppen.</p>

	Gruppe	Energie in keV	Gruppe	Energie in keV	Gruppe	Energie in keV
	1	3000-3500	11	512-600	21	67,5-75,0
	2	2500-3000	12	510-512	22	60,0-67,5
	3	2000-2500	13	450-510	23	52,5-60,0
	4	1660-2000	14	400-450	24	45,0-52,5
	5	1500-1660	15	300-400	25	37,5-45,0
	6	1330-1500	16	200-300	26	30,0-37,5
	7	1000-1330	17	150-200	27	25,0-30,0
	8	800-1000	18	100-150	28	20,0-25,0
	9	700-800	19	87,5-100	29	15,0-20,0
	10	600-700	20	75,0-87,5	30	10,0-15,0

Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Aufteilung in 30 Energiegruppen.
Berücksichtigung Dosisaufbau <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Explizit in den adjungierten Flüssen enthalten.
Berücksichtigung Rückstreuung Boden <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Explizit in den adjungierten Flüssen enthalten.
Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung <i>(Literaturverweis)</i>	In den adjungierten Flüssen ist eine von ICRP definierte Dosis-Flussbeziehung [46] verwendet worden. Die Berechnung der Organdosen erfolgt unter Verwendung der Dosiskoeffizienten und Geometriefaktoren gemäß AVV [15] bzw. Bundesanzeiger [81].
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Bodenstrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Die Berechnung erfolgt gemäß AVV und den dort angegebenen Parametern.
Behandlung von Integrationszeiten	Kann im Rahmen der Rechnung vorgegeben werden. Standardwert ist 7 Tage.
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Gelände an dieser Stelle nicht explizit berücksichtigt.
Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit	Gemäß AVV über einen Abschirmfaktor (1 für Kurzzeitausbreitung).

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	0,5 für Langzeitbetrachtungen Keine explizite Modellierung realisiert.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Gemäß AVV.
Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Die Berechnung erfolgt gemäß AVV und den dort angegebenen Parametern für die Atemraten auf Basis der bodennahen Luftkonzentration.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Gemäß AVV.

5.3.9 Beispiele zur Anwendung der ABR

The screenshot shows a web-based interface for the ABR (Air Breathing Rate) command. At the top, there is a navigation bar with five tabs: « Szenario (selected), » Anlage und Modell, » Emissionsdaten, » Meteorologie, and » Rechnung Starten. Below the navigation bar, there are two radio button options: « Neues Szenario (selected) and « Gespeichertes Szenario öffnen. To the right of the second option is a text input field and a button labeled « Durchsuchen...». Below these options is a blue hyperlink: « [Meine Simulationen Verwalten](#) ». At the bottom right of the interface, there are two buttons: « Weiter » and « Abbrechen ».

Abbildung 5.3-1 Start-Menü der Web-basierten ABR-Kommandierung mit Möglichkeit zum Import gespeicherter Szenarien. Verweis zur Verwaltung von Simulationen.

» Szenario		» Anlage und Modell		» Emissionsdaten		» Meteorologie		» Rechnung Starten	
Anlage					Modell				
Name des Szenarios	Test			Modellkette	WINDO/PAS				
Anlage	GKN-2			Emissionsdaten aus	manueller Eingabe				
Thermische Leistung [kW]	3765			Meteorologiedaten aus	DWD-Prognose Cosmo-EU				
Stillstandsdauer (letzte Revision) [d]	28			Modellgebietsgröße	20 km x 20 km				
Betriebsdauer in Volllasttagen [d]	100			Startzeit der Simulation [tt.mm.jj hh:mm]	19.04.2013 15:00				
Ende der Kettenreaktion [h]	24			Simulationsdauer, max. 72 Stunden [hh:mm]	02:00				
Ablagerungszeit auf dem Boden	7 Tage			Zeitschrittweite [min]	60				
Kommentar				Turbulenzparameter	Karlsruhe-Jülich				
<input type="button" value="« Zurück"/> <input type="button" value="Weiter »"/> <input type="button" value="Abbrechen"/>									

Abbildung 5.3-2 Konfiguration der Anlagenparameter in der ABR-Kommandierung.

» Szenario		» Anlage und Modell		» Emissionsdaten		» Meteorologie		» Rechnung Starten		
Emissionsdaten: manuelle Eingabe										
Freisetzungphase: 1						Nuklidvektor (Bq)				
Beginn [tt.mm.jj hh:mm]	19.04.2013 15:00					Nuklid	Aktivität			
Dauer [hh:mm]	01:00					Am241	1.80E+09			
Emissionsort	Kamin		150			Ba140	5.07E+12			
Nuklidzusammensetzung	Inventar					Ce141	4.72E+12			
Nuklidgruppe				Leitnuklid			Ce143	2.90E+12		
Edelgas	1E18	Xe 133			<input type="button" value="Zurücksetzen"/>	Ce144	2.97E+12			
Iod		I 131		1E15	<input type="button" value="Zurücksetzen"/>	Cm242	3.66E+11			
Aerosole	1E14	Cs 137			<input type="button" value="Zurücksetzen"/>	Cm244	1.44E+10			
Iodverteilung	Iodverteilung bearbeiten									
Einheit	<input checked="" type="radio"/> Bq <input type="radio"/> Bq/s <input type="radio"/> Bq/h									
<input type="button" value="« Vorige Phase"/>			<input type="button" value="Nächste Phase >>"/>				<input type="button" value="Nuklidvektor Berechnen"/>			
<input type="button" value="« Zurück"/> <input type="button" value="Weiter »"/> <input type="button" value="Abbrechen"/>										

Abbildung 5.3-3 Konfiguration der Emissionsdaten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit zum Import eines Quellterms (Q-Pro-Format)..

» Szenario		» Anlage und Modell		» Emissionsdaten		» Meteorologie		» Rechnung Starten	
Zeitschritt	Beginn	Windrichtung [grad]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Messhöhe [m]	Diffusionskategorie	Niederschlag [mm]	Zeile als Vorlage auswählen...	... kopiere nach Zeile:	
1	19.04.2013 15:00	120	6	10	D	0	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
2	19.04.2013 16:00	120	5	10	C	0	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
3	19.04.2013 17:00	120	5	10	C	0	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
4	19.04.2013 18:00	145	7	10	D	1.3	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
5	19.04.2013 19:00	145	7	10	D	1.3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	19.04.2013 20:00	145	7	10	D	1.3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	19.04.2013 21:00	145	7	10	D	1.3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	19.04.2013 22:00	145	7	10	D	1.3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	19.04.2013 23:00	145	7	10	D	1.3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	20.04.2013 00:00						<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
11	20.04.2013 01:00						<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
12	20.04.2013 02:00						<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Alle auswählen / Auswahl aufheben

Abbildung 5.3-4 Manuelle Konfiguration der Meteorologie (alternativ können Messdaten oder Vorhersagedaten aus COSMO-EU oder COSMO-DE verwendet werden).

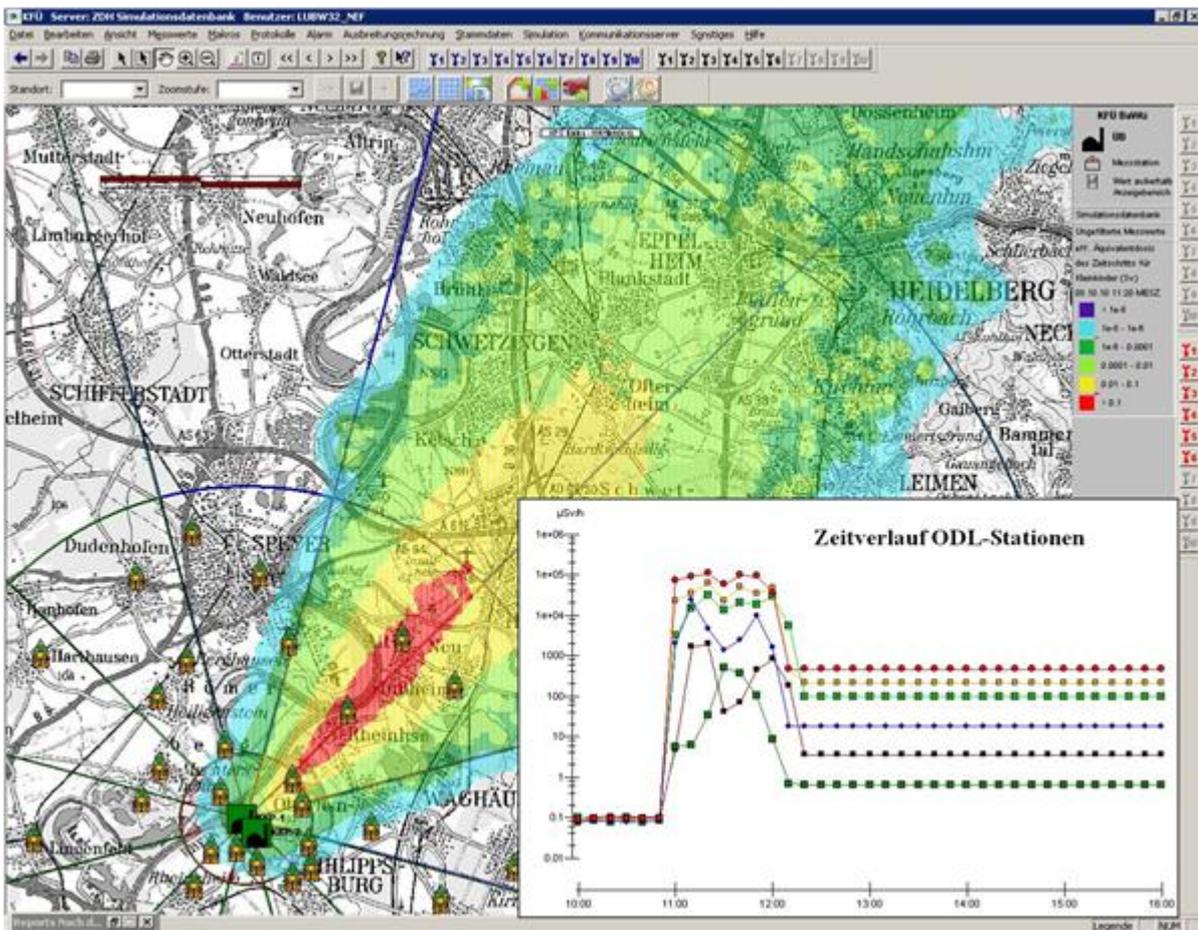


Abbildung 5.3-5 ABR-Darstellung (hier effektive Äquivalentdosis Kleinkinder). Für jeden Punkt in der Karte ist die Auskopplung von Zeitreihen der ABR-Ergebnisse möglich.

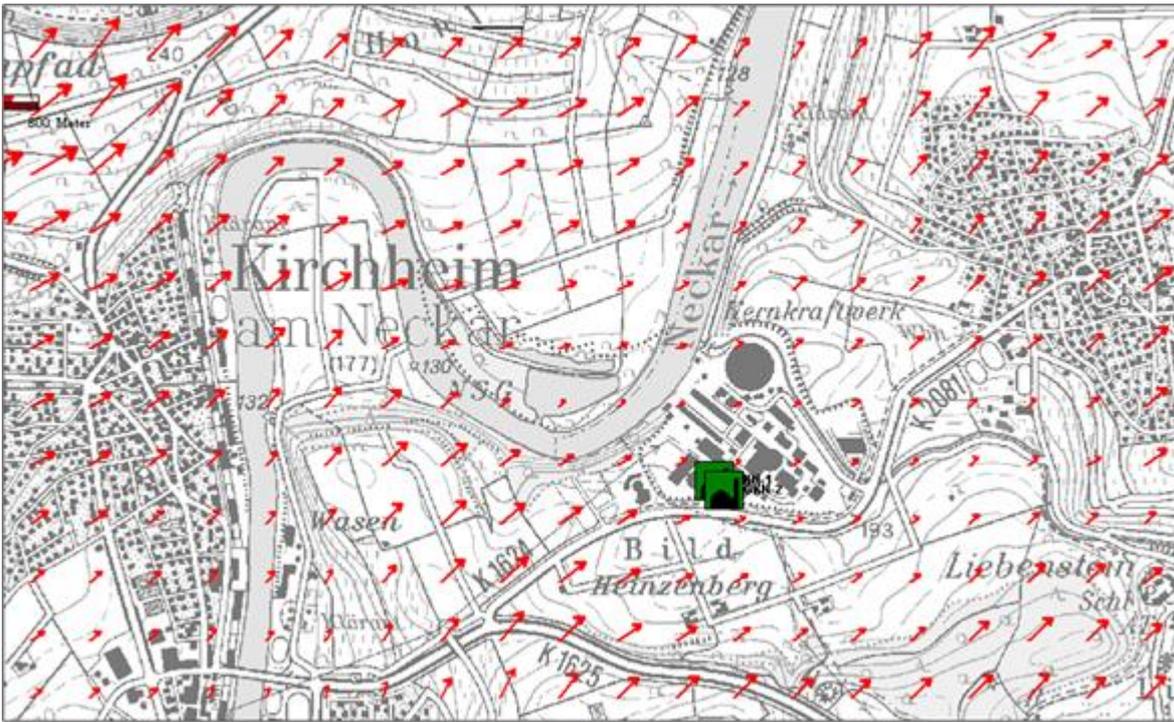


Abbildung 5.3-6 Darstellung eines in der ABR gerechneten massenkonsistenten Windfeldes. (Standort GKN). Gezeigt ist eine Höhenschicht.

5.4 LPDM

5.4.1 Systemübersicht

Name des Systems	DWD-LPDM
Kurze Beschreibung <i>(Wichtigste Eigenschaften in Stichworten)</i>	Das Lagrangesche Partikel-Dispersions-Modell (LPDM) ist konzipiert, die Verfrachtung von Materie aus punktförmigen Quellen zu simulieren. Die emittierte Stoffmenge wird durch eine große Anzahl von massenbehafteten Partikel (z.B. 1 000 000) repräsentiert, deren Transport und Dispersion in der Atmosphäre das Modell berechnet. Für die Berechnung der Partikelbahnen werden der dreidimensionale Windvektor und Parameter, die den Turbulenzzustand der Atmosphäre beschreiben, verwendet. Die Diffusion wird dabei mit der "Monte Carlo"-Technik simuliert. Der radioaktive Zerfall sowie die trockene und nasse Deposition bewirken eine Reduktion der Massen der einzelnen Partikel. Im Falle eines kerntechnischen Ereignisses können mit einer 9-Komponenten-Version Rechnungen mit vereinbarten Leitnucliden (z.B. I-131, Cs-137) durchgeführt und die Ergebnisse über das I-MIS/RODOS-Netz an andere für die Radioaktivitätsüberwachung zuständige Bundesbehörden weitergeleitet werden. Im Rahmen einer WMO-Vereinbarung sind LPDM-Rechnungen auch Bestandteil eines Backtracking-Verfahrens der CTBTO zur Überwachung des Kernwaffenteststopps.
Modelltyp <i>(z.B. Simulationssystem mit diagnostischem Strömungsfeld und Lagrange-Partikel Modell)</i>	Lagrangesche Partikeldispersionsmodell, das auf Basis der Daten der numerischen Wettervorhersagemodelle des DWDs gerechnet wird.
Entwickler/Hersteller	Deutscher Wetterdienst (DWD).
Ansprechpartner <i>(mit E-Mail Adresse)</i>	Hubert Glaab (hubert.glaab@dwd.de)
Verfügbarkeit <i>(Rechte für Vertrieb des Systems; wie kann das System beschafft werden; Kosten für Inbetriebnahme und Nutzung)</i>	Das System ist für die NWV-Umgebung des DWD konzipiert und entwickelt worden. Eine potentielle Abgabe kann in Absprache mit dem DWD erfolgen.
Einsatzzweck <i>(z.B. Unterstützung Krisenstab, Forschung)</i>	DWD ist durch das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) beauftragt, im Falle von Unfällen in kerntechnischen Anlagen

	nischen Anlagen, Prognosen für die radioaktive Verfrachtung in der Atmosphäre durchzuführen. Das Ausbreitungsmodell LPDM zur quantitativen Vorhersage von Konzentrationen und Ablagerungen am Boden.
Anwendungsbereich <i>(Nahbereich, Fernbereich)</i>	Nah- und Fernbereichsausbreitung kontinental bis globale Skala.
Wichtigste Aufgaben, z.B. <i>Erstellung radiologische Lage, Vorbereitung von Notfallübungen)</i>	Die die Ergebnisse werden im Ereignisfall, sowie zu Notfallübungs- und Forschungszwecken über das I-MIS/RODOS-Netz an andere für die Radioaktivitätsüberwachung zuständige Bundesbehörden weitergeleitet werden.
Anwenderkreis <i>(Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden)</i>	Hauptabnehmer der Ergebnisse sind die Behörden des Bundes (BMU, BfS) im Rahmen von IMIS und RODOS.
Export-Schnittstellen zu anderen Systemen <i>(Einbettung in andere Systeme, z.B. großräumige Modelle oder auch Systeme im Rahmen des Katastrophenschutzes)</i>	Schnittstellen existieren zu IMIS und RODOS zur Abgabe der Ergebnisse aus der LPDM-Fernbereichsrechnungen. Zudem können die RODOS-Nahbereichsergebnisse für die weitreichenden LPDM-Ausbreitungsrechnungen importiert werden.
Hardware-Anforderungen <i>(CPU, Speicher, Platten)</i>	Das Modell benötigt Rechner im Hochleistungsbe- reich (HPC). z.Z. NEX-SX9 (DWD), CRAY-XT4(Meteo Schweiz)
Betriebssysteme <i>(Unix/Linux/Windows mit genauen Versionsbezeichnungen)</i>	Unix/Linux-Umgebung (z.Z. Linux 2.6.16.60-0.69.1 bzw. NEC-SUPER-UX)
Typische Rechenzeiten für eine Simulation mit 24 Stunden Simulationszeit bei einer Zeitschrittweite von 60 Minuten <i>(mit Angabe der HW-Umgebung und Anzahl Maschinen)</i>	Ca. 20 Minuten Rechenzeit auf NEC-SX9 (421*461*50) Gitterpunkte in der COSMO-DE-Version
Verfügbare Ergebnisreports <i>(welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse liegen nach Ablauf der Rechnung vor? Z.B. Windfeld, Konzentration, Deposition, Dosis)</i>	Konzentration, Trocken- und Nass-Deposition (nuklid-spezifisch), Regen, Schnee, atmosphärischer Widerstand, ggf. weitere NWV-Daten (z. B. Wind, Temperatur, Feuchte, Druck, Geopotential).
Datenvolumen aller Ergebnisreports pro Zeitschritt <i>(mit Angabe der Maschenzahl)</i>	Ca. 75 MB pro Stunde (COSMO-DE-Version, unkomprimiert, Datenkompression bis etwa Faktor 10 möglich).

5.4.2 Modellgebiete und verwendete(s) Gitter

Verwendete Koordinatensysteme <i>(kartesisch, geländefolgend)</i>	(rotiertes) geographisches Gitter mit geländefolgenden Vertikalkoordinaten.
Verwendetes Gitter <i>(Auflösung, äquidistant oder variable Maschengröße (Nesting))</i>	Horizontal äquidistant: 0,025° (ca. 2,8 km).
Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Verwendete Geländemodelle <i>(z.B. SRTM)</i>	NOAA-GLOBE-Daten für Orographie (1 km); FAO-Bodendaten.
Horizontale und vertikale Auflösung; Anzahl Maschen	Horizontal: 421*461; Vertikal: 50 Schichten.
Zeitliche Auflösung <i>(typische Zeitschrittweiten)</i>	60 s.
Zur Zeit konfigurierte Standorte	Innerhalb des Modellgebiets (Deutschland und Umgebung) frei wählbar.
Kann ein zusätzlicher Standort frei gewählt werden? <i>z.B. für Transportunfall mit radioaktiven Stoffen, dirty bomb Ereignis</i> <i>Siehe hierzu auch S. 10 (Emissionsorte frei wählbar)</i>	Ja (s.o.).

5.4.3 Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten

Schnittstellen und Eingabeformate <i>(wie erfolgt die Kommandierung (manuell bzw. Comandfile(s) u.o. Oberfläche) und Speicherung der verwendeten Eingangsdaten?)</i> <i>Details in den folgenden Punkten</i>	Manuelle Eingabe über Menüoberfläche; Optional auch automatisiert mit importierten Inputdaten.
Emissionsdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen (z.B. KFÜ): siehe auch Abschnitt Quellterm)</i>	IMIS: manuelle bzw. optional auch automatisierte Eingabe. RODOS: Automatischer Import der Nahbereichsrechnungsergebnisse.

Meteorologische Messdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen)</i>	Nutzung der NWV-Datenassimilationsergebnisse.
Wetterprognosen <i>(Welche Möglichkeiten für Vorhersagen bestehen, z.B. Modelle des DWD?)</i>	Direkte Nutzung der DWD-NWV-Prognosen.

5.4.4 Behandlung des Quellterms

Inventarbestimmung	
Referenzinventare <i>(z.B. Leitfaden Fachberater Strahlenschutz)</i>	Entfällt.
Modellierung der Abhängigkeit des Inventars von Betriebsparametern <i>(Berücksichtigung von Betriebszeit, Stillstandszeit und Abklingzeit)</i>	Entfällt.
Berücksichtigung des Zerfalls bis zur Freisetzung <i>(ja/nein)</i>	Nein.
Freisetzungsteile	
Unterteilung in Stoffkategorien (Aerosol, Gasförmig, gebunden) Insbes. Aufteilung Iod <ul style="list-style-type: none"> Elementar Organisch gebunden Aerosolgebunden Anzahl der freigesetzten Nuklide	Standard : 9 Nuklide (z.Z. bis 15 Nuklide erweiterbar); Jod-Aufteilung: elementar, organisch und aerosol gebunden.
Modellierung der Freisetzungsteile für die Nuklide und Annahmen für den Nuklidvektor <i>(z.B. Bezug auf Unfallszenario)</i>	Entfällt.
Schnittstellen für Quellterm-übernahme <i>(z.B. QPRO der GRS, KFÜ-Daten)</i>	IMIS: Manuell bzw. automatisiert über BfS-Inputdatei; RODOS: Automatisierter Import der Nahbereichsrechnungsergebnisse.
Emission	

Minimal und maximal mögliche Freisetzungsdauer (in den installierten Systemen)	Nicht limitiert (Momentane Freisetzung möglich).
Emissionsorte frei wählbar (<i>ja/nein, s. a. Abschnitt zu Modellgebiet</i>)	Ja.
Punktquelle (<i>ja/nein</i>)	Ja.
Flächenquelle (<i>ja/nein</i>)	Ja (z.B. horizontaler Puff bzw. vertikale Linienquelle).
Volumenquelle (<i>ja/nein</i>)	Ja (3D-Puff).
Mehrere Emissionsorte mit anderen Nuklidvektoren kombinierbar (<i>ja/nein</i>)	Ja.
Mehrere Emissionsphasen (<i>ja/nein</i>)	Ja.
Berücksichtigung Freisetzungsbedingungen (Kamin, Explosion, Brand) (Ziel: Bestimmung der effektiven Freisetzungshöhe; Welche Möglichkeiten bietet das Modell hier?)	Manuelle Eingabe von effektiven Freisetzungshöhen bzw. automatische Übernahme (RODOS).
Berücksichtigung Beeinflussung durch Bauwerke <i>Wenn ja, wie?</i>	
Abgasfahnenüberhöhung <i>Wenn ja, wie?</i>	Nein.
Kühlturmeinfluss <i>Wenn ja, wie?</i>	Nein.

5.4.5 Strömungsmodell(e)

Name des Modells (<i>falls Unterschied zu Systemname</i>)	COSMO-Modell
Art des Modells <i>(z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld)</i>	Numerisches Wettervorhersagemodelle des DWD: COSMO-EU/DE (nichthydrostatische regionale Ausschnittsmodelle).

	Optional: GME (globales Modell, hydrostatisch).
Kurze Beschreibung; <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall sollten die verwendeten Änderungen gegenüber Literatur benannt werden; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Beschreibung des COSMO-Modells (Baldauf, M. et al, 2009, siehe [47]).
Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Entfällt.
Verwendete Eingangsdaten <i>(z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder)</i>	Es werden die dreidimensionalen Wind- und –Turbulenzdaten der DWD-NVW-Modelle benutzt.
Vertikale Windprofile <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	S.o.
Eingabe geostrophischer Wind erforderlich <i>(ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?)</i>	Nein.
Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Es werden die räumlich inhomogenen Bodenparameter (u.a. Rauigkeitslängen) der NVW-Modelle verwendet.

5.4.6 Ausbreitungsmodell

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	COSMO-LPDM.
Art des Modells <i>(z.B. Partikelmodell)</i>	Lagrangesches Partikel-Dispersions-Modell (LPDM).
Kurze Beschreibung <i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	LPDM-Modellbeschreibung und Evaluierung (Glaab, H. et al, 1998, siehe Literaturliste Nr. [48]).
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	LPDM-Parametrisierungen bzw. Approximationen (Glaab, H. et al, 1998, siehe Literaturliste Nr. [48]).

Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; <i>Variation Partikelzahl über Eingabe möglich (ja/nein)</i>	Partikelanzahl pro Zeitschritt als Funktion der effektiven Emissionsdauer (maximal 1 000 000).
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Lagrangescher Turbulenzenergieansatz (siehe Literaturliste Nr. [48][49][52]).
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja, Nutzung der Bodenparameter aus dem antreibenden NWV-Modell.
Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Räumlich und zeitlich inhomogene Turbulenzenergieansatz unter Verwendung der entsprechenden Größen aus den NWV-Modellprognosen (Mellor and Yamada, 1974, siehe Literaturliste Nr. [52]).
Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen	Nuklidliste nach IMIS/RODOS-Vereinbarungen.
Partikelgrößen für Iod, Aerosole <i>(evtl. mehrere Angaben möglich)</i>	Variation der Partikelgrößen optional.
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein.
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden <i>(ja/nein)</i>	Nein.
Deposition	
Trockene Deposition	
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Nach AVV-IMIS, 1995 (Siehe Literaturliste Nr. [51])
Depositionsgeschwindigkeiten	

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Edelgas	-	
	Iod (elementar)	0,01 m/s	
	Iod (organisch)	0,005 m/s	
	Aerosole	0,0015 m/s	
Berücksichtigung Resuspension <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.		
Berücksichtigung Interzeption <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.		
Nasse Deposition			
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Nach AVV-IMIS, 1995. (Siehe Literaturliste Nr. [51] und [49])		
Washout <i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Washout-Koeffizienten berechnet folgenden tabellarischen Werten		
		Λ_0	κ
	Edelgas	0	
	elementares Iod	7,0E-5	0,8
	organisch gebundenes Iod	7,0E-7	0,8
	Aerosole	3,4E-5	0,59
Rainout <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Simulation analog zu Washout.		
Schnee <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Analog zu Rain-/Washout unter Berücksichtigung der Experimentresultate von Sparmacher et al. (1993, Literaturstelle Nr. [53]).		
Feuchte Deposition durch Nebel/Tau	Nein.		

<p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	
<p>Berücksichtigung Interzeption (<i>wenn ja, dann kurze Beschreibung</i>)</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Nein.
<p>Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag</p> <p><i>(z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Verwendung der Niederschlagsmengen (Regen, Schnee) aus den NWV-Simulationen unter Nutzung der assimilierten Radardaten.

5.4.7 Dosisberechnung

Die Dosisberechnung ist in LPDM nicht vorgesehen.

5.4.8 Berichte zur Anwendung von LPDM

Beispiele zur Anwendung von LPDM finden sich in den Referenzen [50][54][55][56][57][58].

5.5 ADPIC

5.5.1 Systemübersicht

<p>Name des Systems</p>	<p>CG-MATHEW/ADPIC</p> <p>CG-MATHEW: Conjugate-Gradient Mass-Adjusted THrEedimensional Wind field;</p> <p>ADPIC: Atmospheric Diffusion Particle-in-Cell.</p>
<p>Kurze Beschreibung <i>(Wichtigste Eigenschaften in Stichworten)</i></p>	<p>Lagrange-Partikelmodell mit Windfeldprozessor und Dosismodul. Auf der Basis eines Quelltermes werden mit aktuellen meteorologischen Prognosedaten (Windfeld und Niederschlagsintensität am Standort) die Luftkonzentrationen und Bodenkontaminationen für jeden Zeitschritt simuliert. Darauf aufbauend werden die daraus resultierenden Dosen berechnet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • aktuelle Meteodaten (Windfeld im gesamten Rechengebiet und Niederschlagsintensität am Standort), • Windfeldprozessor zur Erzeugung eines massenkonsistenten, kleinmaschigen Windfeldes, • Ausbreitungssimulation durch numerische Lösung der Advektions-Diffusionsgleichung, • Berücksichtigung der Reduktion der Wolke durch rad. Zerfall, nasse Auswaschung, trockene Deposition. <p>Das Modell CG-MATHEW/ADPIC wurde extensiv auf die Bedürfnisse und Randbedingungen der Schweiz angepasst. Dabei wurde eine Grosszahl der möglichen Optionen fixiert und stehen dem Benutzer nicht mehr zur Verfügung. Die untenstehenden Angaben beziehen sich daher immer auf die „Schweizer Implementation“ und nicht auf die originale Distribution des Programms.</p>
<p>Modelltyp <i>(z.B. Simulationssystem mit diagnostischem Strömungsfeld und Lagrange-Partikel Modell)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Massenkonsistentes Windfeldmodell, • Lagrange-Partikelmodell mit Monte Carlo-Methode
<p>Entwickler/Hersteller</p>	<p>Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL).</p>
<p>Ansprechpartner <i>(mit E-Mail Adresse)</i></p>	<p>Wird nicht mehr weiterentwickelt.</p>
<p>Verfügbarkeit <i>(Rechte für Vertrieb des Systems; wie kann das System beschafft werden; Kosten für Inbetriebnahme und Nutzung)</i></p>	<p>Rechte bei LLNL; wird nicht mehr weiterentwickelt.</p>
<p>Einsatzzweck <i>(z.B. Unterstützung Krisenstab, Forschung)</i></p>	<p>Ausbreitungsberechnungen im Ereignisfall, Ausbreitungssimulationen zu Übungszweck, für Parameterstudien und zur statistischen Auswertung der Ergebnisse.</p>

<p>Anwendungsbereich (Nahbereich, Fernbereich)</p> <p>Wichtigste Aufgaben, z.B. Erstellung radiologische Lage, Vorbereitung von Notfallübungen)</p>	<p>Nahbereich bis 32 km Abwinddistanz.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radiologische Lage im Ereignisfall, • Radiologische Lage in Übungen, • Übungsvorbereitung.
<p>Anwenderkreis (Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden)</p>	<p>Aufsichtsbehörde.</p>
<p>Export-Schnittstellen zu anderen Systemen (Einbettung in andere Systeme, z.B. großräumige Modelle oder auch Systeme im Rahmen des Katastrophenschutzes)</p>	<p>ENSI-intern: Darstellung der Routineberechnungen im System MADUK (Messondensystem in der Umgebung der Kernanlagen).</p>
<p>Hardware-Anforderungen (CPU, Speicher, Platten)</p>	<p>ENSI-Hardware: IBM Power 575- System bestehend aus 4 Nodes mit jeweils 32 CPUs des Typs Power6 4.7 GHz und 256 GB RAM. 24" Rack mit Wasserkühlung und direkter CPU-Kühlung. Speicherkapazität: 2 x 70 GB HD mit 10 000 rpm, und 12 x 450 GB HD mit 15 000 rpm. System gekoppelt über 10 GBit/s Ethernet.</p>
<p>Betriebssysteme (Unix/Linux/Windows mit genauen Versionsbezeichnungen)</p>	<p>FORTRAN-Programm, d.h. einsetzbar auf allen Betriebssystemen mit FORTRAN-Compilern.</p>
<p>Typische Rechenzeiten für eine Simulation mit 24 Stunden Simulationszeit bei einer Zeitschrittweite von 60 Minuten (mit Angabe der HW-Umgebung und Anzahl Maschinen)</p>	<p>Ca. 15 min auf der ENSI-Hardware. HW siehe oben.</p>
<p>Verfügbare Ergebnisreports (welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse liegen nach Ablauf der Rechnung vor? Z.B. Windfeld, Konzentration, Deposition, Dosis)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Windfeld, • Konzentrationen bzw. Depositionsmengen, • Dosisraten, • Dosen
<p>Datenvolumen aller Ergebnisreports pro Zeitschritt (mit Angabe der Maschenzahl)</p>	<p>Komprimierte Konzentrationsdateien liegen in der Größenordnung zwischen 40 MB und 80 MB für 129 x 129 x 97 Zellen. Maximales Gitter von 192 x 192 x 129 Zellen liefert Konzentrationsdateien bis zu ca. 150 MB.</p> <p>Zusätzlich pro PDF-Datei (Zeitschritte als separate Blätter der Datei) ca. 2 MB bis 10 MB.</p>

5.5.2 Modellgebiete und verwendete(s) Gitter

<p>Verwendete Koordinaten-</p>	<p>CH-Koordinatensystem, kartesisch.</p>
--------------------------------	--

systeme (kartesisch, geländefolgend)	
Verwendetes Gitter (Auflösung, äquidistant oder variable Maschengröße (Nesting))	Minimale horizontale Auflösung: 250 m. Maximales horizontales Rechengebiet: 64 km. Fünffaches horizontales Nesting mit n Maschen im grössten Gitter und jeweils n/2 Maschen in den inneren vier Gittern. Größtes der inneren vier Gitter besitzt seitliche Ausdehnung von ¼ des grössten Gitters; weitere innere Gitter besitzen jeweils eine seitliche Ausdehnung von ½ des darüberliegenden Gitters.
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein)	Ja.
Verwendete Geländemodelle (z.B. SRTM)	DHM25 (Digitales Höhenmodell mit 25 m Auflösung der SwissTopo).
Horizontale und vertikale Auflösung; Anzahl Maschen	Mögliche horizontale Gittermaschenzahlen: 33, 49, 129, 193, 257. Mögliche vertikale Gittermaschenzahlen: 17, 25, 33, 49, 65, 97, 129, 161.
Zeitliche Auflösung (typische Zeitschrittweiten)	Mögliche Zeitschritte: 10 min, 30 min, 60 min.
Zur Zeit konfigurierte Standorte	KKB, KKG, KKL, KKM, PSI.
Kann ein zusätzlicher Standort frei gewählt werden? z.B. für Transportunfall mit radioaktiven Stoffen, dirty bomb Ereignis Siehe hierzu auch S. 10 (Emissionsorte frei wählbar)	Nein.

5.5.3 Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten

Schnittstellen und Eingabeformate (wie erfolgt die Kommandierung (manuell bzw. Commandfile(s) u.o. Oberfläche) und Speicherung der verwendeten Eingangsdaten? Details in den folgenden Punkten	Eingabeoberfläche mit TCL programmiert, weitere Eingabemöglichkeit über Editieren der Input-Textdateien. Eingangsdaten werden in jedem Fall in Textdateien gespeichert. Start der Simulation entweder über Eingabeoberfläche oder über Command Line-Befehl.
--	--

Emissionsdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen (z.B. KFÜ): siehe auch Abschnitt Quellterm)</i>	Manuelle Eingabe oder Einlesen von (vorbereiteten) Textdateien. Übernahme eines Quellterms, welcher basierend auf Anlageparameterwerten erstellt wurde (s.u., Stichwort ADAM-STEP).
Meteorologische Messdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen)</i>	Verwendung von Prognose- und Diagnosedaten der MeteoSchweiz (Ausbreitungsrechnung mit Simulationszeit in Vergangenheit verwendet Diagnosedaten, bei Simulationszeit in Zukunft Prognosedaten). Keine Handeingabe möglich.
Wetterprognosen <i>(Welche Möglichkeiten für Vorhersagen bestehen, z.B. Modelle des DWD?)</i>	Meteoprognosen der MeteoSchweiz mit COSMO-2. Diese werden dem ENSI alle 3 h geliefert und decken den Zeitraum der aktuellen Stunde bis und mit 24 h in die Zukunft mit einem Zeitschritt von 10 min ab.

5.5.4 Behandlung des Quellterms

Inventarbestimmung	
Referenzinventare <i>(z.B. Leitfaden Fachberater Strahlenschutz)</i>	Standardsatz von 60 bzw. 100 Nukliden hinterlegt. Handeingabe von Nukliden und deren relativer Aktivitätshäufigkeit ebenfalls möglich.
Modellierung der Abhängigkeit des Inventars von Betriebsparametern <i>(Berücksichtigung von Betriebszeit, Stillstandszeit und Abklingzeit)</i>	Berücksichtigung von Abklingzeit.
Berücksichtigung des Zerfalls bis zur Freisetzung <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Freisetzungsanteile	
Unterteilung in Stoffkategorien (Aerosol, Gasförmig, gebunden) Insbes. Aufteilung Iod <ul style="list-style-type: none"> Elementar Organisch gebunden Aerosolgebunden 	Aufteilung der Abgaberaten und -höhen in Edelgase, Halogene und Aerosole. Jodaufteilung in elementare, organische und aerosolförmige Spezies.
Anzahl der freigesetzten Nuklide	Maximum 100 Nuklide.

Modellierung der Freisetzungsanteile für die Nuklide und Annahmen für den Nuklidvektor (z.B. Bezug auf Unfallszenario)	Festlegung der Freisetzungsanteile von Aerosol-Nuklidgruppen (Te, Sr, Mo, Ru, La, Ce) relativ zur Cs-Gruppe.
Schnittstellen für Quellterm-übernahme (z.B. QPRO der GRS, KFÜ-Daten)	Übernahme eines Quelltermes von ADAM-STEP. ADAM (Accident Dignostics, Analysis and Management) ist ein von der PSA betriebener Code zur Analyse des Anlagezustandes basierend auf Anlageparametern und ermöglicht mit dem STEP-Modul bei Kernschaden die Berechnung eines Quelltermes.
Emission	
Minimal und maximal mögliche Freisetzungsdauer (in den installierten Systemen)	Minimale Freisetzungsdauer: 1 min. Maximale Freisetzungsdauer: 96 h. Jeweils pro Intervall; maximal fünf aneinander angrenzende Intervalle möglich.
Emissionsorte frei wählbar (ja/nein, s. a. Abschnitt zu Modellgebiet)	Nein; nur CH-KKW-Standorte vorgesehen.
Punktquelle (ja/nein)	Nein.
Flächenquelle (ja/nein)	Nein.
Volumenquelle (ja/nein)	Ja (Gaussförmige Quelle mit ident. Ausdehnung in x-, y- und z-Richtung).
Mehrere Emissionsorte mit anderen Nuklidvektoren kombinierbar (ja/nein)	Zwei Quellen mit separaten Nuklidvektoren und pro Quelle, Intervall und Nuklidgruppe variabler Höhe.
Mehrere Emissionsphasen (ja/nein)	Ja (maximal 5 aneinander angrenzende Intervalle).
Berücksichtigung Freisetzungsbedingungen (Kamin, Explosion, Brand) (Ziel: Bestimmung der effektiven Freisetzungshöhe; Welche Möglichkeiten bietet das Modell hier?)	Abgabehöhe h pro Nuklidgruppe und Intervall wählbar: $0 \text{ m} \leq h \leq 1\,000 \text{ m}$. Thermische Überhöhung pro Quelle festlegbar: Entweder <ul style="list-style-type: none"> • Kaminradius bis 100 m • Kamin-Austrittstemperatur bis 1 000 K • Kamin-Austrittsgeschwindigkeit bis 100 m/s oder <ul style="list-style-type: none"> • Thermische Leistung am Abgabeort bis 1 000 MW.

Berücksichtigung Beeinflussung durch Bauwerke <i>Wenn ja, wie?</i>	Nein.
Abgasfahnenüberhöhung <i>Wenn ja, wie?</i>	Ja, s.o.
Kühlturmeinfluss <i>Wenn ja, wie?</i>	Nein.

5.5.5 Strömungsmodell(e)

Name des Modells (<i>falls Unterschied zu Systemname</i>)	MEDIC/CG-MATHEW (Conjugate-Gradient Mass-Adjusted Three-dimensional Wind field).
Art des Modells (<i>z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld</i>)	Massenkonsistentes Windfeld.
Kurze Beschreibung; (<i>evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall sollten die verwendeten Änderungen gegenüber Literatur benannt werden; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts</i>)	Dreidimensionales, meteorologisches Datenmanipulationsmodell, welches ein massenkonsistentes Windfeld aus den Meteo-Eingabedaten erzeugt. MEDIC erzeugt aus Meteo-Eingabedaten ein dreidimensionales, inter- bzw. extrapoliertes Windfeld. CG-MATHEW liest den MEDIC-Output und passt diesen an um Massenkonsistenz zu erreichen.
Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse (<i>Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren</i>)	
Verwendete Eingangsdaten (<i>z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder</i>)	Prognostische oder diagnostische Winddaten an den Standorten der Messsonden (CN-MET-Stationen).
Vertikale Windprofile (<i>Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren</i>)	Dito.
Eingabe geostrophischer Wind erforderlich (<i>ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?</i>)	Nein.
Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen (<i>Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren</i>)	Nein.

5.5.6 Ausbreitungsmodell

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-in-Cell).
Art des Modells <i>(z.B. Partikelmodell)</i>	Lagrange-Partikelmodell.
Kurze Beschreibung <i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Numerischer, dreidimensionaler Teilchen-Diffusionscode, welcher zeitabhängige Verteilungen der Teilchen berechnet. Numerische, diskrete (d.h. gittergestützte) Lösung der 3d, inkompressiblen Eulerschen Advektions-Diffusionsgleichung mittels Monte Carlo-Methode (Bezeichnung: RDM = Random Displacement Method).
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Lagrange-Ansatz zur Lösung der Advektions-Diffusionsgleichung mittels stochastischen Differentialgleichungen. Annahme: Raum- und Zeitskala der Turbulenz ist viel kleiner als Raum- und Zeitskala der Diffusionsrechnung. Literatur:[59][60][61][62].
Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; Variation Partikelzahl über Eingabe möglich <i>(ja/nein)</i>	Partikelzahl dynamisch beim Programmstart gewählt und fixiert. Keine Steuerung über Eingabeoberfläche.
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Wirbeldiffusivität als Turbulenzgröße; verschiedene Parametrisierungen wählbar. Beim ENSI sind die folgenden Optionen fixiert: Horizontal: Horizontale Wirbeldiffusivität $K_{\{H\}} = K_{\{x\}} = K_{\{y\}}$ als Funktion der Zeit; berechnet aus Draxlers Sigma-Ypsilon basierend auf Input-Daten für sigma-theta und (Option sigh_sigtheta). Siehe: [63]. Vertikal: Vertikale Wirbeldiffusivität $K_{\{z\}}$ als Funktion der Höhe z; berechnet aus Mischungsschicht-Ähnlichkeitstheorie als Funktion der Reibungsgeschwindigkeit, Mischungsschichthöhe, Obukhov-Länge und Höhe (Option kz_simthry). Siehe auch: [64].
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.

<p>Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Ja, s.o. unter „Verwendete Turbulenzmodellierung“.</p>
<p>Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen</p>	<p>Edelgase: ar-37 ar-39 ar-41 kr-79 kr-81 kr-83m kr-85 kr-85m kr-87 kr-88 kr-88@d kr-89 kr-90 xe-122 xe-123 xe-125 xe-127 xe-129m xe-131m xe-133 xe-133m xe-135 xe-135m xe-137 xe-138 rn-218 rn-219 rn-220 rn-222.</p> <p>Jode: br-77 br-80 br-80m br-82 br-83 br-84 br-85 i-122 i-123 i-124 i-125 i-126 i-128 i-129 i-130 i-131 i-132 i-133 i-134 i-135 i-136.</p> <p>Aerosole: h-3 be-7 be-10 c-11 c-14 n-13 n-16 o-15 f-18 na-22 na-24 mg-27 mg-28 al-26 al-28 si-31 si-32 p-32 p-33 s-35 cl-36 cl-38 k-40 k-42 k-43 ca-41 ca-45 ca-47 ca-49 sc-44 sc-46 sc-46m sc-47 sc-48 sc-49 ti-44 ti-45 ti-51 v-48 v-49 v-52 cr-49 cr-51 mn-52 mn-52m mn-53 mn-54 mn-56 mn-57 fe-52 fe-55 fe-59 co-56 co-57 co-58 co-58m co-60 co-60m co-61 ni-56 ni-57 ni-59 ni-63 ni-65 cu-61 cu-62 cu-64 cu-67 zn-62 zn-65 zn-69 zn-69m ga-66 ga-67 ga-68 ga-72 ge-68 ge-71 ge-77 as-72 as-73 as-74 as-76 as-77 se-73 se-75 se-79 rb-81 rb-82 rb-83 rb-84 rb-86 rb-87 rb-88 rb-89 rb-90 rb-90m sr-82 sr-85 sr-85m sr-87m sr-89 sr-90 sr-90@d sr-91 sr-92 sr-93 y-86 y-87 y-88 y-90 y-90m y-91 y-91m y-92 y-93 zr-86 zr-88 zr-89 zr-93 zr-95 zr-97 nb-90 nb-91 nb-91m nb-92 nb-92m nb-93m nb-94 nb-94m nb-95 nb-95m nb-96 nb-97 nb-97m mo-91 mo-93 mo-99 mo-99@d mo-101 tc-95 tc-95m tc-96 tc-96m tc-97 tc-97m tc-98 tc-99 tc-99m tc-101 ru-97 ru-103 ru-105 ru-106 ru-106@d rh-103m rh-105 rh-105m rh-106 pd-103 pd-107 pd-109 ag-106m ag-108 ag-108m ag-109m ag-110 ag-110m ag-111 cd-109 cd-111m cd-113 cd-113m cd-115 cd-115m cd-117 cd-117m in-111 in-113m in-114 in-114m in-115 in-115m in-116m in-117 in-117m sn-113 sn-117m sn-119m sn-123 sn-125 sn-126 sb-117 sb-122 sb-124 sb-125 sb-126 sb-126m sb-127 sb-129 te-121 te-121m te-123 te-123m te-125m te-127 te-127m te-129 te-129m te-131 te-131m te-132 te-132@d te-133 te-133m te-134 cs-126 cs-129 cs-131 cs-132 cs-134 cs-134m cs-135 cs-136 cs-137 cs-137@d cs-138 cs-139 ba-131 ba-133 ba-133m ba-135m ba-137m ba-139 ba-140 ba-140@d ba-141 ba-142 la-140 la-141 la-142 ce-139 ce-141 ce-143 ce-144 ce-144@d pr-142 pr-143 pr-144 pr-144m nd-147 nd-149 pm-143 pm-144 pm-145 pm-146 pm-147 pm-148 pm-148m pm-149 pm-151 sm-147 sm-151 sm-153 eu-152 eu-152m eu-154 eu-155 eu-156 gd-152 gd-153 gd-159 gd-162 tb-157 tb-160 tb-162 dy-157 dy-165 dy-166 ho-166 ho-166m er-169 er-171</p>

	<p>tm-170 tm-171 yb-169 yb-175 lu-177 lu-177m hf-181 ta-182 w-181 w-185 w-187 w-188 re-182 re-182m re-183 re-184 re-184m re-186 re-187 re-188 os-185 os-190m os-191 os-191m os-193 ir-190 ir-190m1 ir-190m2 ir-192 ir-193m ir-194 ir-194m pt-191 pt-193 pt-193m pt-195m pt-197 pt-197m au-194 au-195 au-195m au-196 au-198 au-199 hg-197 hg-197m hg-203 tl-200 tl-201 tl-202 tl-204 tl-207 tl-208 tl-209 tl-210 pb-203 pb-204m pb-205 pb-209 pb-210 pb-211 pb-212 pb-214 bi-206 bi-207 bi-208 bi-210 bi-211 bi-212 bi-213 bi-214 po-209 po-210 po-211 po-213 po-214 po-215 po-216 at-211 at-217 fr-221 fr-223 ra-222 ra-223 ra-224 ra-225 ra-226 ra-228 ac-225 ac-227 ac-228 th-226 th-227 th-228 th-229 th-230 th-231 th-232 th-233 th-234 pa-230 pa-231 pa-233 pa-234 pa-234m u-230 u-231 u-232 u-233 u-234 u-235 u-236 u-237 u-238 u-239 u-240 np-235 np-236 np-236m np-237 np-238 np-239 np-240 np-240m pu-236 pu-237 pu-238 pu-239 pu-240 pu-241 pu-242 pu-243 pu-244 pu-245 pu-246 am-241 am-242 am-242m am-243 am-244 am-245 am-246 cm-242 cm-243 cm-244 cm-245 cm-246 cm-247 cm-248 cm-249 cm-250 bk-249 bk-250 bk-251 cf-248 cf-249 cf-250 cf-251 cf-252 cf-253 cf-254 es-253 es-254 es-254m es-255 fm-254 fm-255.</p> <p>@d zählt die Tochternuklide bei der relativen Häufigkeit hinzu.</p>
<p>Partikelgrößen für Iod, Aerosole (<i>evtl. mehrere Angaben möglich</i>)</p>	<p>Log-Normalverteilung mit Median = 1,0, Maximum = 1 000, Minimum = 0,001 und geometrischer Standardabweichung = 5,0 für eine Partikeldichte von 1 000 kg/m³.</p>
<p>Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports (<i>ja/nein</i>)</p>	<p>Ja.</p>
<p>Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports (<i>ja/nein</i>)</p>	<p>Ja.</p>
<p>Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden (<i>ja/nein</i>)</p>	<p>Ja.</p>
<p>Deposition</p>	
<p>Trockene Deposition</p>	
<p>Dokumentation Verfahren und Parameter (<i>evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts</i>)</p>	<p>Gravitationelle Ablagerung und Deposition aufgrund Teilchenbewegung in unterster Luftschicht.</p>

	<p>Gravitationelle Ablagerung: Stokes-Gesetz oder Methode nach [65]. Letztere wird in Bereichen verwendet, in denen das Stokes-Gesetz nicht gültig ist.</p> <p>Deposition: Abhängigkeit der Ablagerungsgeschwindigkeit von Partikelgröße gemäß [66].</p>															
<p>Depositionsgeschwindigkeiten</p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Gemäß Richtlinie ENSI-G14 [67]</p> <table border="1"> <tr> <td>Edelgas</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Iod (elementar)</td> <td>1E-2 m/s</td> </tr> <tr> <td>Iod (organisch)</td> <td>1E-2 m/s</td> </tr> <tr> <td>Aerosole</td> <td>1,5E-3 m/s</td> </tr> </table>	Edelgas	-	Iod (elementar)	1E-2 m/s	Iod (organisch)	1E-2 m/s	Aerosole	1,5E-3 m/s							
Edelgas	-															
Iod (elementar)	1E-2 m/s															
Iod (organisch)	1E-2 m/s															
Aerosole	1,5E-3 m/s															
<p>Berücksichtigung Resuspension</p> <p><i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Nein.															
<p>Berücksichtigung Interzeption <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	Nein.															
<p>Nasse Deposition</p>																
<p>Dokumentation Verfahren und Parameter</p> <p><i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i></p>	<p>Im gesamten Simulationsgebiet wird die Regenintensität am Abgabeort angesetzt. Darauf basierend wird mit untenstehender Formel ein Washout-Koeffizient berechnet. Verschiedene Aerosoldurchmesser werden dabei nicht berücksichtigt.</p>															
<p>Washout</p> <p><i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich)</i></p> <p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Washout-Koeffizienten berechnet folgenden tabellari-schen Werten</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Λ_0</th> <th>κ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Edelgas</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>elementares Iod</td> <td>7E-5</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>organisch gebunde-nes Iod</td> <td>7E-5</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Aerosole</td> <td>7E-5</td> <td>0,8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Gemäss Richtlinie ENSI-G14</p>		Λ_0	κ	Edelgas	-		elementares Iod	7E-5	0,8	organisch gebunde-nes Iod	7E-5	0,8	Aerosole	7E-5	0,8
	Λ_0	κ														
Edelgas	-															
elementares Iod	7E-5	0,8														
organisch gebunde-nes Iod	7E-5	0,8														
Aerosole	7E-5	0,8														

	<p>Abhängigkeit von Niederschlagsintensität I_N, Referenz-Niederschlagsintensität I_0 und Korrekturkoeffizient κ:</p> $\Lambda = \Lambda_0 (I_N / I_0)^\kappa$ <p>Werte: $I_0 = 1 \text{ mm/h}$, $\kappa = 0.8$.</p>
<p>Rainout (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Ja; Regenmenge im Rechengebiet identisch zu derjenigen am Standort (keine ortsabhängige Regenintensität).</p>
<p>Schnee (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Nein.</p>
<p>Feuchte Deposition durch Nebel/Tau (ja/nein, wenn ja wie?) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Nein.</p>
<p>Berücksichtigung Interzeption (wenn ja, dann kurze Beschreibung) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Nein.</p>
<p>Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag (z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz) (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Nein.</p>

5.5.7 Dosisberechnung

<p>Gammastrahlung</p>	
<p>Beschreibung Berechnungsverfahren (evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</p>	<p>Keine Gammastrahlung; externe Dosis durch halbumendliches Wolkenmodell berechnet (gemäss Richtlinie ENSI-G14 [67]).</p>
<p>Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Gemäss Richtlinie ENSI-G14 [67] bzw. Strahlenschutzverordnung (SR 814.501) Anhänge 3 und 4 [68].</p>
<p>Berücksichtigung Dosisaufbau</p>	<p>Nein.</p>

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Berücksichtigung Rückstreuung Boden <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung <i>(Literaturverweis)</i>	Gemäss Richtlinie ENSI-G14 [67] bzw. Strahlenschutzverordnung (SR 814.501) Anhänge 3 und 4 [68].
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Bodenstrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Gemäss Richtlinie ENSI-G14 [67].
Behandlung von Integrationszeiten	Integrationszeit = Simulationszeit.
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Richtlinie ENSI-G14 [67] Anhang 8 bzw. Strahlenschutzverordnung (SR 814.501) Anhang 7 [68].
Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Gemäss Richtlinie ENSI-G14 [67].
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Richtlinie ENSI-G14 Anhang 8[67] bzw. Strahlenschutzverordnung (SR 814.501) Anhänge 3 und 4 (Anhang 3: Daten für den operationellen Strahlenschutz; Anhang 4: Dosisfaktoren bei Einzelpersonen der Bevölkerung) [68].

5.5.8 Eingabe- und Ausgabeoberflächen

5.5.8.1 Eingabeoberfläche

Die Eingabe erfolgt über die mit TCL programmierte Oberfläche; die Simulation wird per Knopfdruck gestartet.



Abbildung 5.5-1 Eingabeoberflächen von ADPIC.

5.5.8.2 Ausgabeoberflächen

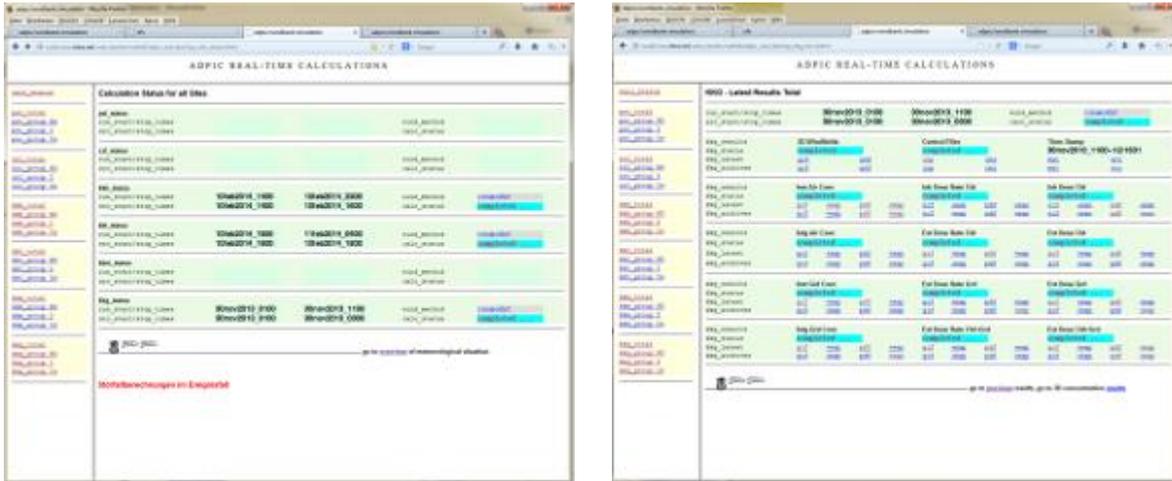


Abbildung 5.5-2 Ausgabeoberflächen von ADPIC: Übersicht Rechenergebnisse.

Die Ergebnisse sind mit zwei möglichen Hintergründen vorhanden: einerseits das bodennahe Windfeld, andererseits die Schweizer Landeskarte. Die Skala wird jeweils dynamisch gewählt, wo bei diejenige Darstellung mit dem Windfeld als Hintergrund eine doppelt so feine Abstufung aufweist wie jene mit der Landeskarte.

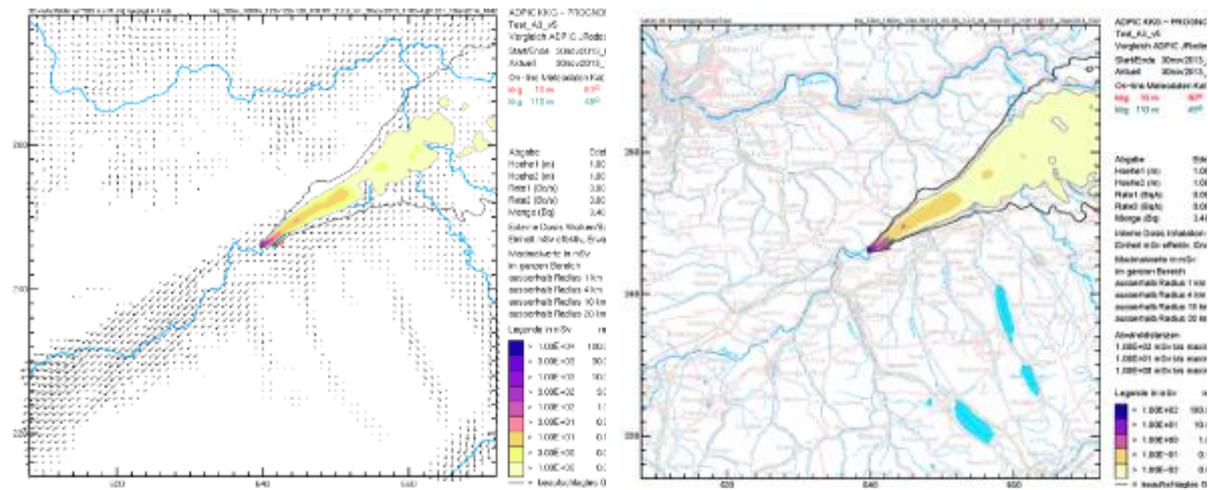


Abbildung 5.5-3 Ausgabeoberflächen von ADPIC: Darstellung Rechenergebnisse.

Die Ergebnisdarstellungen sind sowohl als PDF (mit jedem Zeitschritt als einzelne PDF-Seite) als auch als animierte GIF-Datei verfügbar.

5.6 ARTM

5.6.1 Systemübersicht

Name des Systems	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell (ARTM) mit graphischer Benutzeroberfläche GO-ARTM.
Kurze Beschreibung <i>(Wichtigste Eigenschaften in Stichworten)</i>	<p>Das Programmsystem ARTM [69], [70] berechnet die Ausbreitung von radioaktiven Gasen und Partikeln in der Atmosphäre. Es wurde auf der Basis des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 zur Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung konventioneller Schadstoffe entwickelt [73].</p> <p>AUSTAL2000 ist eine Umsetzung von Anhang 3 der TA Luft vom 24.07.2002 [17]. Das dem Programmsystem zu Grunde liegende Ausbreitungsmodell (Lagrange Partikelmodell) ist in der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 [14] beschrieben.</p> <p>Im Programmsystem ARTM sind folgende Aspekte realisiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verwendung meteorologischer Zeitreihen zur Zeitreihenrechnung; • alle Radionuklide der KTA 1503.1 sowie ergänzende Radionuklide; • beliebig viele Punkt-, Linien-, Flächen- und Volumenquellen; • Abgasfahnenüberhöhung (nach VDI 3782 Blatt 3 [70], VDI 3784 Blatt 2 [71] oder explizit vorgegeben); • trockene und nasse Deposition; • radioaktiver Zerfall; • Gammawolkenstrahlung; • sedimentierende Stäube; • zeitabhängige Emissionsparameter; • Schätzung der statistischen Unsicherheit berechneter Konzentrationen; • automatische Festlegung des Rechnernetzes bzw. von geschachtelten Netzen zur Berücksichtigung der Quell- und Gebäudekonfiguration; • automatische Berechnung der Rauigkeitslänge z_0; • Berechnung der Zeitreihe für frei wählbare Beurteilungspunkte im Rechengebiet; • gegliedertes Gelände; • Vorgabe von Gebäuden als Quader, Zylinder oder in Form einer Rasterdatei; • Berechnung der Gebäudeumströmung mit dem diagnostischen, mesoskaligen Windfeldmodell TALdia [74]; • Verifikation nach VDI 3945 Blatt 3 [14]; • graphische Benutzeroberfläche GO-ARTM (benutzerfreundliche und übersichtliche Ein-

	gabe von ARTM-Parametern, ARTM-Ansteuerung, Darstellung und Auswertung von ARTM-Ergebnissen).
Modelltyp (z.B. Simulationssystem mit diagnostischem Strömungsfeld und Lagrange-Partikel Modell)	Modellsystem zur Berechnung der Ausbreitung von radioaktiven Gasen und Partikeln in der Atmosphäre mit einem Lagrange-Partikelmodell unter Berücksichtigung der Strömungsmodellierung in gegliedertem Gelände bzw. der Gebäudeumströmung mit einem diagnostischen Strömungsmodell.
Entwickler/Hersteller	ARTM: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)mbH, Köln, und Ing.-Büro Janicke, Überlingen. GO-ARTM: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)mbH, Köln. AUSTAL2000 und TALdia: Ing.-Büro Janicke, Überlingen.
Ansprechpartner (mit E-Mail Adresse)	Dr. Cornelia Richter: Cornelia.Richter@grs.de Harald Thielen: Harald.Thielen@grs.de Hans Wildermuth: hwildermuth@bfs.de Dr. Reinhard Martens Reinhard.Martens@netcologne.de
Verfügbarkeit (Rechte für Vertrieb des Systems; wie kann das System beschafft werden; Kosten für Inbetriebnahme und Nutzung)	ARTM und GO-ARTM sind frei verfügbar. ARTM ist eine freie, kostenlose Software, deren Nutzung durch die Bedingungen der jeweils letzten Version der General Public License (GNU-Lizenz) geregelt wird (siehe http://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html). Programmsystem ARTM kann heruntergeladen werden über http://www.grs.de/node/1304 .
Einsatzzweck (z.B. Unterstützung Krisenstab, Forschung)	Anwendung in Genehmigungsverfahren, nicht in Notfällen (gedacht als Ersatz von Gaußfahne in AVV und SBG): Flächendeckende Simulation der atmosphärischen Ausbreitung für <ul style="list-style-type: none"> • betriebliche Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen; über das nachgeschaltete Dosis-Berechnungsmodul DARTM (BfS-Entwicklung) kann resultierende Strahlenexposition berechnet werden (Inhalation, γ-Bodenstrahlung, β- und γ-Submersion sowie Ingestion für die relevanten Personengruppen); • störfallbedingte Freisetzungen; Simulationszeitschrittweite für Meteorologie: 60 Minuten, kürzere Emissionsintervalle werden berücksichtigt.
Anwendungsbereich (Nahbereich, Fernbereich)	Nahbereich (problemabhängig für Quellentfernungen bis etwa 20 km)

<p>Wichtigste Aufgaben, z.B. Erstellung radiologische Lage, Vorbereitung von Notfallübungen)</p>	
<p>Anwenderkreis (Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden)</p>	<p>Aufsichtsbehörden, Gutachter.</p>
<p>Export-Schnittstellen zu anderen Systemen (Einbettung in andere Systeme, z.B. großräumige Modelle oder auch Systeme im Rahmen des Katastrophenschutzes)</p>	<p>Keine.</p>
<p>Hardware-Anforderungen (CPU, Speicher, Platten)</p>	<p>Standard-PC.</p>
<p>Betriebssysteme (Unix/Linux/Windows mit genauen Versionsbezeichnungen)</p>	<p>Es stehen aktuell ausführbare Programme für Windows XP und Windows 7 einschließlich der Quelltexte zur Verfügung. Die Programme sind unter Windows XP entwickelt und auch unter Windows 7 getestet worden. Eine Unix-Version ist derzeit nicht verfügbar.</p>
<p>Typische Rechenzeiten für eine Simulation mit 24 Stunden Simulationszeit bei einer Zeitschrittweite von 60 Minuten (mit Angabe der HW-Umgebung und Anzahl Maschinen)</p>	<p>Stark abhängig von gewählten Ausbreitungsverhältnissen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strömungsfeldberechnung mit Gebäudeeinfluss erfordert erheblich größeren Rechenzeitaufwand (einige Stunden bei x64-CPU, Hauptspeicher 4 GB, Windows 7) als Strömungsfeldberechnung in gegliedertem oder ebenem Gelände. • Berechnung der resultierenden Konzentrationsfelder verläuft im Allgemeinen schneller; allerdings ist die Berechnung der γ-Submersion zeitaufwändig.
<p>Verfügbare Ergebnisreports (welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse liegen nach Ablauf der Rechnung vor? Z.B. Windfeld, Konzentration, Deposition, Dosis)</p>	<p>Ergebnisfelder (Mittelwerte über Simulationszeitraum) für</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konzentration in Bq/m³, • nasse und trockene Deposition in Bq/(m²s) sowie • Gammawolkenstrahlung (nur für die bodennahe Schicht) in Bq/m². <p>An Monitorpunkten werden die Werte der nassen und trockenen Deposition sowie der Konzentration (lungengängig) im Stundentakt ausgegeben.</p> <p>Für Gamma gibt es an den Monitorpunkten nur Mittelwerte.</p> <p>Zusätzlich steht Windfeldbibliothek für 6 Diffusionskategorien und verschiedene Anströmrichtungen zur Verfügung; aus diesen Windfeldern werden über Linearkombination Windfelder konstruiert, die an die aktuelle Windgeschwindigkeit und Windrichtung an einem Messpunkt im Rechengebiet angepasst sind.</p>

	Ergebnisfelder und Tabellen für nachgeschaltete Dosisberechnung mit DARTM (nur möglich bei betrieblichen Ableitungen).
--	--

5.6.2 Modellgebiete und verwendete(s) Gitter

Verwendete Koordinatensysteme (kartesisch, geländefolgend)	Geländefolgend.
Verwendetes Gitter (Auflösung, äquidistant oder variable Maschengröße (Nesting))	Horizontal: äquidistantes Gitter, auch Nesting möglich, Auflösung sowohl individuell einstellbar als auch automatische Erzeugung möglich. Vertikal: standardmäßig nicht äquidistant, einstellbar. Bei Rechnungen mit Gebäuden wird standardmäßig mit horizontal geschachtelten Netzen gerechnet, wobei sich Lage und Ausdehnung der Netze an der Quell- und Gebäudekonfiguration orientieren.
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein)	Ja. Geländesteigung sollte 1:5 nicht überschreiten.
Verwendete Geländemodelle (z.B. SRTM)	TALdia [74].
Horizontale und vertikale Auflösung; Anzahl Maschen	Horizontal: <ul style="list-style-type: none"> • äquidistant, einstellbar, bei Rechnungen ohne Gebäude mindestens 15 m; • bei Rechnungen mit Gebäuden wird standardmäßig mit horizontal geschachtelten Netzen gerechnet, wobei sich Lage und Ausdehnung der Netze an der Quell- und Gebäudekonfiguration orientieren (minimale horizontale Maschenweite 2 m). Vertikal: <ul style="list-style-type: none"> • standardmäßig reicht bodennächstes vertikales Intervall vom Erdboden bis 3 m Höhe; vertikale Zellhöhe nimmt mit Abstand zum Erdboden zu. • Standardmäßig 19 nichtäquidistante Modellschichten. • Die Auflösung kann bei automatischer Erzeugung der Gitter über einen Eingabeparameter (Qualitätsflag) in gewissen Grenzen gesteuert werden. Bei Gitter-Nesting vergrößert sich die horizontale Maschenweite jeweils um den Faktor 2, die vertikale Auflösung ist in jedem Gitter gleich.

Zeitliche Auflösung <i>(typische Zeitschrittweiten)</i>	Grundzeitschritt von 60 Minuten für: Meteorologische Daten Ausgabe der Ergebnisfelder Zeitschritt im Partikelmodell orientiert sich an turbulenter Zeitskala – also im Bereich von einigen Sekunden bis zu einigen zig Sekunden.
Zur Zeit konfigurierte Standorte	Nicht standardmäßig konfiguriert.
Kann ein zusätzlicher Standort frei gewählt werden? <i>z.B. für Transportunfall mit radioaktiven Stoffen, dirty bomb Ereignis</i> <i>Siehe hierzu auch S. 10 (Emissionsorte frei wählbar)</i>	Ja, wenn Geländedatei bzw. Gebäudedaten sowie meteorologische Daten vorliegen.

5.6.3 Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten

Schnittstellen und Eingabeformate <i>(wie erfolgt die Kommandierung (manuell bzw. Commandfile(s) u.o. Oberfläche) und Speicherung der verwendeten Eingangsdaten?)</i> <i>Details in den folgenden Punkten</i>	Eingabe über Benutzeroberfläche GO-ARTM zur benutzerfreundlichen Programmsteuerung; wahlweise auch Eingabe über Datei mit Eingabeparametern. Dokumentation der Eingabe (und Ausgabe) über log-Datei.
Emissionsdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen (z.B. KFÜ): siehe auch Abschnitt Quellterm)</i>	Eingabe über GO-ARTM oder zusammen mit Zeitreihe für meteorologische Daten; keine standardmäßige Einkopplung von KFÜ-Daten.
Meteorologische Messdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen)</i>	Keine standardmäßige Einkopplung von KFÜ-Daten; Meteo-Daten werden in der Regel über Zeitreihen-Datei bereitgestellt werden (60 Minutentakt; AKTerm-Format, siehe [69] und [70]).
Wetterprognosen <i>(Welche Möglichkeiten für Vorhersagen bestehen, z.B. Modelle des DWD?)</i>	Nicht vorgesehen.

5.6.4 Behandlung des Quellterms

Inventarbestimmung	
---------------------------	--

Referenzinventare <i>(z.B. Leitfaden Fachberater Strahlenschutz)</i>	Nicht vorgesehen.
Modellierung der Abhängigkeit des Inventars von Betriebsparametern <i>(Berücksichtigung von Betriebszeit, Stillstandszeit und Abklingzeit)</i>	Nicht vorgesehen.
Berücksichtigung des Zerfalls bis zur Freisetzung <i>(ja/nein)</i>	Nicht vorgesehen.
Freisetzungsteile	
Unterteilung in Stoffkategorien (Aerosol, Gasförmig, gebunden) Insbes. Aufteilung Iod Elementar Organisch gebunden Aerosolgebunden Anzahl der freigesetzten Nuklide	Wird bei Vorgabe des Freisetzungsquellterms in die Atmosphäre berücksichtigt. Aerosolförmig, gasförmig, Edelgas, Jod (elementar, organisch, aerosolförmig), Tritium (flüssig, aerosolförmig), C14 (aerosolförmig, als CO2, organisch). Weitgehend beliebig; allerdings wirkt sich hohe Anzahl verschiedener Radionuklide nachteilig auf die Rechenzeit aus.
Modellierung der Freisetzungsteile für die Nuklide und Annahmen für den Nuklidvektor <i>(z.B. Bezug auf Unfallszenario)</i>	Nicht vorgesehen.
Schnittstellen für Quellterm-übernahme <i>(z.B. QPRO der GRS, KFÜ-Daten)</i>	Nicht vorgesehen.
Emission	
Minimal und maximal mögliche Freisetzungsdauer (in den installierten Systemen)	Maximal 1 Jahr, minimal 6 Minuten.
Emissionsorte frei wählbar <i>(ja/nein, s. a. Abschnitt zu Modellgebiet)</i>	Ja.
Punktquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Flächenquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Volumenquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.

Mehrere Emissionsorte mit anderen Nuklidvektoren kombinierbar <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Mehrere Emissionsphasen <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Berücksichtigung Freisetzungsbedingungen (Kamin, Explosion, Brand) <i>(Ziel: Bestimmung der effektiven Freisetzungshöhe; Welche Möglichkeiten bietet das Modell hier?)</i>	Kamin: ja Explosion: parametrisierbar über Anfangsgeometrie der Explosionsgase, z.B. als quaderförmige oder zylindrische Volumenquelle Brand: parametrisierbar über Formeln zur Abgasfahnenüberhöhung
Berücksichtigung Beeinflussung durch Bauwerke <i>Wenn ja, wie?</i>	Ja, über diagnostisches Strömungsmodell TALdia [74]; Anwendbarkeit ist eingeschränkt wenn das Verhältnis Quellhöhe zu umliegender Gebäudehöhe von 1,2 unterschritten wird.
Abgasfahnenüberhöhung <i>Wenn ja, wie?</i>	Ja, nach VDI 3782 Blatt 3 [70], VDI 3784 Blatt 2 [71]
Kühlturmeinfluss <i>Wenn ja, wie?</i>	Gebäudeeinfluss über diagnostisches Strömungsmodell; keine Berücksichtigung des Einflusses auf Strömung durch Kühlturbetrieb (erfordert aufwändige prognostische Modellierung des Strömungsfeldes).

5.6.5 Strömungsmodell(e)

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	TALdia [74].
Art des Modells <i>(z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld)</i>	Diagnostisches, massenkonsistentes Windfeldmodell.
Kurze Beschreibung; <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall sollten die verwendeten Änderungen gegenüber Literatur benannt werden; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Siehe Zitat [74] und VDI 3945 Blatt 3 [14].
Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Siehe Zitat [74].

<p>Verwendete Eingangsdaten</p> <p>(z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder)</p>	<p>Windmessung an einem geeigneten Standort im Rechengebiet.</p> <p>AKTerm Dateien (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Monin-Obukhov-Länge).</p>
<p>Vertikale Windprofile</p> <p>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Externe Vorgabe von Windprofilen nicht vorgesehen; programmintern werden in ARTM und TALdia standardisierte Vertikalprofile für den Horizontalwind verwendet.</p>
<p>Eingabe geostrophischer Wind erforderlich</p> <p>(ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?)</p>	<p>Nicht vorgesehen</p>
<p>Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen</p> <p>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Nein, es wird eine über Rechengebiet oder Ausbreitungsrichtung gemittelte Rauigkeitslänge verwendet.</p>

5.6.6 Ausbreitungsmodell

<p>Name des Modells</p> <p>(falls Unterschied zu Systemname)</p>	<p>ARTM</p>
<p>Art des Modells</p> <p>(z.B. Partikelmodell)</p>	<p>Partikelmodell.</p>
<p>Kurze Beschreibung</p> <p>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</p>	<p>Siehe Zitate [69] und [14].</p>
<p>Verwendete Approximationen</p> <p>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</p>	<p>Siehe Zitate [69] und [14].</p>
<p>Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt;</p> <p>Variation Partikelzahl über Eingabe möglich (ja/nein)</p>	<p>Automatische Festlegung; aber steuerbar durch so genannte Qualitätsstufe zur Festlegung der Freisetzungsrates von Partikeln.</p>
<p>Verwendete Turbulenzmodellierung</p> <p>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</p>	<p>Verwendung ähnlichkeitstheoretischer Ansätze für Vertikalprofile nach VDI 3783, Blatt8 [75] für Horizontalwindkomponenten,</p>

<p><i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Standardabweichungen turbulenter Windgeschwindigkeitsfluktuationen, turbulente Zeitskalen (Lagrange Korrelationszeiten), turbulente Diffusionskoeffizienten.</p> <p>Charakterisierung der Turbulenz nicht über Diffusionskategorien, sondern über Grenzschichtparameter wie Monin-Obukhov Länge, Schubspannungsgeschwindigkeit, Rauiglängslänge.</p>
<p>Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Standardmäßig: Verwendung des Rauigkeitskatasters auf der Basis der Landnutzungsklassen des CORINE-Katasters [76].</p>
<p>Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i></p>	<p>Berücksichtigung der Vertikalprofile der Turbulenzparameter; Horizontale Variation der Turbulenzparameter ist nicht vorgesehen; Ausgenommen davon ist die so genannte gebäudeinduzierte Zusatz-turbulenz im Einflussgebiet des Gebäudes [74].</p>
<p>Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen</p>	<p>Nuklide und deren physikalische Erscheinungsform sind frei wählbar. „Gruppen“ sind nicht vorgesehen. Postprocessing-Tools erlauben beliebige nachträgliche Gruppierung.</p>
<p>Partikelgrößen für Iod, Aerosole <i>(evtl. mehrere Angaben möglich)</i></p>	<p>Standardmäßig werden 4 Partikelgrößenklassen berücksichtigt (in Anlehnung an Anhang 3 der TA Luft [17]:</p> $\begin{aligned} & \text{AED} < 2,5 \mu\text{m}; \\ & 2,5 \mu\text{m} \leq \text{AED} < 10 \mu\text{m} \\ & 10 \mu\text{m} \leq \text{AED} < 50 \mu\text{m} \\ & 50 \mu\text{m} \leq \text{AED} \end{aligned}$
<p>Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports <i>(ja/nein)</i></p>	<p>Ja.</p>
<p>Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports <i>(ja/nein)</i></p>	<p>Nein, kann parametrisiert werden, z.B. Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls von Rn-222 während der Ausbreitung unter Berücksichtigung entstehender Tochternuklide und des Gleichgewichtsfaktors. Siehe Zitat [70].</p>
<p>Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden <i>(ja/nein)</i></p>	<p>Nein.</p>

Deposition																
Trockene Deposition																
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Siehe VDI 3945, Blatt 3 [14].															
Depositionsgeschwindigkeiten <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	<table border="1"> <tr> <td>Edelgas</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Iod (elementar)</td> <td>0,01 m/s</td> </tr> <tr> <td>Iod (organisch)</td> <td>1E-4 m/s</td> </tr> <tr> <td>Aerosole in m/s</td> <td>0,001, 0,01, 0,05, 0,20 für die o.g. 4 Partikelgrößenklassen</td> </tr> </table>	Edelgas	0	Iod (elementar)	0,01 m/s	Iod (organisch)	1E-4 m/s	Aerosole in m/s	0,001, 0,01, 0,05, 0,20 für die o.g. 4 Partikelgrößenklassen							
Edelgas	0															
Iod (elementar)	0,01 m/s															
Iod (organisch)	1E-4 m/s															
Aerosole in m/s	0,001, 0,01, 0,05, 0,20 für die o.g. 4 Partikelgrößenklassen															
Berücksichtigung Resuspension <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein, kann erforderlichenfalls parametrisiert werden, z.B. über zeitabhängige bodennahe Windgeschwindigkeit.															
Berücksichtigung Interzeption <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.															
Nasse Deposition																
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Siehe Zitate [69] und [14].															
Washout <i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	<p>Washout-Koeffizient wird mit folgenden tabellarischen Werten berechnet:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Λ_0</th> <th>κ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Edelgas</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>elementares Iod</td> <td>7E-5</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>organisch gebundenes Iod</td> <td>7E-7</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Aerosole</td> <td>1E-4, 2E-4, 3E-4, 4E-4</td> <td>0,8</td> </tr> </tbody> </table>		Λ_0	κ	Edelgas	0	-	elementares Iod	7E-5	0,8	organisch gebundenes Iod	7E-7	0,8	Aerosole	1E-4, 2E-4, 3E-4, 4E-4	0,8
	Λ_0	κ														
Edelgas	0	-														
elementares Iod	7E-5	0,8														
organisch gebundenes Iod	7E-7	0,8														
Aerosole	1E-4, 2E-4, 3E-4, 4E-4	0,8														

		für die o.g. 4 Partikelgrößenklassen
Rainout <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.	
Schnee <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.	
Feuchte Deposition durch Nebel/Tau <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.	
Berücksichtigung Interzeption (wenn ja, dann kurze Beschreibung) <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.	
Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag <i>(z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.	

5.6.7 Dosisberechnung

Gammasubmersion	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Zitate [69] und [14] in Anlehnung zur AVV zu § 47 StrlSchV.
Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	2 Energiegruppen 1 MeV und 0,1 MeV; die Koeffizienten für die Gammaenergie 1 MeV wurden direkt aus der AVV zu § 47 StrlSchV übernommen. Die für die Gammaenergie 0,1 MeV angegebenen Parameter wurden aus der Fachliteratur bezogen ([77], [78]), weil die AVV hierfür keine Werte angibt. Siehe auch Zitate [69] und [14].
Berücksichtigung Dosisaufbau	Siehe Zitate [69] und [14].

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Berücksichtigung Rückstreuung Boden <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Siehe Zitate [69] und [14].
Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung <i>(Literaturverweis)</i>	ARTM berechnet keine Strahlenexposition.
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Bodenstrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	ARTM berechnet Horizontalverteilungen trocken und nass deponierter Radionuklide, die als Basis zur Berechnung der γ -Bodenstrahlung mit einem nachgeschalteten Dosismodul (z.B. DARTM) berechnet werden können.
Behandlung von Integrationszeiten	ARTM berechnet keine Strahlenexposition.
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	ARTM berechnet keine Strahlenexposition.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	ARTM berechnet keine Strahlenexposition.
Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	ARTM berechnet keine Strahlenexposition.
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	ARTM berechnet keine Strahlenexposition.

5.7 LASAIR

5.7.1 Systemübersicht

Name des Systems	Lagrangesche Simulation der Ausbreitung und Inhalation von Radionukliden LASAIR
Kurze Beschreibung <i>(Wichtigste Eigenschaften in Stichworten)</i>	<p>Das Programmsystem LASAIR (Lagrangesche Simulation der Ausbreitung und Inhalation von Radionukliden) berechnet die Ausbreitung von radioaktiven Gasen und Partikeln in der planetarischen Grenzschicht, die durch eine unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung (USBV) in die Luft freigesetzt werden.</p> <p>Die Freisetzung erfolgt entweder</p> <ul style="list-style-type: none">- instantan (innerhalb einer Sekunde entsteht eine große Wolke durch eine Explosion) oder- kontinuierlich über einen kürzeren Zeitraum hinweg. <p>LASAIR ist ein graphisches Benutzer-Interface für das Ausbreitungsmodells LASAT. LASAT wurde vom Ingenieurbüro Dr. Janicke) zur Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung konventioneller Schadstoffe entwickelt. LASAIR ist beschrieben in [79], LASAT ist in wesentlichen Grundzügen auch in der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 [14] dokumentiert.</p> <p>Im Programmsystem LASAIR sind folgende Aspekte realisiert:</p> <ul style="list-style-type: none">• Verwendung meteorologischer Zeitreihen ,• alle gemäß Bundesanzeiger verfügbaren Radionuklide,• Punkt-, Linien-, Flächen- und Volumenquellen,• trockene und nasse Deposition,• kein radioaktiver Zerfall, da im Wesentlichen Radionuklide mit längerer Halbwertszeit betrachtet werden,• Gammawolkenstrahlung,• Berücksichtigung von Aerosolen mit verschiedenem AED (z.B. sedimentierende Stäube),• automatische Festlegung des Rechnernetzes bzw. von geschachtelten Netzen zur Berücksichtigung der Quell- und Gebäudekonfiguration,• nutzer- bzw. gebietsspezifische Eingabe der Rauigkeitslänge z_0 ,• Berechnung einer Zeitreihe für frei wählbare Beurteilungspunkte im Rechengebiet,• gegliedertes Gelände,• Vorgabe von Gebäuden als Quader, Zylinder oder in Form einer Rasterdatei,

	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung der Gebäudeumströmung mit dem diagnostischen, mesoskaligen Windfeldmodell TALdia [74], • graphische Benutzeroberfläche zur benutzerfreundlichen und übersichtlichen Ein- und Ausgabe von LASAIR Parametern, Steuerung, Darstellung und Auswertung von LASAIR Ergebnissen).
Modelltyp (z.B. Simulationssystem mit diagnostischem Strömungsfeld und Lagrange-Partikel Modell)	Modellsystem zur Berechnung der Ausbreitung von radioaktiven Gasen und Partikeln in der Atmosphäre mit einem Lagrange-Partikelmodell nach einer instantanen oder kurzzeitigen Freisetzung. Berücksichtigung der Strömung in gegliedertem Gelände bzw. der Gebäudeumströmung mit einem diagnostischen Strömungsmodell.
Entwickler/Hersteller	LASAIR: Ingenieurbüro Janicke, Überlingen
Ansprechpartner (mit E-Mail Adresse)	Hartmut Walter hwalter@bfs.de Gerhard Heinrich gheinrich@bfs.de Lutz Janicke lj@janicke.de
	LASAIR ist eine kostenlose Software. Die Weitergabe des Programms unterliegt aber den Vorschriften der Geheimhaltungsstufe NfD (Nur für den Dienstgebrauch). Die Entscheidung zur Weitergabe des Modells wird durch das Bundesamt für Strahlenschutz getroffen. Zuständige Abteilungen sind (SW 2.2/H. Walter und AG-NGA).
Einsatzzweck (z.B. Unterstützung Krisenstab, Forschung)	Anwendung in akuten Einsatzfällen der ZUB (Zentrale Unterstüztungsgruppe des Bundes für gravierende Fälle der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr), für Kurzeitenausbreitungen bei Störfällen sowie für Übung und was-wäre-wenn Szenarien.
Anwendungsbereich (Nahbereich, Fernbereich) Wichtigste Aufgaben, z.B. Erstellung radiologische Lage, Vorbereitung von Notfallübungen)	Nahbereich (Szenarienabhängig für Quellentfernungen bis maximal 40 km).
Anwenderkreis (Aufsichtsbehörden, Fachberater Strahlenschutz, Katastrophenschutzbehörden)	Katastrophenschutzbehörden, Polizei (Land, Bund), Gutachter; Ausländische Behörden.

Export-Schnittstellen zu anderen Systemen <i>(Einbettung in andere Systeme, z.B. großräumige Modelle oder auch Systeme im Rahmen des Katastrophenschutzes)</i>	CSV-, Shape- oder KML-Datei.
Hardware-Anforderungen (CPU, Speicher, Platten)	Standard-PC oder Laptop. Ab LASAIR Version 4.0 wird für zusätzliche Berechnungsmöglichkeiten (Strömung in urbaner Struktur, Orographie) ein PC oder Laptop der oberen Leistungsklasse empfohlen.
Betriebssysteme <i>(Unix/Linux/Windows mit genauen Versionsbezeichnungen)</i>	Windows XP, Windows 7, LINUX, Bevorzugt 64 Bit System mit min. 8 GB RAM.
Typische Rechenzeiten für eine Simulation mit 24 Stunden Simulationszeit bei einer Zeitschrittweite von 60 Minuten <i>(mit Angabe der HW-Umgebung und Anzahl Maschinen)</i>	Die maximale Simulationszeit für LASAIR beträgt 24 h (Stand März 2014). Die typische Rechenzeit ist stark abhängig von den gewählten Ausbreitungsverhältnissen. Strömungsfeldberechnung mit Gebäudeeinfluss erfordert größeren Rechenaufwand (im Bereich 5 Minuten mit ca. 500 000 Partikeln bei x64-CPU, Hauptspeicher 8 GB, Windows 7) als Strömungsfeldberechnung in gegliedertem oder ebenem Gelände.
Verfügbare Ergebnisreports <i>(welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse liegen nach Ablauf der Rechnung vor? Z.B. Windfeld, Konzentration, Deposition, Dosis)</i>	Ergebnisfelder (Mittelwerte über Simulationszeitraum) für <ul style="list-style-type: none"> • Konzentration in Bq/m³, • nasse und trockene Deposition in Bq/(m²s) sowie • Gammawolkenstrahlung (nur für die bodennahe Schicht) in mSv, • Bodenstrahlung in mSv, • Inhalationsdosis in mSv.

5.7.2 Modellgebiete und verwendete(s) Gitter

Verwendete Koordinatensysteme <i>(kartesisch, geländefolgend)</i>	Geländefolgendes Koordinatensystem.
Verwendetes Gitter <i>(Auflösung, äquidistant oder variable Maschengröße (Nesting))</i>	horizontal: 6 Netze, ab 5 m, mit Verdoppelung der Gitterweite beim nächst größeren Gitter. vertikal: 0, 3, 6, 10, 16, 25, 35, 45,100 m, 200, 300, ... 1.500m.
Berücksichtigung des Geländes <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Verwendete Geländemodelle	Innerhalb Deutschlands DGM 025 (BKG).

(z.B. SRTM)	Weltweit SRTM (aufbereitet).
Horizontale und vertikale Auflösung; Anzahl Maschen	S.o. .
Zeitliche Auflösung (typische Zeitschrittweiten)	Zeitintervalle: 5, 10, 20, 30, 60 Minuten für: Meteorologische Daten (ohne Turbulenz), Ausgabe der Ergebnisfelder. Zeitschritt im Partikelmodell orientiert sich an turbulenter Zeitskala – also im Bereich von einigen Sekunden bis zu einigen zig Sekunden.
Zur Zeit konfigurierte Standorte	Keine; Standorte sind aufgrund Aufgabenstellung frei definierbar, LASAIR bis Version 3: Standorte in Deutschland, LASAIR ab Version 4 : Standorte weltweit.
Kann ein zusätzlicher Standort frei gewählt werden? z.B. für Transportunfall mit radioaktiven Stoffen, dirty bomb Ereignis Siehe hierzu auch S. 10 (Emissionsorte frei wählbar)	Ja, jeder Standort weltweit kann gewählt werden da primärer Einsatzzweck.

5.7.3 Anfangs- und Randbedingungen, Eingabedaten

Schnittstellen und Eingabeformate <i>(wie erfolgt die Kommandierung (manuell bzw. Commandfile(s) u.o. Oberfläche) und Speicherung der verwendeten Eingangsdaten?</i> <i>Details in den folgenden Punkten</i>	Eingabe über Benutzeroberfläche von LASAIR.
Emissionsdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen (z.B. KFÜ): siehe auch Abschnitt Quellterm)</i>	Eingabe über Benutzeroberfläche von LASAIR.
Meteorologische Messdaten <i>(z.B. Manuelle Eingabe oder Übernahme aus anderen Systemen)</i>	Eingabe über Benutzeroberfläche von LASAIR.
Wetterprognosen <i>(Welche Möglichkeiten für Vorhersagen bestehen, z.B. Modelle des DWD?)</i>	Eingabe über Benutzeroberfläche von LASAIR.

5.7.4 Behandlung des Quellterms

Inventarbestimmung	
--------------------	--

Referenzinventare <i>(z.B. Leitfaden Fachberater Strahlenschutz)</i>	Nicht vorgesehen.
Modellierung der Abhängigkeit des Inventars von Betriebsparametern <i>(Berücksichtigung von Betriebszeit, Stillstandszeit und Abklingzeit)</i>	Nicht vorgesehen.
Berücksichtigung des Zerfalls bis zur Freisetzung <i>(ja/nein)</i>	Nicht vorgesehen.
Freisetzungsteile	
Unterteilung in Stoffkategorien (Aerosol, Gasförmig, gebunden) Insbes. Aufteilung Iod Elementar Organisch gebunden Aerosolgebunden Anzahl der freigesetzten Nuklide	Aufgabenbedingt erfolgt die Angabe eines einfachen Freisetzungsquellterms. Berücksichtigt werden: Aerosole, Edelgase, Jod (elementar, organisch, aerosolförmig), Max. 5.
Modellierung der Freisetzungsteile für die Nuklide und Annahmen für den Nuklidvektor <i>(z.B. Bezug auf Unfallszenario)</i>	Nicht vorgesehen.
Schnittstellen für Quellterm-übernahme <i>(z.B. QPRO der GRS, KFÜ-Daten)</i>	Nicht vorgesehen.
Emission	
Minimal und maximal mögliche Freisetzungsdauer <i>(in den installierten Systemen)</i>	Min. : 1 Sekunde, Max. : 6 Stunden.
Emissionsorte frei wählbar <i>(ja/nein, s. a. Abschnitt zu Modellgebiet)</i>	Ja.
Punktquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Flächenquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Volumenquelle <i>(ja/nein)</i>	Ja.
Mehrere Emissionsorte mit anderen Nuklidvektoren kombinierbar	Nein.

(ja/nein)	
Mehrere Emissionsphasen (ja/nein)	Nein; Einzelrechnung erforderlich.
Berücksichtigung Freisetzungsbbedingungen (Kamin, Explosion, Brand) (Ziel: Bestimmung der effektiven Freisetzungshöhe; Welche Möglichkeiten bietet das Modell hier?)	Kamin: Ja. Explosion: parametrisierbar über Anfangsgeometrie der Explosionsgase als quaderförmige Volumenquelle. Brand: Angabe einer Flächenquelle. Gerichtete Freisetzung: Ja.
Berücksichtigung Beeinflussung durch Bauwerke Wenn ja, wie?	Ja, über diagnostisches Strömungsmodell TALdia [74]; Anwendbarkeit ist eingeschränkt wenn das Verhältnis Quellhöhe zu umliegender Gebäudehöhe von 1,2 unterschritten wird.
Abgasfahnenüberhöhung Wenn ja, wie?	Nein; kann implizit über Emissionshöhe eingegeben werden.
Kühlturmeinfluss Wenn ja, wie?	Einfluss eines nicht aktiven Kühlturms als Gebäudeumströmung modellierbar.

5.7.5 Strömungsmodell(e)

Name des Modells (falls Unterschied zu Systemname)	TALdia [74].
Art des Modells (z.B. diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld)	Diagnostisches, massenkonsistentes Windfeldmodell.
Kurze Beschreibung; (evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall sollten die verwendeten Änderungen gegenüber Literatur benannt werden; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)	Siehe Zitat [74] und VDI 3945 Blatt 3 [14].
Diagnostische Windfelder: Verwendete Wichtungsfaktoren für horizontalen und vertikalen Anteil (bzw. Transmissionskoeffizienten) in Abhängigkeit von der Stabilitätsklasse (Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)	Siehe Zitat [74].
Verwendete Eingangsdaten	Windmessung an einem geeigneten Standort im Recherchegebiet.

<i>(z.B. gemessene Winde an mehreren Standorten, Diffusionskategorien oder auch prognostische Windfelder)</i>	
Vertikale Windprofile <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Externe Vorgabe von Windprofilen nicht vorgesehen; programmintern werden in LASAIR die standardisierten Vertikalprofile für den Horizontalwind wie für LASAT verwendet. Die Windprofile sind aber aufgrund der frei wählbaren Rauigkeitslänge im Modellgebiet ortsspezifisch.
Eingabe geostrophischer Wind erforderlich <i>(ja/nein, wenn ja wie wird dieser festgelegt?)</i>	Nicht vorgesehen.
Berücksichtigung von räumlich inhomogenen Rauigkeitslängen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja; sie kann punktuell oder flächenspezifisch festgelegt werden.

5.7.6 Ausbreitungsmodell

Name des Modells <i>(falls Unterschied zu Systemname)</i>	LASAT.
Art des Modells <i>(z.B. Partikelmodell)</i>	Partikelmodell.
Kurze Beschreibung <i>(Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Siehe Zitate[69][79][80][14] und [82].
Verwendete Approximationen <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Siehe LASAT 3.3 Referenzbuch [82].
Bei Partikelmodellen: Anzahl von Partikeln pro Zeitschritt; Variation Partikelzahl über Eingabe möglich <i>(ja/nein)</i>	Partikelzahl 500 000 (Stand März 2014), Partikelzahl kann durch Nutzer individuell geändert werden (Anpassung an spezifische Rechnerleistung).
Verwendete Turbulenzmodellierung <i>(Diffusion klassisch/turbulent; verwendete Parametrisierungen, z.B. KJ, PG)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Verwendung ähnlichkeitstheoretischer Ansätze für Vertikalprofile nach VDI 3783, Blatt 8 [75] für Horizontalwindkomponenten, Standardabweichungen turbulenter Windgeschwindigkeitsfluktuationen, turbulente Zeitskalen (Lagrange Korrelationszeiten), turbulente Diffusionskoeffizienten,

	Charakterisierung der Turbulenz über Diffusionskategorien,
Berücksichtigung von Rauigkeit und Bewuchs <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Individuelle und gebietsspezifische Festlegung.
Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Turbulenz <i>(ja nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Ja, über Rauigkeitslänge.
Berücksichtigte Radionuklide und Zuweisung zu Nuklidgruppen	Nuklide und deren physikalische Erscheinungsform sind frei wählbar. „Gruppen“ sind nicht vorgesehen.
Partikelgrößen für Iod, Aerosole <i>(evtl. mehrere Angaben möglich)</i>	Standardmäßig werden 4 Partikelgrößenklassen berücksichtigt (in Anlehnung an Anhang 3 der TA Luft [17]. $AED < 2,5 \mu m$; $2,5 \mu m \leq AED < 10 \mu m$ $10 \mu m \leq AED < 50 \mu m$ $50 \mu m \leq AED$ Organisches Jod wird separat betrachtet.
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein; wegen der Kürze der Simulationszeit (24 h) nicht erforderlich.
Berücksichtigung Stoffumwandlungen während des Transports <i>(ja/nein)</i>	Nein.
Berücksichtigung radioaktiver Zerfall nach erfolgter Ablagerung am Boden <i>(ja/nein)</i>	Ja. Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls erfolgt nach Ablagerung am Boden (bei der Berechnung der Lebenszeitdosis der Gamma-Bodenstrahlung (oder bei kürzeren Expositionszeiträumen).
Deposition	
Trockene Deposition	
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Siehe VDI 3945, Blatt 3 [14].
Depositionsgeschwindigkeiten	

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Edelgas	0
	Iod (elementar)	0,01 m/s
	Iod (organisch)	1E-4 m/s
	Aerosole in m/s	0,001, 0,01, 0,05, 0,20 für die o.g. 4 Partikelgrößenklassen
	Sedimentationsgeschwindigkeit in m/s	0,00, 0,00, 0,04, 0,15 für die o.g. 4 Partikelgrößenklassen
Berücksichtigung Resuspension <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.	
Berücksichtigung Interzeption (ja/nein, wenn ja wie?) <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.	
Nasse Deposition		
Dokumentation Verfahren und Parameter <i>(evtl. Verweis auf Literatur ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur dokumentieren; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	Siehe Zitate [69] und [14].	
Washout <i>(Zusammenfassung der verwendeten Washout-Koeffizienten; evtl. mehrere Angaben möglich)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Washout-Koeffizient $\Lambda = \Lambda_0 * \left(\frac{I}{1mm/h}\right)^k$ wird mit folgenden tabellarischen Werten berechnet:	
	Λ_0 in 1/s	κ
Edelgas	7E-5	-
elementares Iod	7E-5	0,8
organisch gebundenes Iod	7E-7	0,8
Aerosole	4E-4, 2E-4, 4,4E-4, 4,4E-4	0,8
	für die o.g. 4 Partikelgrößenklassen	
Rainout <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i>	Nein.	

<i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	
Schnee <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Feuchte Deposition durch Nebel/Tau <i>(ja/nein, wenn ja wie?)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Berücksichtigung Interzeption (<i>wenn ja, dann kurze Beschreibung</i>) <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.
Berücksichtigung räumlich inhomogener Niederschlag <i>(z.B. Prognosen, Radar, interpolierte Daten Niederschlagsmessnetz)</i> <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.

5.7.7 Dosisberechnung

Gammastrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	LOGGAM, analog zu ARTM. Siehe Zitate [69] und [14] in Anlehnung zur AVV zu § 47 StrlSchV.
Berücksichtigte Energien bzw. Nuklide <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	2 Energiegruppen 1 MeV und 0,1 MeV; die Koeffizienten für die Gammaenergie 1 MeV wurden direkt aus der AVV zu § 47 StrlSchV übernommen. Die für die Gammaenergie 0,1 MeV angegebenen Parameter wurden aus der Fachliteratur bezogen ([77],[78]), weil die AVV hierfür keine Werte angibt. Siehe auch [69] und [14].
Berücksichtigung Dosisaufbau <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Siehe [69] und [14].
Berücksichtigung Rückstreuung Boden <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Nein.

Verwendete Dosiskoeffizienten bzw. Dosis-Flussbeziehung <i>(Literaturverweis)</i>	
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Nein.
Bodenstrahlung	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(evtl. Verweis auf Literatur (z.B. AVV) ausreichend; in diesem Fall verwendete Änderungen gegenüber Literatur; siehe auch folgende Punkte dieses Abschnitts)</i>	LASAIR berechnet Horizontalverteilungen trocken und nass deponierter Radionuklide und daraus die Bodenstrahlung.
Behandlung von Integrationszeiten	
Berücksichtigung des Geländes (ja/nein) <i>(wenn ja, wie? (z.B. durch explizite Berechnung des Strahlentransports bei gegebenem Geländeprofil))</i>	Ja.
Abschirmeffekte und Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Bodenbeschaffenheit über Rauigkeitslänge z_0 .
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Bundesanzeiger [81].
Inhalation	
Beschreibung Berechnungsverfahren <i>(Literaturverweis ausreichend, Unterschiede zu Literatur dokumentieren)</i>	Analog zu SBG [22].
Dosiskoeffizienten <i>(Literaturverweis)</i>	Bundesanzeiger [81]

5.7.8 Grafiken zur Anwendung von LASAIR

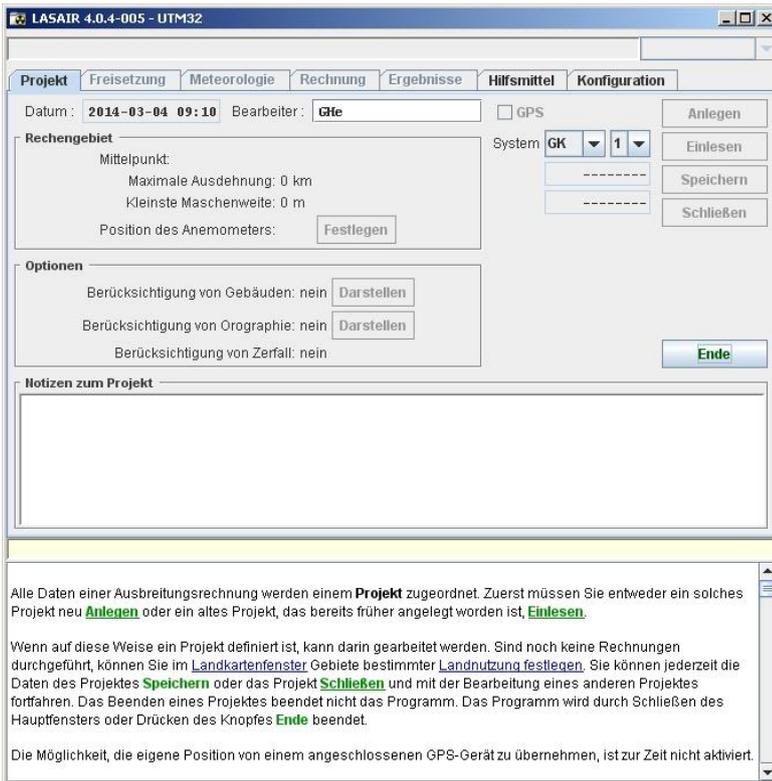


Abbildung 5.7-1 Start-Menü von LASAIR (Anlegen eines Projekts).

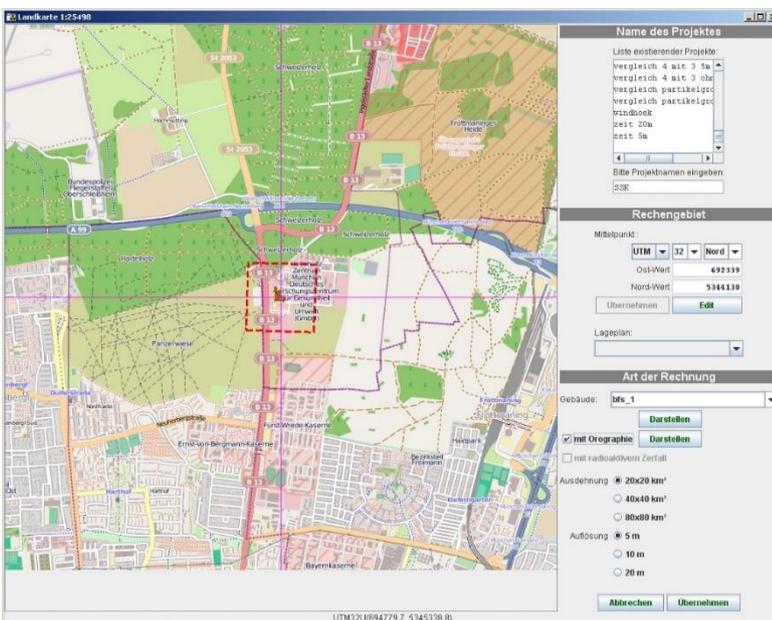


Abbildung 5.7-2 Definition von Gebäudestrukturen im Nahbereich (rot-gestricheltes Quadrat).

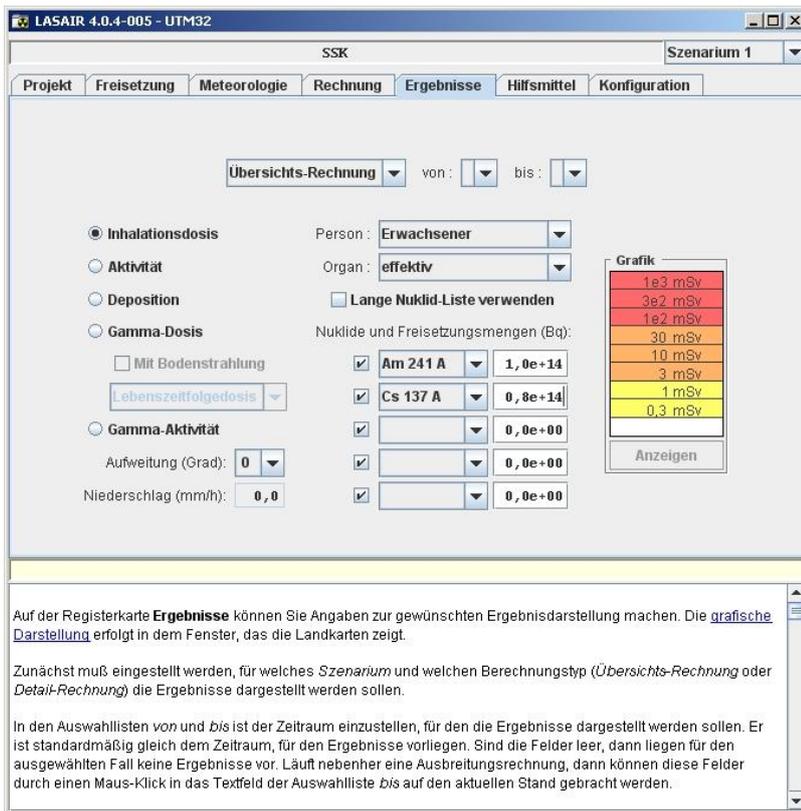


Abbildung 5.7-3 Menü von LASAIR (Ergebnisse).



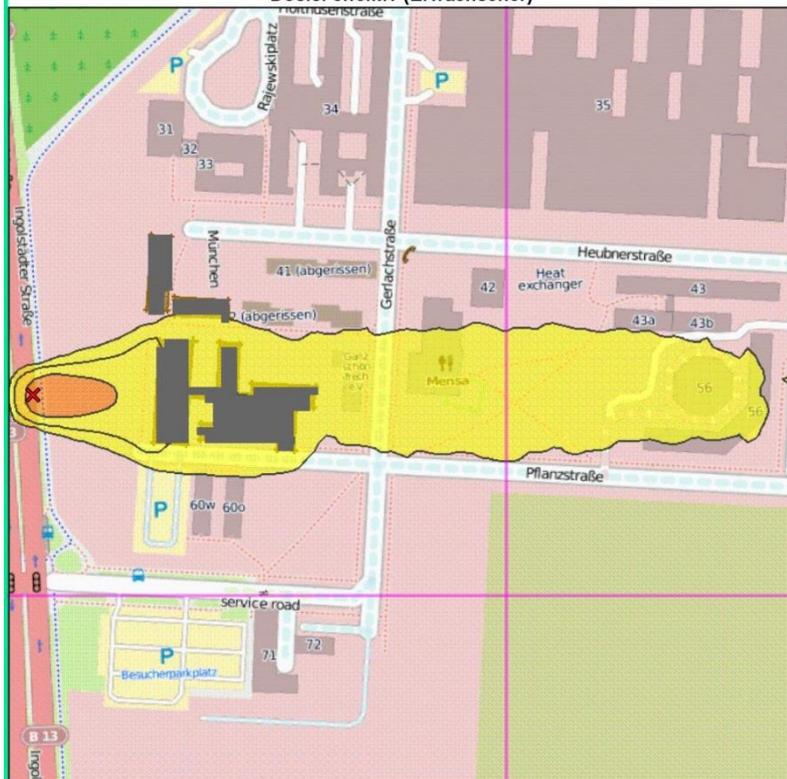
Abbildung 5.7-4 dreidimensionale Darstellung von Gebäuden in LASAIR.

Projekt: SSK (UTM32)
 Datum: 2014-03-04 09:20
 Bearbeiter: GHe

LASAIR 4.0.4-005

5884804e

Dosis: effektiv (Erwachsener)



32692500

Szenarium: 1, Detail-Rechnung
 Aufweitung: +/- 0 Grad
 Korngrößenverteilung: 20, 60, 80, 100
 Nuklid: Bq von I 131 A
 Nuklid: Bq von Co 60 A

Exposition von: 2014-03-04 09:10
 bis: 2014-03-04 10:10
 Freisetzung:
 EAST 32692208
 NORTH 5344125
 Beginn = 2014-03-04 09:10
 Dauer = 1 s
 Explosion (5000 g)

Dosis:

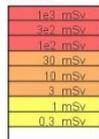


Abbildung 5.7-5 Ergebnisdarstellung für die Inhalationsdosis.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2015): Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima - Empfehlung der Strahlenschutzkommission; verabschiedet in der 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20. Februar 2015
- [2] INSTITUT DES RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (IRSN) (2011): IRSN publishes assessment of radioactivity released by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (Fukushima I) through 22 March 2011, Information Report, 22. März 2011.
- [3] ZAMG (2011): Nature News Blog: First estimates of total radioactive cesium and iodine emissions from Fukushima plant, http://blogs.nature.com/news/2011/03/first_estimates_of_radioactive.html, 22. März 2011 (zuletzt abgerufen am 12. November 2012).
- [4] CHINO, M. ET AL. (2011): Preliminary Estimation of Release Amounts of I-131 und Cs-137 Accidentally Discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the Atmosphere, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 48, No.7, 2011.
- [5] SCHEUERMANN, W. ET AL. (2011): Modeling Consequences of the Accident at Fukushima, atw 56, Heft 6, S. 325-331 (2011)
- [6] DE VISSCHER, A. (2014): Air Dispersion Modeling, Wiley ISBN 978-1-118-07859-4
- [7] ETLING D.(2010): Theoretische Meteorologie. Eine Einführung, Springer, 3. Auflage (2010)
- [8] ARYA, S.A. (1999): Air Pollution Meteorology and Dispersion, Oxford University Press, ISBN 978-0-19-507398-0
- [9] PÄSLER-SAUER, J. (1986): Comparative Calculations an Validation Studies with Atmospheric Dispersion Models,): Kernforschungszentrum Karlsruhe – Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik KfK 4164 (1986)
- [10] GRS (2003): Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung von Radon und Schwebstaub aus bergbaulichen Hinterlassenschaften, Fachband St.Sch. 4295 (2003)
- [11] KOK, Y.S., ET AL. (2005): Comparative Study of Dutch and German emergency-management models for near border nuclear accidents, Radiation Protection Dosimetry 2005; 113 (4)
- [12] HARMO Initiative on “Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes”, siehe <http://www.harmo.org>
- [13] KRASS, C. ET AL. (2004), Erweiterung der Ausbreitungsrechnung (ABR) der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) im Hinblick auf den Einsatz für die grenznahen Standorte Leibstadt und Fessenheim, IKE 4-157 (2004)
- [14] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2000), Umweltmeteorologie, Partikelmodell, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, VDI 3945, Blatt 3, September 2000, Beuth-Verlag, 2000
- [15] BMU (2005) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu §47 StrlSchV, Bonn 2005
- [16] QGIS (2013): A Free and Open Source Geographic Information System – Quantum Gis, siehe <http://www.qgis.org>
- [17] TA LUFT (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), vom 24. Juli 2002; verfügbar unter http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/taluft.pdf
- [18] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2003): Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen, Berichte der SSK, Heft 37 (2004)
- [19] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2004): Erläuterungsbericht zum Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen, Begründungen, Modelle, Daten und Programme, SSK-Heft 38
- [20] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2015): Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen; verabschiedet in der 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20.02.2015

- [21] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2004): Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen, SSK-Heft 39
- [22] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2004). Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV, Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition, SSK-Heft 44
- [23] BERG, H.P., LANGE, F. (1991): Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten bei Abfallgebinden zur Einhaltung der Störfallplanungswerte, Atomwirtschaft, November 1991, Seite 504 ff
- [24] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1992): Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre; Gaußsches Ausbreitungsmodell für Luftreinhaltepläne, VDI 3782, Blatt 1, Oktober 1992. Berlin: Beuth Verlag
- [25] SCHUMACHER, P. (2010): 7.Seminar zum AKN des FS Strahlenschutz vom 10.-12. März 2010 in Augsburg, ISSN 103-4506, S. 92-101.
- [26] KIT (2015): Online-Dokumentation zum RODOS-System: <https://resy5.iket.kit.edu/RODOS/>
- [27] LÖFFLER, H. ET AL. (2012): Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb, BfS-RESFOR-48/12, urn:nbn:de:0221-201202017259, 2012
- [28] THYKIER-NIELSEN, S., DEME, S. AND LÁNG, E. (1993): Calculation method for gamma-dose rates from spherical puffs. Risø National Laboratory, Risø-R-692 (EN), July 1993.
- [29] THYKIER-NIELSEN, S., S. DEME, AND E. LÁNG (1995). Calculation method for gamma-dose rates from Gaussian puffs. Risø-R-775(EN).
- [30] GESELLSCHAFT FÜR REAKTORSICHERHEIT (1981): Deutsche Risikostudie KKW, Fachband 8, Verlag TÜV Rheinland
- [31] JACOB, P., ET AL. (2010), Calculation of organ doses from environmental gamma rays using human phantoms and Monte Carlo methods, Part II: Radionuclides distributed in the air or deposited on the ground. GSF-Report 12/90, Neuherberg, Germany (1990).
- [32] S. ANDRONOPOULOS, ET AL.(2010): RODOS meteorological pre-processor and atmospheric dispersion model DIPCOT: a model suite for radiological dispersion in complex terrain, Radioprotection, 45, S77-S84, 2010
- [33] RODOS (2009): Dokument "RODOS-DIPCOT Model Description and Evaluation", RODOS (RA2)-TN(09)-01
- [34] GORSHKOV V.E., ET AL. (1995): "Reduced Integral Solutions for Gamma Absorbed Dose from Gaussian Plume", Health Phys. 69(2), pp. 210-218
- [35] ANDRONOPOULOS, S. AND J G BARTZIS (2010): "A gamma radiation dose calculation method for use with Lagrangian puff atmospheric dispersion models used in real-time emergency response systems", J. Radiol. Prot. 30 (2010) 747–759
- [36] SCHMIDT, F. ET AL. (2002): KFÜ-ABR - Weiterentwicklung des Dienstes Ausbreitungsrechnung in der Kernreaktor-Fernüberwachung Baden-Württemberg. In: R. Mayer-Föll, A. Keitel, W. Geiger; 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. 161-177.
- [37] WILBOIS, T. ET AL. (2009): SIM-NOT- Einsatz von Simulationen im radiologischen Notfallschutz. 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 IV 2008/09, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7500, S. 71-80.
- [38] SCHEUERMANN, W. ET AL. (2011): ABR – Einsatz der ABR bei Katastrophenschutzübungen. 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 VI 2010/2011, KIT Scientific Reports 7586
- [39] BERNNAT, W. ET AL. (2006): Berechnung der aktuellen Aktivitätsinventare der Reaktorkerne GKN-I, GKN-II, KKP-1 und KKP-2, unveröffentlicht

- [40] YAMAZAWA, H. ET AL. (1991): WIND04 AND PHYSIC: Meteorological Models comprised in the emergency dose information system SPEEDI; in Nuclear Energy Agency, 75 - Paris (France); 258 p; 1991; p. 52-61; Organisation for Economic Co-Operation and Development; Nuclear Energy Agency of the OECD (NEA); Specialists' Meeting on Advanced Modelling and Computer Codes for Calculating Local Scale and Meso-Scale Atmospheric Dispersion of Radionuclides and their Applications; Saclay (France); 6-8 Mar 1991
- [41] MARTENS, R. UND MAßMEYER, K. (1998) Description of the Atmospheric Flow Model MCF, RODOS(WG2)-RP(98)-01
- [42] VENKATESAN, ET AL. (1997): Natarajan Modeling Wind Field and Pollution Transport over a Complex Terrain Using an Emergency Dose Information Code SPEEDI, Journal of Applied Meteorology - J APPL METEOROL 01/1997; 36(9):1138-1159. DOI: 10.1175/1520-0450(1997)
- [43] KALTENBACH, J. (1997): Parallele und verteilte Simulation am Beispiel der Ausbreitung luftgetragener Schadstoffe, Dissertation, IKE 4-147, Stuttgart 1997
- [44] WEIGELE, M. (1997): Berechnung der nassen Deposition von Spurenstoffen im Rahmen des Notfallschutzes, M. Weigele, Dissertation, IKE 4-146, Stuttgart 1997
- [45] SOHN, A. ET AL. (1994): DOSE – Ein neuer Dosismodul zur Berechnung und Darstellung der effektiven Dosis und von 21 Organdosen für die Dosispfade Submersion, Inhalation und Bodenstrahlung, A. Sohn et al, IKE 6 UM3, Stuttgart 1994
- [46] ICRP (1996): Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74
- [47] BALDAUF, M. ET AL. (2011): Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. Monthly Weather Review, 139, 3887–3905. 2011
- [48] GLAAB, H. ET AL. (1988): Evaluation of the emergency dispersion model at the Deutscher Wetterdienst using ETEX data. Atmospheric Environment 32, 4359-4366, 1998
- [49] FAY, B. ET AL. (2004): Air pollution forecasts of the German Weather Service for IMIS, Kerntechnik 69 (5-6), 209-213, 2004
- [50] STEINKOPFF, T. ET AL. (2007): Early emergency response by means of dispersion forecasting – emergency management of the Deutscher Wetterdienst in the context of national and international agreements, Kerntechnik 72, 172-175, 2007
- [51] AVV-IMIS (1995): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27. September 1995, Nr. 200a
- [52] MELLOR, G.L., YAMADA, T. (1974): A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. Journal of Atmospheric Science 31, 1791-1806, 1974
- [53] SPARMACHER, H. ET AL. (1993): Below-cloud scavenging of aerosol particles: particle-bound radionuclides-experimental. Atmospheric Environment, 27A, No. 4, 605-618, 1993
- [54] GRAZIANI, G., KLUG, W. (1997): The European long range tracer experiment ETEX: evaluation of the model intercomparison, Proceedings of the ETEX symposium on long-range atmospheric Transport, model verification and emergency response, Vienna, May 1997, 105-108
- [55] GRAZIANI, G. ET AL. (1998): Real-time long-range dispersion model evaluation of the ETEX first experiment, JRC Ispra, EC, 1998
- [56] GALMARINI, S. ET AL. (2004): Ensemble dispersion forecasting, part I: concept, approach and indicators, part II: application and evaluation, Atmospheric Environment 38, 4607-4632, 2004
- [57] GLAAB, H. ET AL. (2006): Emergency Dispersion Models at the Deutscher Wetterdienst Model Evaluation using Ensemble Techniques, Proc. of the 9th ANS Emergency Preparedness and Response Meeting, pp. 181-187, Salt Lake City, 2006
- [58] BECKER, A. ET AL. (2007): Global backtracking of anthropogenic radionuclides by means of a receptor oriented ensemble dispersion modelling system in support of Nuclear-test-Ban Treaty verification, Atmospheric Environment 41, 4520-4534, 2007

- [59]BOUGHTON, B.A. ET AL. (1987) „A stochastic model of particle dispersion in the atmosphere“ Boundary-Layer Meteor. 40 1987 p. 147-163
- [60]ERMAK, D. L. (1992): „Dense-Gas Dispersion Advection-Diffusion Model“ Proceedings JANNAF Safety and Environment Protection Subcommittee meeting Aug. 10-14 1992,Chemical Propulsion Information Agency, CPIA Pub. 588 p. 215-224
- [61]ERMAK, D. L. ET AL.:„Implementation of the Random Displacement Method (RDM) in the ADPIC model framework“, UCRL-ID-121742
- [62]RODEAN, H. R. ET AL. (1992): „Comparison of two stochastic models of scalar diffusion in turbulent flow“. Preprint, Tenth Symposium on Turbulence and Diffusion 1992
- [63]DRAXLER, R. R. (1976): „Determination of atmospheric diffusion parameters“ Atmos. Environ. 10 1976 p. 99-105
- [64]NASSTROM. J. S. (1995): „Turbulence parametrizations for the RDM version of ADPIC“ UCRL-ID-120965, LLNL 1995
- [65]MACDONALD, J. E. (1960): „An aid to computation of terminal fall velocities of spheres“ J. Meteor. Aug. 1960, p. 463
- [66]MCMAHON, T.A. AND DENNISON, P. J. (19979): „Empirical atmospheric deposition parameters – a survey“ Atmospheric Environment 13 1979, p. 571.
- [67]ENSI (2009):Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G14, Schweizerische Eiegenossenschaft
- [68]SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT (1994): 814.501 Strahlenschutzverordnung (StSV)
- [69]GRS (2007): Entwicklung, Validierung und Bereitstellung eines atmosphärischen Ausbreitungsmodells für luftgetragene radioaktive Stoffe der Basis des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der neuen TA Luft, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, 2007, BMU – 2007-710; verfügbar unter http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/schriftenreihe_rs710.pdf
- [70]VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1985): Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre: Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung, VDI 3782, Blatt 3, Juni 1985, Beuth-Verlag
- [71]VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1990): Umweltmeteorologie: Ausbreitungsrechnung bei Ableitung von Rauchgasen über Kühltürme, VDI 3784 Blatt 2, Beuth-Verlag
- [72]MARTENS, R. ET AL. (2007): Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in AVV und SBG, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln, 2007; verfügbar unter http://www.grs.de/sites/default/files/GRS-A-3637_Abschlussbericht_ARTM_2011.pdf
- [73]JANICKE, U., JANICKE, L. (2011): AUSTAL2000 - Programmbeschreibung zu Version 2.5, Stand 2011-08-01, Ingenieurbüro Janicke, Überlingen; verfügbar unter http://www.austal2000.de/data/2011-08-03/austal2000_de.pdf
- [74]JANICKE, U., JANICKE, L. (2004): Weiterentwicklung eines diagnostischen Windfeldmodells für den anlagenbezogenen Immissionsschutz (TA Luft), Ingenieurbüro Janicke, Dunum, 2004, http://www.austal2000.de/data/stuff/dmk-2.2.0-report_de.zip
- [75]VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2002): Umweltmeteorologie, Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, VDI 3783, Blatt 8, Dezember 2002, Beuth-Verlag, 2002
- [76]STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): Daten zur Bodenbedeckung der Bundesrepublik (CORINE-Kataster)
- [77]JACOB, P. ET AL. (1984):, Monte Carlo Calculation an Analytical Approximation of Gamma-Ray Buildup Factors in Air, Nuclear Science and Engineering, Vol. 87, pp. 113 – 122 (1984) mit ERRATUM (TABLE III: Recommended Coefficients amn of the Approximation Polynomial)
- [78]JACOB, P., PARETZKE, H. (1985), Air-Ground Interface Correction Factors for γ Emitters in Air, Health Physics, Vol. 48, pp. 183 – 191

- [79] WALTER, H., HEINRICH G. (2011): Quick and clean: Dirty bomb scenarios evaluated with the decision support system LASAIR. International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity (ICRER 2011), Hamilton, Canada.
- [80] THIESSEN, K.M. ET AL. (2011): Assessing emergency situations and their aftermath in urban areas: The EMRAS II Urban Areas Working Group. International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity (ICRER 2011), Hamilton, Canada
- [81] BUNDESANZEIGER (2001): Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition Band 1 und 2, 2001
- [82] JANICKE, U. ET AL (2013): Ein Programmsystem zur Berechnung von Schadstoffausbreitung in der Atmosphäre, Version 3.3, 2013, http://www.janicke.de/data/lasat/lasat-3.3_de.pdf

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABR	Ausbreitungsrechnung der KFÜ Baden-Württemberg
ADPIC	Ausbreitungsmodell der Schweiz
ARTM	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell
ATSTEP	In RODOS integriertes Puffmodell (Eigenentwicklung KIT)
AUSTAL2000	Modell zur Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung konventioneller Schadstoffe; AUSTAL2000 ist eine Umsetzung von Anhang 3 der TA Luft
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU, jetzt Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, BMUB)
CFD	Computational Fluid Dynamics (numerische Strömungsmechanik)
COSMO-DE	Kurzzeitvorhersagemodell des DWD für Deutschland; COSMO steht für „Consortium for Small-Scale Modelling“
DWD	Deutscher Wetterdienst
DIPCOT	In RODOS integriertes Partikelmodell („DIspersion over COMplex Terrain“)
GML	Geography markup language
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH
IAEA	International Atomic Energy Agency
IKE	Institut für Kernenergetik und Energiesysteme - Universität Stuttgart
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
KFÜ	Kernreaktor-Fernüberwachungssystem
KKW	Kernkraftwerk
LASAIR	Programmsystem zur Lagrange-Simulation der Ausbreitung und Inhalation von Radionukliden
LPDM	Lagrangesches Partikel-Dispersions-Modell
ODL	Ortsdosisleistung
REI	Richtlinie für die Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
RIMPUFF	Risø Mesoscale PUFF model
RODOS	Realtime Online Decision Support System for nuclear emergency management
SSK	Strahlenschutzkommission
SAFER	Rechenprogramm des TÜV Nord

TA Luft Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
UM Umweltministerium
UTC Coordinated Universal Time (UTC)
VDI Verein Deutscher Ingenieure
ZAMG Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3.1-1: Bei den 2D-Darstellungen hinterlegtes Raster. Zur Orientierung eingezeichnet sind die Abstände 10, 25, 50, 75, 100 km sowie die Richtungen von 0° bis 315° in 45° Schritten.	17
Abbildung 3.1-2: Zuordnung von Farben und Symbolen für die Kurvendarstellungen in diesem Bericht (Szenarien E1M1-E2M6).	17
Abbildung 3.2-1: Windgeschwindigkeitsprofile der betrachteten Modelle aus RODOS, ABR, ARTM für das Szenario E1M1. Das Windfeld in LASAIR ist identisch zu ARTM und daher nicht gezeigt.	19
Abbildung 3.2-2: Summierte bodennahe Cs137-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	24
Abbildung 3.2-3: Summierte bodennahe Cs137-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	24
Abbildung 3.2-4: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	25
Abbildung 3.2-5: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	25
Abbildung 3.2-6: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	26
Abbildung 3.2-7: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	26
Abbildung 3.2-8: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	27
Abbildung 3.2-9: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	27
Abbildung 3.2-10: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIM-PUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	28
Abbildung 3.2-11: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), LASAIR (rechts oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIM-PUFF (unten rechts) für das Szenario E1M1: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	28
Abbildung 3.2-12: Verlauf von bodennaher Konzentration, Deposition und der verschiedenen Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M1.	29
Abbildung 3.3-1: Windgeschwindigkeitsprofile E1M2 der betrachteten Modelle aus ABR, ARTM (LASAIR) und RODOS.	30
Abbildung 3.3-2: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	32
Abbildung 3.3-3: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	32
Abbildung 3.3-4: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	33

Abbildung 3.3-5: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	33
Abbildung 3.3-6: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	34
Abbildung 3.3-7: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	34
Abbildung 3.3-8: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	35
Abbildung 3.3-9: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M2: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ² . ..	35
Abbildung 3.3-10: Verlauf von bodennaher Konzentration, Deposition und verschiedenen Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M2.	36
Abbildung 3.4-1: Windgeschwindigkeitsprofile E1M3 der betrachteten Modelle aus ABR, ARTM (LASAIR) und RODOS.	37
Abbildung 3.4-2: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	39
Abbildung 3.4-3: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	39
Abbildung 3.4-4: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	40
Abbildung 3.4-5: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	40
Abbildung 3.4-6: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	41
Abbildung 3.4-7: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	41
Abbildung 3.4-8: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	42
Abbildung 3.4-9: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M3: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ² . ..	42
Abbildung 3.4-10: Verlauf von bodennaher Konzentration, Deposition und verschiedener Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M3.	43
Abbildung 3.5-1: Windgeschwindigkeitsprofile E1M4 der betrachteten Modelle aus RODOS, ABR, ARTM (LASAIR).	44
Abbildung 3.5-2: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	47
Abbildung 3.5-3: Summierte bodennahe Xe133-Luftkonzentration der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	47

Abbildung 3.5-4: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	48
Abbildung 3.5-5: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	48
Abbildung 3.5-6: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	49
Abbildung 3.5-7: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	49
Abbildung 3.5-8: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	50
Abbildung 3.5-9: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), LASAIR (rechts oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M4: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	50
Abbildung 3.5-10: Verlauf von bodennaher Konzentration, Deposition und verschiedenen Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M4.	51
Abbildung 3.5-11: Vergleich von Cs137-Deposition und daraus resultierender Gammabodendosis für das Modell LASAIR im Szenario E1M4. Gezeigt ist ein Ausschnitt von etwas mehr als 10 km Abstand von der Quelle. Die großen Werte am Anfang der Fahne resultieren aus der Sedimentation. Auch dieser Effekt beginnt erst nach ca. 3,5 km Abstand zur Quelle. Zwei erhöhte Bereiche sind aufgrund des verwendeten Spektrums zu erkennen.	52
Abbildung 3.6-1: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	55
Abbildung 3.6-2: Gesamtdeposition I131 der Modelle ABR (links oben), ARTM (Mitte oben), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ²	56
Abbildung 3.6-3: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	56
Abbildung 3.6-4: Effektive Dosis der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km.	56
Abbildung 3.6-5: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ²	57
Abbildung 3.6-6: Inhalationsdosis Schilddrüse der Modelle ABR (links oben), ATSTEP (links unten), DIPCOT (Mitte unten), RIMPUFF (unten rechts) für das Szenario E1M5: Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ² . ..	57
Abbildung 3.6-7: Verlauf von bodennaher Konzentration, Deposition und verschiedener Dosisgrößen als Funktion des Abstands entlang der Hauptausbreitungsrichtung für das Szenario E1M5.	58
Abbildung 3.6-8: Einfluss des Niederschlags auf die bodennahe Luftkonzentrationen von Cs137 (oben) und I131(unten): Absolute Differenz (links) und relatives Verhältnis (rechts). Das Abknicken auf 0 ist verursacht durch das Ende des entsprechenden Rechengebiets.	59
Abbildung 3.6-9: Einfluss des Niederschlags auf die Deposition von Cs137 und I131: Enorme Unterschiede in Quellnähe. Der Knick in Quellnähe bei ABR 100 und ARTM1024 entsteht nur aufgrund der groben räumlichen Auflösung.	59
Abbildung 3.7-1: Vertikales Windgeschwindigkeitsprofil für das Szenario E2M6 für die Modelle ARTM (LASAIR), ABR, RODOS.	60

Abbildung 3.7-2: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 1.	62
Abbildung 3.7-3: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 2.	62
Abbildung 3.7-4: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 3.	63
Abbildung 3.7-5: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 4.	63
Abbildung 3.7-6: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 5.	64
Abbildung 3.7-7: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 6.	64
Abbildung 3.7-8: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 7.	65
Abbildung 3.7-9: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 8.	65
Abbildung 3.7-10: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 9.	66
Abbildung 3.7-11: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 10. ...	66
Abbildung 3.7-12: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 11. ...	67
Abbildung 3.7-13: Bodennahe Xenonkonzentration für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts): Zeitschritt 12. ...	67
Abbildung 3.7-14: Summierte Luftkonzentration Xe133 für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 75km Quellabstand in nördlicher Richtung bis zu 100km in südlicher Richtung.	68
Abbildung 3.7-15: Summierte Luftkonzentration Xe133 für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 25x25km ²	68
Abbildung 3.7-16: Summierte Aktivitätskonzentration von Xe133 entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).	69
Abbildung 3.7-17: Gesamtdeposition I131 entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).	70
Abbildung 3.7-18: Effektive Dosis für die Modelle ABR100 (oben links), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 75km Quellabstand in nördlicher Richtung bis zu 100km in südlicher Richtung.	71
Abbildung 3.7-19: Effektive Dosis für die Modelle ABR100 (oben links), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 25x25km ²	71
Abbildung 3.7-20: Effektive Dosis entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).	72
Abbildung 3.7-21: Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 75km Quellabstand in nördlicher Richtung bis zu 100km in südlicher Richtung.	73

Abbildung 3.7-22: Inhalationsdosis Schilddrüse für die Modelle ABR100 (oben links), ARTM1024 (oben Mitte), LASAIR (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte) und RIMPUFF (unten rechts). Gezeigt ist der Ausschnitt von ca. 25x25km ²	73
Abbildung 3.7-23: Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene für das Szenario E2M6 entlang verschiedener Windrichtungen (entsprechend der Hauptwindrichtungen der jeweiligen Freisetzungsphasen).....	74
Abbildung 3.8-1: Vertikales Windgeschwindigkeits- (links) und Windrichtungsprofil (rechts) für das Szenario E3M7	76
Abbildung 3.8-2: Legende für die Verlaufskurven im Szenario E3M7.....	76
Abbildung 3.8-3: Vergleich der bodennahen Aktivitätskonzentrationen von Xe133 für die Modelle ABR (oben links), ARTM mit L _M =60m (oben Mittel), ARTM mit L _M =150m (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mittel), RIMPUFF (unten rechts): Ausschnitt 100x100 km ²	78
Abbildung 3.8-4: Vergleich der bodennahen Aktivitätskonzentrationen von Xe133 für die Modelle ABR (oben links), ARTM mit L _M =60m (oben Mittel), ARTM mit L _M =150m (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mittel), RIMPUFF (unten rechts): Ausschnitt 25x25 km ²	78
Abbildung 3.8-5: Vergleich der summierten bodennahen Aktivitätskonzentrationen von Xe133 entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.	79
Abbildung 3.8-6: Vergleich der Deposition von I131 entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.....	79
Abbildung 3.8-7: Vergleich der effektiven Dosis für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMPUFF (von links nach rechts). Die obere Reihe zeigt einen Gebietsausschnitt von 100x100 km ² , die untere einen Ausschnitt von ca. 25x25 km ²	80
Abbildung 3.8-8: Vergleich der effektiven Dosis entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.....	80
Abbildung 3.8-9: Vergleich der Inhalationsdosis Schilddrüse für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMPUFF (von links nach rechts). Die obere Reihe zeigt einen Gebietsausschnitt von 100x100 km ² , die untere einen Ausschnitt von ca. 25x25 km ²	81
Abbildung 3.8-10: Vergleich der Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene entlang der durch die Windrichtungen 190°, 200°, 210° und 220° definierten Achsen.	81
Abbildung 3.9-1: Windfelder im vierten Zeitschritt in den Höhen 10 m (oben), 122 m (Mitte) und 446 m (unten) für die Umgebung von Biblis bis zu ca. 100 km Entfernung. Der Standort Biblis ist gelb markiert in der unteren linken Ecke. Karten von Google Geographical.	83
Abbildung 3.9-2: Windfelder in der Umgebung von Biblis (gelbe Markierung). Dargestellt sind die horizontalen Windvektoren in den Höhen von 10 m bis 1163 m (entsprechend der Schichtmitten der Höhenschichten von COSMO-DE). Karten von Google Geographical.	84
Abbildung 3.9-3: Vertikale Windprofile (Richtung links, Geschwindigkeit rechts) am Standort Biblis gemäß COSMO-DE (nur niedrigste Höhenschichten) für die ersten sechs Zeitschritte (von oben nach unten).....	85
Abbildung 3.9-4: Niederschlagsprognose für die ersten 5 Stunden der Freisetzung gemäß COSMO-DE für die ersten 5 Prognosestunden. Im Anschluss ist der Niederschlag im betrachteten Gebietsausschnitt gering bzw. nicht vorhanden. Der Standort Biblis befindet sich im linken unteren Teil der Abbildungen (Zentrum des eingezeichneten Rasters).....	86
Abbildung 3.9-5: Legende für die Farbuordnungen der Verlaufskurven im Szenario R1	86
Abbildung 3.9-6: Summierte bodennahe Luftkonzentrationen Xe133 für die Modelle ABR (oben links), LPDM (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte), RIMPUFF (unten rechts): Gebietsausschnitt ca. 100x100 km ² . Karten von Google Geographical.	89
Abbildung 3.9-7: Summierte bodennahe Luftkonzentrationen Xe133 für die Modelle ABR (oben links), LPDM (oben rechts), ATSTEP (unten links), DIPCOT (unten Mitte), RIMPUFF (unten rechts): Gebietsausschnitt ca. 25x25 km ² . Karten von Google Geographical.	90

Abbildung 3.9-8: Gesamtdeposition I131 für die Modelle ABR (oben) und LPDM (unten): Trockener Anteil (links), nasse Deposition (Mitte), Gesamtdeposition (rechts). Karten von Google Geographical.	90
Abbildung 3.9-9: Gesamtdeposition I131 für die Modelle ATSTEP (oben), DIPCOT (Mitte) und RIMPUFF (unten): Trockener Anteil (links), nasse Deposition (Mitte), Gesamtdeposition (rechts). Karten von Google Geographical.	91
Abbildung 3.9-10: Verlauf von bodennaher Luftkonzentration Xe133 und Gesamtdeposition von I131 entlang der durch Windrichtungen 210°, 225° und 250° definierten Achsen.	92
Abbildung 3.9-11: Deposition von I131: Trockener und nasser Anteil I131 entlang der durch Windrichtungen 210°, 225° und 250° definierten Achsen.	93
Abbildung 3.9-12: Effektive Dosis für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMPUFF (von links nach rechts) für die Gebiets-ausschnitte 100x100 km ² (oben) und 25x25 km ² (unten).	93
Abbildung 3.9-13: Inhalationsdosis Schilddrüse Erwachsene für die Modelle ABR, ATSTEP, DIPCOT und RIMPUFF (von links nach rechts) für die Gebietsausschnitte 100x100 km ² (oben) und 25x25 km ² (unten).	94
Abbildung 3.9-14: Effektive Dosis und Inhalationsdosis Schilddrüse entlang der durch die Windrichtungen 210°, 225° und 250° definierten Achsen für die Modelle ABR, DIPCOT, ATSTEP und RIMPUFF. ...	94
Abbildung 5.3-1 Start-Menü der Web-basierten ABR-Kommandierung mit Möglichkeit zum Import gespeicherter Szenarien. Verweis zur Verwaltung von Simulationen.	138
Abbildung 5.3-2 Konfiguration der Anlagenparameter in der ABR-Kommandierung.	139
Abbildung 5.3-3 Konfiguration der Emissionsdaten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit zum Import eines Quellterms (Q-Pro-Format).	139
Abbildung 5.3-4 Manuelle Konfiguration der Meteorologie (alternativ können Messdaten oder Vorhersagedaten aus COSMO-EU oder COSMO-DE verwendet werden).	140
Abbildung 5.3-5 ABR-Darstellung (hier effektive Äquivalentdosis Kleinkinder). Für jeden Punkt in der Karte ist die Auskopplung von Zeitreihen der ABR-Ergebnisse möglich.	140
Abbildung 5.3-6 Darstellung eines in der ABR gerechneten massenkonsistenten Windfeldes. (Standort GKN). Gezeigt ist eine Höhenschicht.	141
Abbildung 5.5-1 Eingabeoberflächen von ADPIC.	163
Abbildung 5.5-2 Ausgabeoberflächen von ADPIC: Übersicht Rechenergebnisse.	164
Abbildung 5.5-3 Ausgabeoberflächen von ADPIC: Darstellung Rechenergebnisse.	164
Abbildung 5.7-1 Start-Menü von LASAIR (Anlegen eines Projekts).	188
Abbildung 5.7-2 Definition von Gebäudestrukturen im Nahbereich (rot-gestricheltes Quadrat).	188
Abbildung 5.7-3 Menü von LASAIR (Ergebnisse).	189
Abbildung 5.7-4 dreidimensionale Darstellung von Gebäuden in LASAIR.	189
Abbildung 5.7-5 Ergebnisdarstellung für die Inhalationsdosis.	190

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.3-1 Beim Modellvergleich beteiligte Modelle bzw. Systeme.....	10
Tabelle 2.2-1 Verwendete Ausgabeformate und Koordinatensysteme der Modelle bzw. Systeme.	12
Tabelle 2.3-1 Grundlegende Annahmen für die Rechnungen.....	13
Tabelle 2.4-1 In den Szenarien verwendete Freisetzungen und Emissionsparameter.....	14
Tabelle 2.5-1 Meteorologische Randbedingungen für die E1-Szenarien.....	14
Tabelle 2.5-2 Verlauf der Winddrehung für E2M6.....	15
Tabelle 3.1-1 In diesem Bericht verwendete Nomenklatur der ABR und ARTM-Rechnungen.....	18
Tabelle 3.2-1 Depositionsgeschwindigkeiten in m/s in den verschiedenen Modellen. Die Angaben für LASAIR werden aufgrund des dort verwendeten zusätzlichen Sedimentationsprozesses und der im Vergleich zu den anderen Modellen unterschiedlichen Korngrößenverteilungen weiter unten beschrieben	20
Tabelle 3.2-2 Übersicht über die zum Partikelgrößenbereich gehörenden Depositionsparameter.	21
Tabelle 3.2-3 Dosiskoeffizienten für I-131, Schilddrüse und Atemraten (Erwachsener) wie in den Vergleichsrechnungen verwendet.	23
Tabelle 3.6-1 Washout-Faktoren bei 2mm/h.	53

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-1/90

Warnecke, E.; Odoj, R.; Simon, R. (Editors)

Requirements for Waste Acceptance and Quality Control.

Proceedings of the 2nd International Seminar on Radioactive Waste Products.

28 May - 1 June 1990, Research Centre Jülich, Federal Republic of Germany.

Salzgitter 1990

BfS-SCHR-2/91

Sicherheitsreihe Nr. 6.

IAEO-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe. Ausgabe 1985.

(Diese Übersetzung enthält auch die von der IAEO im Nachtrag 1988 zu den Empfehlungen vorgenommenen Ergänzungen).

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-3/91

Schüttmann, W.; Aurand, K.

Die Geschichte der Außenstelle Oberschlema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik Frankfurt am Main.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-4/91

Bornemann, O. (mit einem Beitrag von *R. Fischbeck*)

Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-5/92

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Eine Dokumentation.

Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-6/92

Bestandsaufnahme IMIS-IT.

Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-7/92

Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).

Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-8/92

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-9/93

Grosche, B.; Burkart, W. (Editors)

Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.

Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-10/93

von Borstel, L.E.

Lösungen in marinen Evaporiten.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-11/93

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft,

Entstehung.

Eine Dokumentation.

Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-12/93

IMIS-Statusgespräch.

Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-13/94

Przyborowski, S.; Röhnsch, W.

ICRP-Publikation 65

über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.

Salzgitter, 1994

BfS-SCHR-14/95

Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Dezember 1995

BfS-SCHR-15/96

Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.

Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BfS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.

Salzgitter, März 1996

BfS-SCHR-16/98

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-17/98

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-18/98

Sonnek, C.

Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.

Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.

Salzgitter, Juli 1998

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-19/99

Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.

ICRP-Veröffentlichung 73.

Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.

Von der Kommission angenommen im März 1996.

Salzgitter, Mai 1999

BfS-SCHR-20/99

WORKSHOP

Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.

22. bis 24. Juni 1998, Berlin.

Salzgitter, November 1999

BfS-SCHR-21/00

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Oktober 2000

BfS-SCHR-22/01

Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlussbericht.

Salzgitter, März 2001

BfS-SCHR-23/01 (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)

Steinmetz, M.

UV-Index in practical use

Proceedings of an International Workshop

Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000

Salzgitter, 2001

BfS-SCHR-24/02

Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberg-Schnabel A.

High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:

Radiation Dose and Health Effects

Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000

Neuherberg, März 2002

BfS-SCHR-25/02

Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.

Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.

Bundesamt für Strahlenschutz

21. und 22. Juni 2001

Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-26/02

Bruchertseifer, F.; Pohl, H.

Fachgespräch

Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.

1. und 2. März 2001

Salzgitter, Juni 2002

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-27/03

*Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.;
Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.*
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001
Daten und Bewertung
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Salzgitter, Januar 2003

BfS-SCHR-28/03

Walter, H.
2.Fachgespräch SODAR
19. u. 20. März 2003
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Zusammenfassung der Vorträge
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-29/03

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
- Programmreport 2001 -
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums
Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-30/04

Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.
Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
Abschlussbericht
Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04

Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.
Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004
Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2003
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SCHR-33/05

Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung
des BfS am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach
Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-34/05 (nur als CD vorhanden)

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz
Daten und Bewertung für 2002 und 2003
Salzgitter, Juni 2005

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-35/05 (nur als CD vorhanden)

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2004

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2005

BfS-SCHR-36/05 (nur als CD vorhanden)

Steinmetz, M.

200 Jahre solare UV-Strahlung

Geschichte und Perspektiven

Wissenschaftliches Kolloquium

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-37/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-38/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-39/06

Borrmann, F.; Brennecke, P.; Koch, W.; Kugel, K.; Rehs, B.; Steyer, S.; Warnecke, E.

Management of Decommissioning Waste in Germany

Contribution to the IAEA CRP on „Disposal Aspects of Low and Intermediate level Decommissioning

Waste“! (T2.40.06)

Stand: August 2006

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-40/06

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2005

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrative begleitete

Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2006

BfS-SCHR-41/07

Schkade, U.-K.; Arnold, D. ^{)}; Döring, J.; Hartmann, M.; Wershofen, H. ^{*)}*

^{*)} *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Gammastrahlungsmessung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide
in Umweltproben

7. Vergleichsanalyse „Boden 2006“

Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität

Berlin, Dezember 2006

Salzgitter, Januar 2007

BfS-SCHR-42/07

Dushe, C.; Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Schulz, H. ^{)}*

^{*)} *IAF-Radioökologie GmbH Dresden*

Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Radonexhalation großer Flächen

Salzgitter, Februar 2007

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-43/07

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis
Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung
(§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung)
Rundschreiben vom 12.01.2007 RS II 3 – 15530/1 (GMBI 2007 S. 623)
Salzgitter, September 2007

BfS-SCHR-44/07

Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.; Trugenberg-Schnabel, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2006
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Dezember 2007

BfS-SCHR-45/09

urn:nbn:de:0221-2009011200
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2007
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, Januar 2009

BfS-SCHR-46/09

urn:nbn:de:0221-2009082120
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2008
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-47/09

urn:nbn:de:0221-2009082154
Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007
ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007
Deutsche Ausgabe
Salzgitter, November 2009

BfS-SCHR-48/10

urn:nbn:de:0221-201009153217
Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2009
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit
Salzgitter, November 2010

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-49/11

urn:nbn:de:0221-201111236640

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2010

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, November 2011

BfS-SCHR-50/12

urn:nbn:de:0221-2012120510259

Beyermann, M.; Bünger, T.; Guttman, A.; Schmidt, K.; Wershofen, H.; Winterfeldt, I.; Labahn, A.

Ringversuch zur Bestimmung von Radon-222, Radium-226, Radium-228, Uran-238, Uran-234 und der Gesamt- α -Aktivität in Trinkwasser – Ringversuch 4/2012

Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-51/13

urn:nbn:de:0221-2013012210275

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2011

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2012

BfS-SCHR-52/13

urn:nbn:de:0221-2013110811124

Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.;

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2012

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2013

BfS-SCHR-53/14

urn:nbn:de:0221-2014010911155

Schmitt-Hannig, A.; Peter, J.; Bernhard-Ströl, C.; Trugenberger-Schnabel, A.; Hachenberger, C,

Löbke-Reinl, A.; Schulte-Büttner, B.

International Cooperation and Research

Report on International Cooperation and Research Activities at the Federal Office for Radiation Protection

Status 2013

Salzgitter, Januar 2014

BfS-SCHR-54/14

urn:nbn:de:0221-2014081211479

Schmitt-Hannig, A.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2013

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Salzgitter, September 2014

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-55/14

urn:nbn:de:0221-2015021712440

*Walter, H.; Gering, F.; Arnold, K.; Gerich, B.; Heinrich, G.; Welte, U. *)*

**) Strahlenschutzkommission*

Simulation potentieller Unfallszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken mit RODOS

Salzgitter, Dezember 2014

BfS-SCHR-56/15

urn:nbn:de:0221-2015052612750

*Brendebach, B. *); Imielski P. *); Kühn, K.; Rehs, B.*

**) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit*

Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Europa

Stand: Dezember 2014

Salzgitter, Mai 2015

BfS-SCHR-57/15

urn:nbn:de:0221-2015082013351

Schmitt-Hannig, A.; Löbke-Reinl, A.; Peter, J.; Gödde, R.; Hachenberger, C.;

Trugenberger-Schnabel, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2014

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Salzgitter, September 2015

BfS-SCHR-58/16

urn:nbn:de:0221-2016022414011

Arx, Cyrill von; Glaab, Hubert; Grimm, Christian; Martens, Reinhard; Päsler-Sauer, Jürgen;

Scheuermann, Walter; Schnadt, Horst; Schumacher, Peter; Torchiani, Silke; Walter, Hartmut;

Wilbois, Thomas

Vergleich aktuell eingesetzter Modelle zur Beschreibung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe

Abschlussbericht zum Arbeitspaket AP 5500 der Arbeitsgruppe „Erfahrungsfluss Fukushima“ des Ausschusses „Notfallschutz“ der Strahlenschutzkommission

Salzgitter, Februar 2016

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333 0

Telefax: + 49 (0)3018 333 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz