

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin

F. Wissmann, R. Behrens, N. Greif, J. Roth, H. Schrepf

Anforderungen an Rechenprogramme zur Berechnung der Strahlenbelastung des fliegenden Personals

Erstellt auf Grundlage der Empfehlung der Strahlenschutzkommission:

Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals

1. Allgemeines

Bevor ein Rechenprogramm zur Ermittlung der effektiven Dosis zur Umsetzung des § 103 StrlSchV eingesetzt werden darf, ist es erforderlich, dass das Programm von der zuständigen Behörde, hier vom Luftfahrt-Bundesamt (LBA) zur Anwendung zugelassen wird. Für die Zulassung sind die von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) definierten Voraussetzungen zu erfüllen, die mit denen für sonstige dosimetrische Verfahren vergleichbar sind. Zulassungen anderer Länder können zu einem vereinfachten Zulassungsverfahren führen. Im folgenden werden Kriterien definiert, anhand derer eine erste Beurteilung von Rechenprogrammen durchgeführt wird. Spezielle Softwareanforderungen sind in Abschnitt 3 beschrieben.

Eine Beurteilung der Dosisberechnung der Programme erfolgt durch Vergleich mit Messdaten. Die dazu notwendige Datenbasis kann auf folgende Weise erstellt werden. Eine Auswahl von verschiedenen Flugrouten (weltweit verteilt und in einem Höhenbereich zwischen 6000 m und 15000 m), auf denen Messungen der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung gemacht wurden, und zwar sowohl im Bereich des solaren Minimums als auch im Bereich des solaren Maximums, dient als Grundlage für die Vergleichsdaten. Dabei werden die in unterschiedlichen Flughöhen gemessenen Dosisraten auf eine mittlere Flughöhe umgerechnet. Die für diese Flughöhe ermittelten Vergleichswerte werden als Funktion der Abschneidesteifigkeit R_c und somit in Bezug zum Erdmagnetfeld dargestellt. Mit dieser Darstellung wird die Beurteilung durchgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die statistische Schwankung der Messwerte einen Bereich von $\pm 30\%$ (= die mit dem Erweiterungsfaktor 2 versehene relative Standardmessunsicherheit σ nach DIN1319) um den Mittelwert nicht überschreitet.

2. Funktionale Anforderungen

Die von einem zu beurteilenden Programm berechneten Dosiswerte dürfen nur innerhalb der durch die Vergleichsdaten vorgegebenen Schwankungsbreite (siehe 1) variieren. Die Abhängigkeit von R_c ist anhand von verschiedenen Routen über einen großen Bereich der magnetischen Breite B_m (von der Äquator- bis zur Polregion) zu bestimmen. Damit lassen sich Anforderungen an ein Programm formulieren. Das erste Kriterium lautet:

Ein Rechenprogramm zur Ermittlung der Dosis in Flughöhen kann dann akzeptiert werden, wenn die berechneten Umgebungs-Äquivalentdosisleistungen $dH^*(10)/dt$ als Funktion der Abschneidesteifigkeit R_c für alle möglichen Werte von R_c in einem Bereich von $\pm 30\%$ um die aus experimentellen Werten bestimmten Mittelwerte liegen.

Alternativ kann die Routendosis als Summendosis vom Start bis zur Landung bestimmt werden. Dazu müssen Dosiswerte auf der Basis von Flugdaten verschiedener Flugrouten berechnet werden. Das zweite Kriterium lautet:

Ein Rechenprogramm zur Ermittlung der Dosis in Flughöhen kann dann akzeptiert werden, wenn sich die für verschiedene Flüge berechnete und gemessene Routendosis um nicht mehr als $\pm 30\%$, bezogen auf die gemessene Dosis, unterscheiden.

Erst wenn sichergestellt ist, dass Kriterium 1 oder 2 erfüllt ist, soll ein Rechenprogramm auf detaillierte Softwareanforderungen überprüft werden.

Regelmäßige Vergleichsflüge (die Routen zufällig ausgewählt) ermöglichen den direkten Vergleich von experimentell ermittelten Dosiswerten mit den durch den Anwender ermittelten Werten. Dieser Vergleich schließt sowohl eine Prüfung der Anwendung des Rechenprogramms, als auch eine Prüfung des Verfahrensweges des Anwenders ein. Somit kann die Richtigkeit und Zuverlässigkeit des gesamten Verfahrens überprüft werden. Dazu muss von einer unabhängigen Einrichtung ein Messsystem zur Verfügung gestellt werden, um die Strahlenexposition in Flughöhen nach anerkannten Messprinzipien zuverlässig bestimmen zu können.

3 Nicht-funktionale Anforderungen

3.1 Programmsicherheit

Das Rechenprogramm darf nicht vom Benutzer veränderbar sein. Die Absicherung muss sowohl unbeabsichtigte Aktionen (z.B. Fehlbedienung in den interaktiven Programmteilen) als auch beabsichtigte Eingriffe (Manipulation mittels Editor) erfassen.

Wird das Rechenprogramm gestartet, muss eine Checksumme (CRC-32) über das Programm gebildet werden. Die Checksumme muss mit einem im Programmcode enthaltenen Sollwert verglichen werden. Bei mangelnder Übereinstimmung muss das Programm mit einer Fehlermeldung (z.B. „Veränderte Programmversion“) abbrechen.

Es muss jederzeit überprüfbar sein, ob die bei der Zulassung benutzte Programmversion (oder eine zugelassene Folgeversion) benutzt wird. Dies wird mit der erwähnten Checksumme durchgeführt, die bei Bedarf ausgegeben werden muss. Der Wert der Checksumme kann dann mit dem im Zulassungsdokument aufgeführten Wert verglichen werden.

3.2 Datensicherheit

Um einer beabsichtigten oder unabsichtlichen Veränderung von Daten, z.B. durch Verwendung eines Text-Editors, entgegenzuwirken, müssen alle relevanten Dateien mit einer CRC-16 Checksumme versehen werden. Das Programm muss vor Verwendung der Dateien die Checksummen und ggf. die Identifikation überprüfen.

3.2.1 Parameterwerte

Zu dieser Art von Daten zählen Werte, die für die Dosisberechnung relevant sind und nicht vom Nutzer oder Programmanbieter willkürlich verändert werden dürfen. Dies sind beispielsweise Funktionsparameter, die in der Hybrid-Methode verwendet werden.

Jedem Parametersatz muss eine eindeutige Identifikation hinzugefügt werden (z.B. fortlaufende Nummer und Zeit der Erstellung des Datensatzes). Der gesamte Parametersatz muss durch eine Checksumme (siehe 3.2) geschützt werden. Dadurch wird erkennbar, wenn die Parameter teilweise oder komplett verändert, ausgetauscht oder gelöscht werden. Das Programm muss die Identifikation und die Checksumme vor Verwendung der Parameter prüfen.

3.2.2 Flugdaten

Die für die Berechnung der Dosis erforderlichen Flugdaten (Datum und Zeit in UTC, geografische Länge und Breite, Druckhöhe), zusätzliche Fluginformationen wie Start- und Zielflughafen und Flugnummer (Identifikation des Fluges), sind in einem einzigen Datensatz zusammenzufassen und mit einer Checksumme (siehe 3.2) zu versehen. Werden die

Flugdaten manuell eingegeben, so ist auch eine eindeutige Identifikation des eingebenden Nutzers mit abzuspeichern.

3.2.3 Parameter zur Beschreibung der Sonnenaktivität

Die Parameter für die Berücksichtigung der Sonnenaktivität sind in einem Datensatz zusammenzufassen und mit einer Checksumme (siehe 3.2) zu versehen.

3.2.4 Rechenergebnisse

Alle Rechenergebnisse inklusive der verwendeten Parametersätze (inkl. Programmidentifikation) müssen redundant gespeichert werden. Die Daten müssen auf zwei getrennten Speichereinheiten abgelegt sein und zusätzlich muss eine Checksumme zur Fehlererkennung mit gespeichert werden. Ein Fehler wird durch Vergleich der beiden Dateien und Überprüfung der Checksumme erkannt. Verwendet wird die Datei, deren Checksumme mit der gespeicherten übereinstimmt.

Wichtig für die spätere Personenzuordnung ist, dass die Berechnung über die Flugnummer jederzeit zurückführbar ist. Die Rechenergebnisse müssen in Datensätzen gespeichert werden, die alle sonstigen Informationen, die zur späteren Auswertung bzw. Verwendung erforderlich sind, enthalten. Diese Datensätze müssen enthalten:

- Dosiswert (Umgebungs-Äquivalentdosis und effektive Dosis)
- ID des durchgeführten Fluges (siehe 3.2.2)
- Checksumme der verwendeten Sonnenaktivitätsdaten (siehe 3.2.3)
- IDs der sonstigen verwendeten Parametersätze (siehe 3.2.1)
- ID des Rechenprogramms (Checksumme, siehe 3.1)
- Zeitstempel der Auswertung.

Zur Anzeige des Ergebnisses der Dosisermittlung muss ein zugelassenes Softwaremodul vorhanden sein, das auch Bestandteil des Rechenprogramms sein kann. Die Zuordnung zu Personendaten muss den Schutz von personenbezogenen Daten gewährleisten.

3.3 Fehlererkennung

Eine Plausibilitätsprüfung der Eingangsdaten muss verhindern, dass physikalisch unsinnige Werte zu einem Ergebnis führen. Dies muss sowohl für die Parameterwerte, als auch für die Flugdaten gelten. So sind die Flugdaten vom Programm daraufhin zu prüfen, ob die geografischen Koordinaten auch mit dem eingegebenen Start- und Zielort übereinstimmen und die Werte in einem entsprechenden Wertebereich liegen. Die Flughöhe (Druckhöhe) darf nur in einem definierten Wertebereich liegen. Auch die berechnete Dosis muss überprüft werden. Erfüllt ein Wert eine Plausibilitätsprüfung nicht, so muss die Berechnung mit einer entsprechenden Fehlermeldung abbrechen. Gleiches gilt auch für die berechneten Umgebungs-Äquivalentdosisleistungen bzw. für die Routendosis.

3.4 Schnittstellen

Alle Schnittstellen (z.B. Hardwareschnittstellen wie Tastatur und Softwareschnittstellen), über die ein Rechenprogramm Daten austauscht, müssen rückwirkungsfrei sein. Das bedeutet, dass alle über Schnittstellen empfangenen Befehle die Parameterwerte und das Rechenergebnis nur in zulässiger Art und Weise beeinflussen dürfen. Alle Befehle müssen klar definiert sein und vom Rechenprogramm interpretierbar sein. Nicht definierte Befehle müssen als ungültig erkannt werden und dürfen keine Wirkung auf das Ergebnis haben.

4 Dokumentationsanforderungen

4.1 Anforderungen an die Benutzer-Dokumentation

Das Programm und die Dokumentation müssen übereinstimmen. Das Programm muss ausführlich und allgemein verständlich dokumentiert sein (Bedienungsanleitung, Handbuch). Dies erfordert eine Beschreibung der Handhabung (im interaktiven Modus) sowie eine genaue Beschreibung der Eingangsdaten, Parameter und Rechenergebnisse. Alle vorhandenen Funktionen müssen beschrieben werden, die vorgegebenen Wertebereiche der Parameterdaten ebenso wie die Wertebereiche der Flugdaten.

Falls eine Anbindung an Datenbanken evtl. über ein separates Dateninterface vorhanden ist, muss eine klar definierte und dokumentierte Datenstruktur der Programmein- und

-ausgabe existieren. Diese muss die Anforderungen an das Datenformat, das von der zuständigen Behörde festgelegt wird, erfüllen. Art und Umfang der an das Luftfahrtbundesamt oder eine von ihm bestimmte Stelle zu übermittelnden Daten zwecks Weiterleitung an das Strahlenschutzregister sind im § 103 Absatz 8 StrlSchV in Verbindung mit § 112 Abs. 1 Nr. 2 und 3 StrlSchV definiert. Es sind die effektive Dosis, Angaben über registrierte Strahlenpässe sowie die jeweiligen Personendaten (Familiename, Vorname, Geburtsdatum und -ort, Geschlecht), Beschäftigungsmerkmale und Expositionsverhältnisse sowie die Anschrift des Verpflichteten nach § 103 Abs. 1 anzugeben.

4.2 Vom Anbieter für die Zulassung einzureichende Unterlagen

Für das Zulassungsverfahren sind folgende Unterlagen erforderlich:

(1) Für die funktionalen Anforderungen:

- Dokumentation über den physikalischen Hintergrund, die verwendeten physikalischen Modelle und die benutzten Rechenmethoden. Die Beschreibungen müssen ausführlich und verständlich sein. Bezieht sich die Methode auf experimentelle Ergebnisse, so sind diese zu zitieren (nur in öffentlich zugänglichen Veröffentlichungen). Basiert die Berechnung im wesentlichen auf physikalischer Simulation, so muss die verwendete Methode in entsprechenden Fachzeitschriften veröffentlicht sein.
- Auflistung der gültigen Wertebereiche der verwendeten Flugdaten (Druckhöhe, geografische Koordinaten, Datum).
- Beschreibung der Plausibilitätsprüfung der Eingabeparameter und der Rechenergebnisse.

(2) Für die nicht-funktionalen Anforderungen:

- Das installierbare und nach der Installation lauffähige Programm.
- Die in Abschnitt 4.1 beschriebene Dokumentation.
- Dokumentation über Änderungen im Quellcode oder Änderungen der Parameter. Die Änderungen müssen nachvollziehbar dokumentiert und zugelassen

sein. Dies kann über die Beschreibung des Versionsmanagements erfolgen. Bei der Änderung von Parametern sind Testdatensätze mitzuliefern, die nachweisen, dass die geänderten Parameter zu plausiblen Rechenergebnissen führen.

- Ebenso muss eine detaillierte Auflistung von kompetenten Ansprechpartnern vorhanden sein.
- Die Sicherheitsvorkehrungen gegen Fehlbedienung und Manipulation müssen dargelegt werden.
- Die Fehlererkennung muss beschrieben sein.
- Die Art und Weise der Bildung von Checksummen und notwendige Angaben zur Überprüfung der Checksummen (Schlüssel) müssen vorhanden sein.
- Die Art und Weise der Datenspeicherung muss beschrieben sein.
- Der vollständige Satz von Befehlen und Parametern und das Datenformat der Eingangswerte, die über eine Schnittstelle empfangen werden können, muss beschrieben sein. Die Wirkung jedes Befehls muss erläutert werden. Hinzu kommt eine schriftliche Erklärung des Anbieters (Herstellers), dass die Liste vollständig ist und nicht aufgeführte Befehle keine Wirkung auf die Dosisberechnung haben.

5. Verfahren bei Softwareänderungen

Nach der Zulassung darf nur die geprüfte Version zur Dosisermittlung verwendet werden. Die zugelassenen Rechenprogramme dürfen ohne Kenntnis der Aufsichtsbehörde in keiner Art und Weise verändert werden. Jede Änderung (z.B. Modifikation oder Fehlerbehebung) ist der zuständigen Behörde anzuzeigen und eine Ergänzung zur Zulassung ist zu beantragen. Auch Änderungen der Parameterdaten (siehe 3.2.1) bedürfen der vorherigen Zulassung bzw. Nachprüfung.