

# Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

**Weiterentwicklung der Eingangparameter für das  
Programmsystem LASAIR in der Nuklearspezifischen  
Gefahrenabwehr  
- Vorhaben 3607S04553**

**Auftragnehmer:  
Ing.-Büro Janicke, Dunum**

Lutz Janicke

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

**BfS-RESFOR-06/09**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
**urn:nbn:de:0221-2009011266**

Salzgitter, April 2009

# **Weiterentwicklung der Eingangsparameter für das Programmsystem LASAIR in der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr**

**Abschlußdatum: Februar 2008**

**Vorhaben: 3607S04553**

**Auftragnehmer: Ing.-Büro Janicke, Dunum**

**Autor: Dr. Lutz Janicke**

## Zusammenfassung

Das Programmsystem LASAIR für die Dosisabschätzung nach Freisetzung radioaktiver Stoffe aus einer detonierten unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtung (USBV) in der Version 2.3 wurde in folgenden Punkten weiterentwickelt:

- Für die Ausbreitungsrechnung wird auf das Programm LASAT 3.0 zurückgegriffen (früher: LASAT 2.9) und die Dateistruktur der Zwischenergebnisse ist entsprechend geändert.
- Zusätzlich zur Verteilung von Konzentration und Deposition wird auch die Gamma-Wolkenstrahlung und die Gamma-Bodenstrahlung berechnet.
- Neben Gas wird auch Staub in 4 Korngrößenfraktionen in die Ausbreitungsrechnung einbezogen.
- Neben den wichtigsten Rechenparametern und Darstellungsparametern wird auch die Formel zur Berechnung der anfänglichen Quellausdehnung in eine externe Datei ausgelagert, die bei Bedarf geändert werden kann, ohne in LASAIR selbst einzugreifen.
- Zusätzlich zur Möglichkeit, das dargestellte Ergebnis in Form einer PDF-Datei abzuspeichern, wurde der Export in 3 verschiedenen Formaten zur Weiterverarbeitung in anderen Programmen vorgesehen:
  1. Export der berechneten Werte als CSV-Datei (*comma separated values*) zur Übernahme in eine Tabellenkalkulation.
  2. Export der Darstellung in Vektorform als Shape-Dateien zum Import in ein GIS (z.B. ArcInfo).
  3. Export der Darstellung in Vektorform als KML-Datei (*keyhole markup language*) zum Import in einen geeigneten Geo-Browser.

Die aktuelle Versionsnummer ist 3.0.

# 1 Durchgeführte Arbeiten

Die Arbeiten an dem Projekt wurden im vorgesehenen Zeitrahmen und im vorgesehenen Umfang durchgeführt. Die Numerierung der folgenden Abschnitte entspricht den im Angebot aufgeführten Arbeitspaketen.

## 1.1 Parametrisierung der Quellwolke in LASAIR

Bisher wurde die HOTSPOT-Formel verwendet, um aus der Vorgabe der Sprengstoffmenge die Anfangsausdehnung der Wolke mit kontaminiertem Material zu berechnen. Da abzu-sehen ist, daß sich in nächster Zukunft hierzu Korrekturen ergeben werden, wurde diese Berechnung aus dem Java-Quelltext herausgenommen und über JavaScript implementiert. Der JavaScript-Text ist ein separater Text, der später jederzeit unabhängig vom eigentlichen LASAIR mit einem einfachen Text-Editor geändert werden kann. Er wird von LASAIR zur Laufzeit von der eingebauten *scripting engine* interpretiert.

Das Skript wird in der Liste der LASAIR-Parameter gespeichert, die dafür allerdings im Format geändert werden mußte. Statt einer einfachen Text-Datei wird jetzt eine XML-Datei verwendet, die bessere Möglichkeiten zur Überprüfung der Struktur und Festlegung des Datenformates bietet. Auch die Aufteilung in *Default*-Parameter und *Settings*-Parameter wurde geändert. Es gibt jetzt zwei XML-Dateien, die externe Parameter für LASAIR bereitstellen:

### 1. LASAIRsettings.xml

Hier stehen alle Angaben, die zum Starten von LASAIR erforderlich sind, also insbesondere die Pfadangaben, wo die verschiedenen von LASAIR benötigten Dateien und Programme zu finden sind. Diese Angaben können vom Anwender leicht über die Registerkarte Konfiguration geändert werden. Auch wenn diese Datei Fehler enthält, kann LASAIR gestartet werden und der Anwender erhält die Möglichkeit, diese Fehler interaktiv zu beheben. Es erübrigt sich damit ein separates Installationsprogramm und LASAIR kann jederzeit leicht Modifizierungen des Dateisystems angepaßt werden.

### 2. LASAIRparameter-xxxxxxx.xml

In dieser Datei sind alle Parameter zusammengefaßt, die Einfluß auf das Rechenergebnis und die Art der Darstellung haben. Um eine Vergleichbarkeit von Rechenergebnissen aus verschiedenen LASAIR-Installationen zu gewährleisten, sollte diese Datei möglichst nicht verändert werden. Damit Änderungen vom Programm erkannt werden können, enthält der Dateiname die Prüfsumme *xxxxxxx*, die bei jedem Einlesen kontrolliert und bei den Ergebnissen protokolliert wird.

Änderungen an diesen Parametern können nur auf die Weise vorgenommen werden, daß eine Kopie mit dem Namen *LASAIRparameter-modified.xml* angelegt wird, die geändert und vom Anwender als Alternative zum Standard-Parametersatz ausgewählt werden kann. Rechenergebnisse mit dem modifizierten Parametersatz sind

an der veränderten Prüfsumme erkenntlich. Ein ursprünglich erstellter graphischer Editor für diese Parameter wurde wieder aus dem Programm entfernt, um den Anwender nicht zum Spielen mit den Parameterwerten zu verführen.

Die XML-Dateien entsprechen jeweils einem Java-Objekt und sind so angelegt, daß sie mit dem in Java enthaltenen *XMLDecoder* eingelesen werden können.

## 1.2 Charakterisierung und Quantifizierung der Freisetzungsteile

Bisher wurde die Ausbreitungsrechnung nur mit einem einzigen Stoff durchgeführt ohne Berücksichtigung von Deposition und Sedimentation. Die trocken deponierte Stoffmenge wurde nachträglich aus der berechneten bodennahen Konzentration und einer vorgegebenen Depositionsgeschwindigkeit bestimmt. Dieses Verfahren ist nicht konsistent, da es die durch Deposition abgelagerte Stoffmenge nicht im Konzentrationswert berücksichtigt. Der Fehler ist jedoch bei kleinen Depositionsgeschwindigkeiten in der Regel vernachlässigbar und führt nur zu einer geringen Überschätzung von Konzentration und Deposition.

Mit dem Wunsch, auch gröberen Staub mit stärkerer Deposition und insbesondere Sedimentation (gravitatives Absinken der Staubkörner) behandeln zu können, mußte diese Vorgehensweise geändert werden. Die Ausbreitungsrechnung wird jetzt wie in ARTM mit 5 Stoffen durchgeführt, Gas und den 4 Staubklassen  $PM_1$ ,  $PM_2$ ,  $PM_3$  und  $PM_4$  mit den Klassengrenzen bei den aerodynamischen Durchmessern  $2,5\mu$ ,  $10\mu$  und  $50\mu$ . Während die Staubklassen mit den in der TA Luft vorgegebenen und in ARTM verwendeten Werten von Depositions- und Sedimentationsgeschwindigkeit gerechnet werden, wird für Gas die Depositionsgeschwindigkeit  $0,01\text{ m/s}$  verwendet. Bei der Auswertung wird dann die trocken deponierte Menge entsprechend der tatsächlichen Depositionsgeschwindigkeit umskaliert.

Gleichermaßen wird bei der nassen Deposition verfahren: Die Ausbreitungsrechnung verwendet eine sehr geringe Auswaschrates von etwa  $10^{-8}\text{ s}^{-1}$  und die naß deponierte Menge wird bei der Auswertung durch Umskalieren des berechneten Wertes unter Berücksichtigung von Stoffart und Niederschlagsintensität bestimmt. Auch dieses Verfahren führt zu einer geringfügigen Überschätzung von Konzentration und Deposition, hat aber den Vorteil, daß Nuklide, Freisetzungsmengen und Niederschlagsintensität erst bei der Ergebnisdarstellung angegeben zu werden brauchen.

Zur Berechnung von Inhalations-Dosis und Aktivität wird nur die Summe von Gas,  $PM_1$  und  $PM_2$  verwendet, während  $\gamma$ -Dosis und  $\gamma$ -Aktivität aus der Gesamtkonzentration berechnet werden.

Standardwerte für die Mengenverteilung auf die 4 Staub-Klassen sind in der Parameterdatei mit vorläufigen Werten definiert, die eventuell entsprechend den Erkenntnissen aus Sprengversuchen zu korrigieren sind. Unabhängig davon kann für jedes Szenarium eine eigene Korngrößenverteilung festgelegt werden, um den Besonderheiten des Einzelfalls Rechnung zu tragen.

### 1.3 Berücksichtigung der Gamma-Submersion und der Bodenstrahlung

Zur Berechnung der  $\gamma$ -Wolkenstrahlung wurde die Ausbreitungsrechnung von LASAT 2.9 auf LASAT 3.0 umgestellt, da diese Version bereits ein entsprechendes Zusatzprogramm LOGGAM enthält, das das Rechenverfahren von ARTM implementiert hat. Mit dieser Umstellung ist allerdings auch ein neues Datenformat für die Rechenergebnisse verbunden.

Während die früher verwendeten ARR-Dateien ein Gemisch aus Text und komprimierten Binär-Daten sind, haben die jetzigen DMN-Dateien, die auch von ARTM und AUSTAL2000 verwendet werden, eine wesentlich einfachere Struktur. Sie besitzen einen Beschreibungsteil (einfache Textdatei) und einen separaten binären Datenteil, der mit einem Standardverfahren (GZIP) komprimiert ist. Damit sind sie bei Bedarf wesentlich einfacher von anderen Programmen zu lesen.

LASAIR braucht jetzt auch nicht mehr die Hilfe des Programms LASDAP, um die Dateien in eine mit Java-Mitteln lesbare Datei umzuwandeln. Allerdings fällt damit auch die Option weg, die Ergebnisse von LASDAP glätten zu lassen. Als Ersatz wurde ein verbessertes Glättungsverfahren in Java implementiert, das die Volumen-Mittelwerte in Punktwerte auf einem Raster mit halber Maschenweite umrechnet und dabei besser als zuvor die Randbereiche, die durch wenige Simulationsteilchen repräsentiert werden, glätten kann.

Zur Verringerung des Rechenaufwandes bei der Berechnung der  $\gamma$ -Submersion werden die Ergebnisse der LASAT-Rechnung hierfür auf die beiden Stoffe Gas und Staub reduziert. Die  $\gamma$ -Submersion wird für die beiden Energiebereiche (0,1 und 1 MeV) getrennt berechnet und in der Auswertung nuklidspezifisch addiert.

Die Bodenstrahlung wird nach den Vorgaben der Störfall-Berechnungsgrundlagen für alle Altersklassen berechnet. Entsprechend ist in LASAIR die Auswahl von Kind oder Erwachsener auf alle Altersklassen erweitert und auch bei der Berechnung der Inhalations-Dosis in der Atemrate berücksichtigt.

Das Menu zur Auswahl der darzustellenden Größe wurde um die Punkte  $\gamma$ -Dosis und  $\gamma$ -Aktivität erweitert, wobei die Dosis wahlweise mit oder ohne Bodenstrahlung (Langzeiteffekt) dargestellt werden kann.

### 1.4 Darstellung der LASAIR-Ergebnisse in einem Geo-Browser

Verschiedene Geo-Browser bieten die Möglichkeit, vom Anwender definierte graphische Elemente ortsbezogen darzustellen, sofern die Grafik im KML-Format vorliegt (XML-Datei entsprechend der OpenGIS KML 2.2 Spezifikation).

In LASAIR wurde daher die Möglichkeit geschaffen, das im Landkartenfenster dargestellte Rechenergebnis in Form von Iso-Linien und Flächen als Vektorgrafik im KML-Format zu exportieren. Dabei werden alle wichtigen Rechen- und Darstellungsparameter mitübertragen und sind bei der Darstellung in einem Geo-Browser sichtbar oder einsehbar. Auch der Quellort wird in Form einer Ortsmarkierung kodiert.

Zusätzlich wurde die Möglichkeit vorgesehen, den Referenzpunkt der LASAIR-Rechnung beim Export ohne Einschränkung auf das Gebiet Deutschlands neu zu wählen. Obwohl die Ausbreitungsrechnung formal immer nur für Deutschland durchgeführt werden kann, ist das Ergebnis auf diese Weise auf jeden Punkt der Erde übertragbar.

## 1.5 Ausgabe in bestimmten Datenformaten und Änderungen an der Grafik-Legende

Die Möglichkeit, Rechenergebnisse zu exportieren, wurde um zwei Alternativen erweitert. Zum einen können die dargestellten Werte als Tabelle in Form einer CSV-Datei ausgeschrieben und damit von jeder Tabellenkalkulation importiert werden. Dabei kann bei der Darstellung der Gleitkommazahlen zwischen einem Dezimalpunkt und einem Dezimalkomma gewählt werden. Die Rechenparameter werden als zusätzliche Tabellenzeilen im Tabellenkopf übertragen.

Als weitere Alternative wurde der Export der Ergebnisdarstellung in Form von Shape-Dateien implementiert, wie sie beispielsweise von ArcInfo verwendet werden. Da hierbei für jede Ergebnisdarstellung eine ganze Reihe von Dateien erzeugt werden, werden zur besseren Übersicht alle Dateien, die zu einer Ergebnisdarstellung gehören, in einem Archiv (ZIP-Datei) zusammengefaßt.

Bisher war in LASAIR festvorgegeben, für welche Werte Iso-Linien erzeugt und in welcher Farbe die zugehörigen Flächen dargestellt werden. Diese Darstellungsparameter sind jetzt in der Parameter-Datei definiert (siehe Abschnitt 1.1) und können dort vom Anwender verändert werden. Da die Flächen bisher mit halbtransparenten Farben übereinander gemalt wurden, ergaben nur wenige Farbkombinationen brauchbare Ergebnisse. Um dem Anwender die Möglichkeit zu geben, bei Bedarf die Farben frei wählbar lokalen Standards anzupassen, wurde das Darstellungsverfahren geändert. Die Farbflächen werden jetzt zunächst in eine separate Ebene voll deckend übereinander gemalt und dann wird die gesamte Ebene mit wählbarer Transparenz dem Karten-Untergrund überlagert. Dadurch entfallen die Einschränkungen an die Farbwerte.

## 2 Von LASAIR exportierte Daten

Rechenergebnisse können von LASAIR in Form von CSV-, SHP, oder KLM-Dateien exportiert werden, die grundsätzlich in das jeweilige Projektverzeichnis geschrieben werden. Der Dateiname ist *Name.xtn*, wobei *Name* vom Benutzer gewählt wird und die Namensergänzung *xtn* von der Art des Exportes abhängt. Um die korrekte Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, werden zusätzlich folgende Parameter exportiert:

Name	Typ	Beschreibung
<code>charset</code>	Text	Verwendete Zeichenkodierung ( <code>iso-8859-1</code> oder <code>utf-8</code> ).
<code>locale</code>	Text	Verwendete sprachspezifische Einstellungen ( <code>en</code> oder <code>de</code> ).

Name	Typ	Beschreibung
program	Text	Name des Programms, das diese Daten erstellt hat (z.B. LASAIR 3.0.6).
checksum	Text	Prüfsumme der vom Programm verwendeten Parameterdatei als Hexadezimal-Zahl (z.B. ebfe165b).
project	Text	Projektbezeichnung (z.B. test-31).
mapping	Text	Verwendete Projektion im Kartensatz (z.B. GK3 oder UTM32).
date	Text	Erstellungsdatum der Datei im Format yyyy-MM-dd HH:mm (z.B. 2007-12-17 11:24).
user	Text	Name des Anwenders, der die Datei erstellt hat (z.B. L. Janicke).
xmin	Zahl	Kleinster x-Wert der Darstellung (z.B. -5000).
xmax	Zahl	Größter x-Wert der Darstellung (z.B. 5000).
ymin	Zahl	Kleinster y-Wert der Darstellung (z.B. -5000).
ymax	Zahl	Größter y-Wert der Darstellung (z.B. 5000).
delta	Zahl	Maschenweite des Rechengitters (z.B. 100).
data	Text	Name für die Art der dargestellten Daten (z.B. activity).
_data	Text	Maßeinheit für data (z.B. Bq/m <sup>3</sup> ).
organ	Text	Name für das betrachtete Organ (z.B. Liver oder effective). Falls keine Angabe eines Organs erfolgt, wird eine leere Zeichenkette ausgegeben.
person	Text	Alterklasse, auf welche sich Dosis-Berechnungen beziehen (z.B. 2-7a). Falls keine Angabe einer Altersklasse erfolgt, wird eine leere Zeichenkette ausgegeben.
rain	Zahl	Wert der Niederschlagsintensität (z.B. 1.5).
_rain	Text	Maßeinheit für rain (mm/h).
scenario	Text	Szenarium (z.B. d-2.1).
widening	Text	Zusätzliche horizontale Fahnenaufweitung in Grad (z.B. +/- 10).
nuclides#i	Text	Name des <i>i</i> -ten Nuklids (z.B. Ac 226 A).
release#i	Zahl	Gesamte freigesetzte Menge des <i>i</i> -ten Nuklids (z.B. 1.0e12).
_release	Text	Maßeinheit für release (Bq).
exp_from	Text	Beginn der Strahlenexposition (z.B. 2007-11-18 10:59).
exp_to	Text	Ende der Strahlenexposition (z.B. 2007-11-18 11:09).
projection	Text	Verwendete Projektion bei den Koordinatenangaben (GK oder UTM).

Name	Typ	Beschreibung
zone	Zahl	Zone der verwendeten Projektion (3 oder 32).
coords#1	Text	Bezeichnung der West-Ost-Koordinate (RECHTS oder EAST).
coords#2	Text	Bezeichnung der Süd-Nord-Koordinate (HOCH oder NORTH).
origin#1	Zahl	x-Koordinate des Nullpunktes einschließlich Zonenpräfix (z.B. 3.4420000000e+06).
origin#2	Zahl	y-Koordinate des Nullpunktes (z.B. 5.9335000000e+06).
position#1	Zahl	x-Koordinate des Freisetzungsortes einschließlich Zonenpräfix (z.B. 3.4421550000e+06).
position#2	Zahl	y-Koordinate des Freisetzungsortes (z.B. 5.9335610000e+06).
rel_start	Text	Begin der Freisetzung (z.B. 2007-11-18 10:59).
rel_time	Zahl	Dauer der Freisetzung (z.B. 1).
_rel_time	Text	Maßeinheit für rel_time (s).
rel_type	Text	Art der Freisetzung (explosion oder stack).
mass	Zahl	Sprengstoffmenge (z.B. 50).
_mass	Text	Maßeinheit für mass (g).
stack	Zahl	Schornsteinhöhe (z.B. 100).
_stack	Text	Maßeinheit für stack (m).

Je nach Art des Exportes gelten folgende Besonderheiten:

**CSV** Die berechneten Immissionswerte werden als Text-Tabelle ausgegeben, wobei die Werte innerhalb einer Zeile durch ein Semikolon getrennt sind. Der Dateiname ist *Name.csv*.

Die aufgeführten Parameter werden vor dieser Tabelle als Liste in den ersten beiden Spalten ausgeschrieben. Die Liste wird durch einen Stern (\*) in der ersten Spalte beendet. Die Daten der Tabelle sind Punktwerte. Die Koordinaten der Punkte (relativ zum Nullpunkt des Rechengebietes) werden am oberen und linken Rand der Tabelle in einer zusätzlichen Zeile bzw. Spalte ausgegeben.

**SHP** Die Darstellung der berechneten Werte (Iso-Linien mit kolorierten Flächen) wird in Form von Shape-Files exportiert, wobei die Randlinien in der Datei *lines.shp* als Typ POLYLINE und die Flächen in der Datei *areas.shp* als Typ POLYGON ausgegeben werden.

Die aufgeführten Parameter werden in der dBase-Tabelle für jedes Objekt angegeben. Zusätzlich werden zu Beginn der Tabelle (in den ersten Spalten) folgende Parameter aufgeführt:

Name	Typ	Beschreibung
value	Zahl	Wert, der der jeweiligen Linie bzw. Fläche zugeordnet ist (z.B. $3.0e-4$ ). Die Maßeinheit ist wie in <code>_data</code> angegeben.
color	Text	Farbe, mit der die betreffende Fläche oder Linie in LASAIR dargestellt ist, als Hexadezimal-Zahl mit den Bytes ARGB (z.B. <code>ffff0000</code> für voll deckendes Rot).
width	Zahl	Dicke in Pixel, mit der die betreffende Linie in LASAIR gezeichnet ist (2.0).

Zusätzlich zu den Shape-Dateien `*.shp` und den dBase-Dateien `*.dbf` werden Index-Dateien `*.shx` und Projektions-Dateien `*.prj` erzeugt. Die Dateien werden in einem ZIP-Archiv `Name.shz` zusammengefaßt.

**KML** Die Darstellung der berechneten Werte (Iso-Linien mit kolorierten Flächen) wird in Vektorform entsprechend der OpenGIS KML 2.2 Spezifikation (*keyhole markup language*) als XML-Datei ausgeschrieben und kann damit von geeigneten Geo-Browsern dargestellt werden.

Der Quellort wird als Ortsmarke SOURCE exportiert und enthält in seiner Beschreibung alle exportierten Parameter.

Die Iso-Linien und -Flächen werden zu jedem dargestellten Wert als Geometrie-Gruppe exportiert, die in ihrem Namen die Art des dargestellten Wertes und den Zahlenwert selbst enthält. Die Flächen und Linien bilden innerhalb jeder Geometrie-Gruppe jeweils wieder eine eigene Gruppe. Da beispielsweise GoogleEarth die Flächen in der Baumstruktur der Orte jeweils mit der Farbe kennzeichnet, die zur Darstellung der Fläche verwendet wird, kann hier die Baumstruktur als Legende zur Grafik verwendet werden. Die Farben sind voll deckend, da in GoogleEarth die Transparenz für jedes Objekt oder Gruppe von Objekten vom Anwender separat eingestellt werden kann.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Erfahrungsgemäß liefert die Darstellung mit DirectX unter Windows bessere Ergebnisse als mit OpenGL.

### 3 Das Berechnungsverfahren

Zur Durchführung der Ausbreitungsrechnung greift LASAIR auf LASAT zurück. LASAT ist ein Lagrangesches Ausbreitungsmodell nach VDI 3945/3 für Episodenrechnungen, also für die Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Konzentrationsverteilung bei zeitabhängiger Meteorologie und zeitabhängigen Freisetzungsbedingungen. LASAT ist in einem separaten Dokument beschrieben.

Bei einer Übersichtsrechnung wird ein Rechennetz mit horizontal  $100 \times 100$  Maschen mit einer Maschenweite von 400 m verwendet. Bei einer Detail-Rechnung werden 6 geschachtelte Netze mit jeweils  $100 \times 100$  Maschen verwendet, deren Maschenweite bei 25 m beginnt und fortlaufend um den Faktor 2 zunimmt. Das vertikale Raster beginnt in beiden Fällen mit den Stufen 0, 5, 10, 20, 35, 60, 100, 150, 200 m und geht dann in 100er Schritten weiter bis 1500 m Höhe.

Die Rechnung wird für eine Folge von gleich langen Zeitintervallen durchgeführt (jeweils 5, 10, 20, 30 oder 60 Minuten) und jedes Teilergebnis stellt einen Mittelwert über ein Zeitintervall dar. Obwohl LASAT die ganze Folge von Zeitintervallen hintereinander rechnen könnte, wird die Rechnung jeweils nach Ende eines Zeitintervalls abgebrochen und das Teilergebnis und der momentane Zustand des Systems abgespeichert. Für die Berechnung des nächsten Zeitintervalls wird ein neues Verzeichnis angelegt, die Zustandsparameter werden hineinkopiert und die nächste Teilrechnung wird unter Verwendung des neuen Verzeichnisses gestartet. So ist es möglich, nicht nur Rechnungen fortzusetzen sondern auch auf einem früheren Zustand aufzusetzen und von dort aus ein neues Szenario mit veränderter Meteorologie zu starten.

Die Ausbreitungsrechnung wird unabhängig vom betrachteten Nuklid und der freigesetzten Menge mit Standardparametern für 5 Stoffklassen durchgeführt:

Stoff	$v_s$ (m/s)	$v_d$ (m/s)	$\Lambda$ (1/s)	$q$ (Bq)
gas	0.000	0.010	$7.0e-9$	1
pm1	0.000	0.001	$4.0e-9$	$q_1$
pm2	0.000	0.010	$2.0e-8$	$q_2$
pm3	0.040	0.050	$4.4e-8$	$q_3$
pm4	0.150	0.200	$4.4e-8$	$q_4$

Hierbei ist:

- $v_s$  Sedimentationsgeschwindigkeit
- $v_d$  Depositionsgeschwindigkeit
- $\Lambda$  Auswaschrage
- $q$  Freisetzungsmenge ( $\sum_1^4 q_\alpha = 1$ )

Die Freisetzungsmengen der einzelnen Staubfraktionen werden aus der in den Standardparametern festgelegten Korngrößenverteilung übernommen.

Von LASAIR werden als Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für jedes Zeitintervall und für jede Stoffklasse  $\alpha$  ( $\alpha = 0, 1, 2, 3, 4$ ) folgende Felder bereitgestellt:

$C_{\alpha;i,j,k}$	3-dimensionales Feld der Konzentration
$d_{\alpha;i,j}$	2-dimensionales Feld der trockenen Deposition
$w_{\alpha;i,j}$	2-dimensionales Feld der nassen Deposition

Zusätzlich wird für jedes der Felder Information über die statistische Unsicherheit der berechneten Werte ausgegeben.

Da die Daten nicht alle in dieser Detailliertheit für die folgenden Arbeitsschritte benötigt werden, werden sie auf folgende Größen reduziert:

$C_{\text{gas}} = C_0$	Konzentration von Gas
$C_{\text{dust}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$	Konzentration von Staub
$c_{\text{gas};i,j} = c_{0;i,j,1}$	bodennahe Gas-Konzentration
$c_{\text{dust};i,j} = c_{1;i,j,1} + c_{2;i,j,1}$	bodennahe Konzentration des lungengängigen Staubes
$d_{\text{gas};i,j} = d_{0;i,j}$	trockene Deposition von Gas
$d_{\text{dust};i,j} = d_{1;i,j} + d_{2;i,j} + d_{3;i,j} + d_{4;i,j}$	trockene Deposition von Staub
$w_{\text{gas};i,j} = w_{0;i,j}$	nasse Deposition von Gas
$w_{\text{dust};i,j} = w_{1;i,j} + w_{2;i,j} + w_{3;i,j} + w_{4;i,j}$	nasse Deposition von Staub

Zum Schluß werden aus den Konzentrationsfeldern  $C_{\text{gas}}$  und  $C_{\text{dust}}$  mit Hilfe des Programms LOGGAM die Felder der Gamma-Wolkenstrahlung  $g_{\text{gas}}^E$  und  $g_{\text{dust}}^E$  für die Energien  $E=0.1$  MeV und  $E=1$  MeV berechnet. Anschließend werden  $C_{\text{gas}}$  und  $C_{\text{dust}}$  nicht mehr benötigt.

Die weitere Verarbeitung dieser Felder erfolgt erst, wenn der Anwender angegeben hat, für welche Situation er eine Ergebnisdarstellung wünscht. Hierzu sind folgende Angaben nötig:

- Expositionszeitraum,
- Niederschlagsintensität,
- Nuklide,
- Freisetzungsmengen,
- Person,
- Organ.

Zunächst werden die Felder über den vom Anwender gewünschten Zeitraum gemittelt. Konzentration und Deposition liegen jetzt als Flächenmittelwerte auf einem Raster von  $100 \times 100$  Flächen vor. Sie werden unter Verwendung der Information über den Stichprobenfehler geglättet und auf ein Punktraster mit halber Maschenweite, also  $201 \times 201$  Punkte umgerechnet (Felder  $\tilde{c}_{\text{gas}}, \tilde{c}_{\text{dust}}, \tilde{d}_{\text{gas}}, \tilde{d}_{\text{dust}}, \tilde{w}_{\text{gas}}, \tilde{w}_{\text{dust}}$ ). Die Gamma-Wolkenstrahlung, die ursprünglich auf den Mittelpunkten der Flächen definiert ist, wird ohne Glättung durch Interpolation auf das gleiche Punktraster umgerechnet (Felder  $\tilde{g}_{\text{gas}}^E, \tilde{g}_{\text{dust}}^E$ ).

Bei einer Detail-Rechnung existieren diese Felder auf 6 konzentrisch geschachtelten Netzen, deren Maschenweiten sich fortlaufend um einen Faktor 2 unterscheiden. Von diesen werden unter Verzicht auf das feinste Netz nur 5 dargestellt. Allerdings werden im Zentralbereich dieser Netze die innersten  $101 \times 101$  Werte durch die entsprechenden des nächst feineren Netzes ersetzt, so daß die grafische Auflösung im Zentrum verbessert wird und auch die Werte des feinsten Netzes zur Darstellung kommen.

Zur Darstellung der Konzentration (Aktivität) werden die Felder  $c_{\text{gas}}$  und  $c_{\text{dust}}$  mit Wichtungsfaktoren addiert, die sich aus der Gas- und Staubmenge der freigesetzten Nuklide ergeben. Für die Inhalationsdosis werden die Anteile zusätzlich mit den Dosisfaktoren gewichtet, die der Auswahl von Person und Organ entsprechen.

Bei der Deposition wird entsprechend verfahren, allerdings wird bei der trockenen Deposition das Ergebnis noch unter Berücksichtigung der tatsächlich vorliegenden Depositionsgeschwindigkeit umskaliert, bei der nassen Deposition wird entsprechend der tatsächlichen Auswaschrates, die sich aus der vorliegenden Niederschlagsintensität ergibt, umskaliert.

Bei der Gamma-Wolkenstrahlung werden die beiden Energie-Anteile entsprechend den Nuklid-Energien gewichtet. Die Bodenstrahlung wird aus der Deposition unter Verwendung der in den Störfallberechnungsgrundlagen angegebenen Formeln für die jeweilige Altersstufe berechnet.

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



**Bundesamt für Strahlenschutz**