Messungen der Strahlenexposition auf der ISS

Die erhöhte Strahlungsexposition im All, verursacht durch das komplexeste natürliche Strahlenfeld, das der Mensch kennt, stellt neben den Auswirkungen der Schwerelosigkeit und den psychologischen und psychosozialen Problemen des Zusammenlebens auf engem Raum einen der limitierenden Faktoren für den Langzeitaufenthalt des Menschen im Weltraum dar. Das Strahlenfeld auf der Internationalen Raumstation (ISS) ist nicht nur in seiner Zusammensetzung, sondern auch in seiner hohen biologischen Wirksamkeit mit keinem natürlichen Strahlenfeld auf der Erde vergleichbar. Die Strahlungswerte entsprechen einem Vielfachen der Dosis auf der Erdoberfläche. Gleichzeitig stellen dieses Strahlungsfeld und die Messung des Feldes eine große Herausforderung für die Entwicklung von Messgeräten dar. Hier ist nicht nur die Messung des Feldes an sich eine Herausforderung, auch die Limitierungen von Messgeräten, was deren Masse, Leistungsverbrauch, Datenvolumen etc. anbelangt, stellen die Wissenschaftler/-innen, die ebendiese Geräte entwickeln und bauen, vor große Herausforderungen. Gleichzeitig stellen die Messung der Strahlungsumgebung auf der ISS und die Bestimmung der Strahlungsbelastung auf den menschlichen Körper aber auch grundlegende Daten zur Verfügung, die für spätere geplante Explorationsmissionen von großer Bedeutung sein werden.

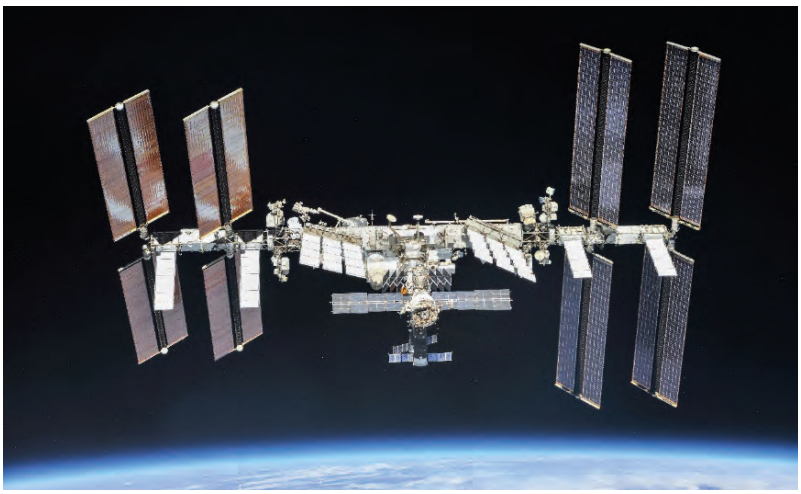

Abb. 1: Die Internationale Raumstation (ISS) am 4. Oktober 2018; das Bild wurde während der Rückkehr des Sojus-Raumschiffes zur Erde von ebendiesem aus aufgenommen. © NASA/ROSCOSMOS [1]

Der größte Außenposten des-Menschen im Weltraum

Seit über 20 Jahren kreist die Internationale Raumstation (ISS) schon um unsere Erde (Abb. 1). Sie ist derzeit der größte Außenposten des Menschen im Weltraum. Die ISS ermöglicht nicht nur den Aufenthalt von Menschen in einer Höhe von knapp 400 km über der Erde, sie ist außerdem ein Forschungslabor. Vor allem für den Langzeitaufenthalt des Menschen im Weltraum und die Auswirkungen der erhöhten Strahlenbelastung auf den menschlichen Organismus können die Daten zur Bestimmung der Strahlungsdosis, die hier gewonnen werden, wichtige Aufschlüsse im Hinblick auf folgende Langzeitmissionen, die wie die geplante Rückkehr zum Mond über den Erdorbit erdnahen Raum hinausgehen, liefern.

ISS ist ein Forschungslabor

Im Rahmen ihres über 20-jährigen Bestehens hatte die ISS mehr als 500 Besatzungsmitglieder. Die Anzahl der Astro- und Kosmonaut/-innen, die sich derzeit regulär gleichzeitig für knapp ein halbes Jahr auf der Raumstation befinden, hat sich, nach den erfolgreichen Flügen der NASA-Crew-Dragon-Raumkapsel auf 7 erhöht.

Die Astro- und Kosmonaut/-innen auf der ISS sind natürlich nicht nur den Auswirkungen der Schwerelosigkeit ausgesetzt, sondern befinden sich im komplexesten natürlichen Strahlenfeld, das wir kennen.

Nicht nur die galaktische kosmische Strahlung, sondern auch die Beiträge zur Strahlungsdosis während des Durchflugs der ISS durch die Strahlungsgürtel der Erde, hier vor allem der Beitrag durch die „Südatlantische Anomalie“ (SAA) und mögliche zusätzliche Auswirkungen von solaren Teilchenereignissen, müssen berücksichtigt werden. Durch die Wechselwirkung dieser primären Teilchen mit

der Raumstation entsteht im Weiteren ein komplexes gemischtes Sekundärstrahlungsfeld, das für den Strahlenschutz und die Strahlungsmessung große Herausforderungen darstellt. Im Weiteren variiert die Strahlungsdosis innerhalb der Raumstation in Abhängigkeit von der Abschirmung an dem jeweiligen Messort sowie in Abhängigkeit des Orbits der ISS bedingt durch das Erdmagnetfeld und in Abhängigkeit des solaren Zyklus.

Welche Messgeräte werden auf der ISS verwendet?

Die Bestimmung der Strahlenexposition von Menschen im Weltraum begann natürlich nicht erst mit dem Bau der ISS. Schon während der ersten Flüge der Mercury-Missionen der NASA in den 1960er-Jahren waren die Astronauten bzw. auch die Raumkapseln mit Strahlungsdetektoren ausgestattet [2]. Die heutzutage verwendeten Strahlungsmessgeräte lassen sich einfach gesagt in 2 Kategorien einteilen.

Passive Strahlungsdetektoren

Da wären einerseits passive Strahlungsdetektoren, die es ermöglichen, relevante Strahlungswerte integral über einen bestimmten Zeitraum zu speichern. Die Vorteile von passiven Strahlungsdetektoren liegen darin, dass sie klein und extrem leicht sind und keine Energieversorgung benötigen.

Sowohl bei der Umgebungsdosimetrie [3] als auch der Personendosimetrie für die Astro- und Kosmonaut/-innen [4] kommt üblicherweise eine Kombination aus

- Thermolumineszenz-Detektoren (TLD), z. B. aus Lithiumfluorid, oder
- optisch stimulierten Lumineszenz-Detektoren (OSLD) sowie
- Kernspurdetektoren (CR-39) zum Einsatz.

Die Kombination dieser beiden Detektorsysteme (TLD + CR-39) ermöglicht es nicht nur, die absorbierte Dosis, sondern auch über das lineare Energietransferspektrum (LET-Spektrum) den Anteil der Hoch-LET-Strahlung durch die in der galaktischen Strahlung enthaltenen Schwerionen zu messen und somit auch durch ebendie Kombination dieser beiden Detektorsysteme die Äquivalentdosis zu bestimmen.

Im Weiteren ermöglicht der Einsatz von passiven TLDs, deren Größe nur rund 3,2 x 3,2 x 1 mm^3 beträgt, ihre Einbringung in menschliche Phantome und dadurch die Messung der Dosiswerte in den einzelnen Organen dieses Phantoms.

Diese experimentellen Messungen stellen die weitere Grundlage für die Bestimmung der effektiven Dosis im Weltraum dar. Als Beispiel kann hier das MATROSHKA-Experiment, das von 2004 bis 2011 auf der ISS durchgeführt wurde, angeführt werden [5, 6, 7]. Abbildung 2 zeigt als ein Ergebnis von MATROSHKA die kontinuierliche Verteilung der Energiedosis, gemessen während des MATROSHKA-1-Experiments außerhalb der Raumstation. Diese Verteilung wurde durch die Zusammenführung von über 1.600 diskreten TLD-Messpunkten erstellt. Die hier zu sehende Änderung der Tiefendosis innerhalb des Körpers ist auch durch die Selbstabschirmung des Körpers gegen das Strahlenfeld zu erklären.

Bestimmung der effektiven Dosis im Weltraum

Aktive Strahlungsdetektoren

Im Gegensatz zu den passiven Strahlungsdetektoren ermöglichen aktive Strahlungsmessgeräte die Bestimmung der zeitlich aufgelösten Strahlungsexposition an Bord der Raumstation. Zur zeitlich aufgelösten Messung der Exposition sowie zur Realisierung von Systemen, die vor abrupten Anstiegen der Exposition, z. B. während solarer Teilchenereignisse, warnen können, werden im Allgemeinen

- Halbleiterdetektoren (Si-Detektoren) oder
- gewebeäquivalente Proportionalzähler (Tissue Equivalent Proportional Counter, TEPC)

verwendet.

Indem man zum Beispiel 2 Halbleiterdetektoren in Teleskopgeometrie mit

Strahlungsexposition an Bord der Raumstation

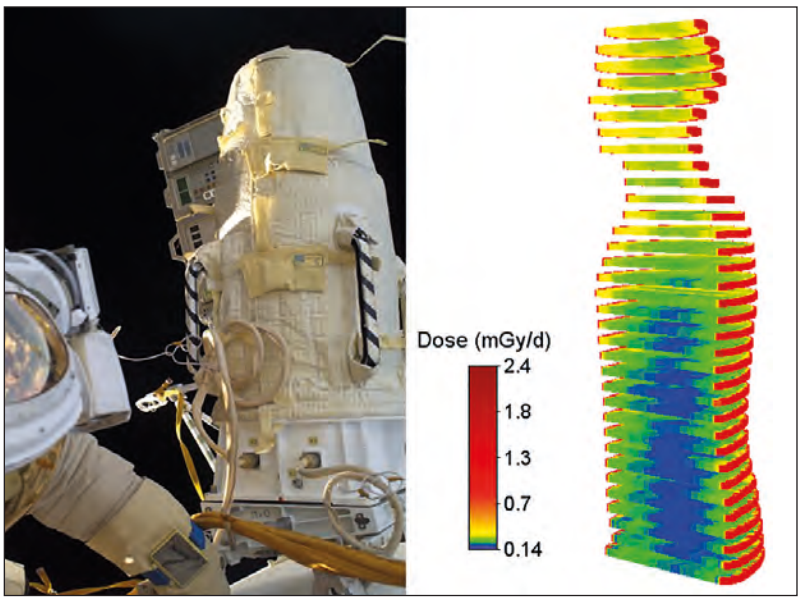

Abb. 2: MATROSHKA-Experiment außerhalb der Raumstation und die 3-dimensionale gemessene Verteilung der Energiedosis basierend auf TLD-Daten [5]; © DLR

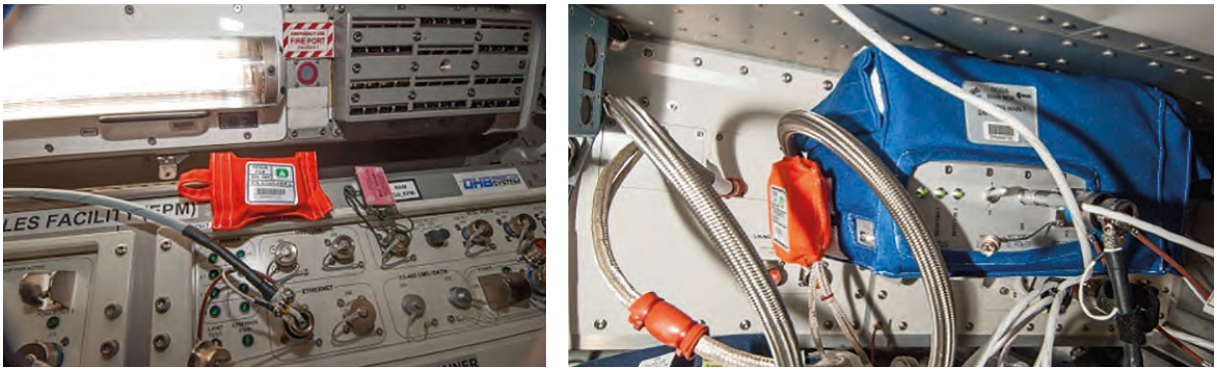

Abb. 3: Links: passive Detektorpakete (in orangefarbener Gewebetasche) im Columbus-Labor [3], rechts: aktive Messgeräte (in blauer Gewebetasche) im Columbus-Labor [9]; © ESA/DLR

Koinzidenzschaltung betreibt, lässt sich die Einfallsrichtung der gemessenen Teilchen einschränken und eine Abschätzung der Weglänge im Detektor sowie daraus das LET-Spektrum und der Qualitätsfaktor des Feldes bestimmen [9].

Wie hoch ist die Dosis im Columbus-Labor der ISS?

Um einen Eindruck der Variation des Strahlenfeldes innerhalb der Raumstation zu erhalten, werden wir beispielhaft Messdaten des DOSIS-3D-Experiments verwenden. DOSIS 3D ist eines der am längsten laufenden Experimente zur Bestimmung der Strahlungsdosis auf der ISS. Im Rahmen dieses Experiments werden passive Detektorpakete an 11 Positionen in Columbus für jeweils ein halbes Jahr exponiert [3], während aktive Messgeräte (DOSTEL) an einer Position in Columbus die Dosisrate messen [9] (Abb. 3).

Abbildung 4 veranschaulicht die Variation der Energiedosis an diesen 11 Positionen im Columbus-Labor gemessen mit TLDs von 5 internationalen Forschergruppen. Es zeigt sich, dass schon allein in diesem Forschungsmodul die Werte der Energiedosis um bis zu 50 % schwanken, was auf die unterschiedliche Abschirmung bzw. die unterschiedliche Dicke der Wandung der Raumstation zurückzuführen ist. Während das Maximum der Energiedosis hier bei rund 350 µGy/Tag lag, wurden als Minimum rund 250 µGy gemessen.

Abschirmwirkung des Erdmagnetfelds

Die passiven Detektoren zeigen uns die räumliche Variation der Dosiswerte. Die aktiven Detektoren ermöglichen es uns, die zeitliche Variation zu visualisieren. Als Beispiel sei Abbildung 5 aufgeführt, die die zeitliche Variation der Energiedosis in Abhängigkeit der Position der ISS für das Jahr 2012 zeigt. In dieser Darstellung zeigt sich die Variation der Dosis mit dem Breitengrad, die auf die Abschirmwirkung des Erdmagnetfelds zurückzuführen ist.

Die geringste Dosis messen wir am geomagnetischen Äquator, während sich die Dosis beim Flug in Richtung Nord- bzw. Südpol durch die reduzierte geomagnetische Abschirmung erhöht. Im weiteren Verlauf sehen wir aber auch die Durchflüge durch die Südatlantische Anomalie, die ein Teil des inneren Strahlungsgürtels der Erde ist, der zu großen Teilen aus Protonen besteht. Die Dosisleistung kann sich dabei innerhalb kurzer Zeit um 2 Größenordnungen erhöhen. Gemittelt über das Jahr 2019 betrug der Anteil der galaktisch-kosmischen Strahlung an der gemessenen

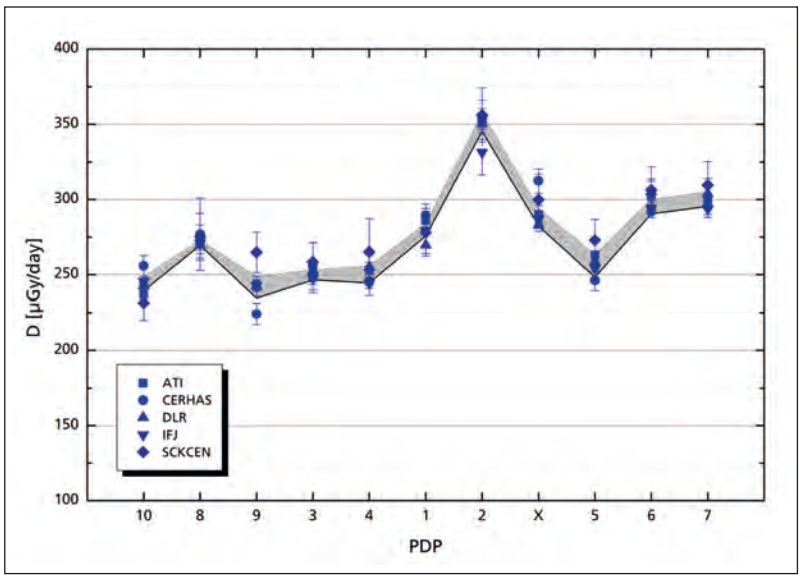

Abb. 4: Die Variation der Energiedosis innerhalb des Columbus-Labors der Raumstation gemessen im Zeitraum von September 2013 bis März 2014 mit passiven TLDs; Daten von ATI – Österreich, CERHAS – Ungarn, DLR – Deutschland, IFJ – Polen und SCK-CEN – Belgien

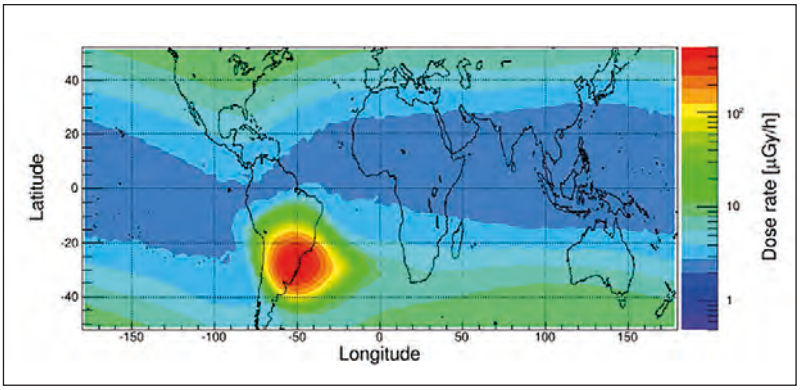

Abb. 5: Die Variation der Energiedosis im Orbit der ISS gemessen mit dem DOSTEL-Instrument im Rahmen des DOSIS-3D-Experiments; Daten: CAU & DLR [9]

Dosis rund 150 µGy/Tag und die Dosis durch die SAA-Durchflüge lag bei rund 180 µGy/Tag.
Die von den aktiven Geräten gemessene gesamte Äquivalentdosis betrug im Jahr 2019 rund 750 µSv/Tag.

Was passiert bei einem solaren Teilchenereignis?

Die ISS ist durch das Erdmagnetfeld sehr gut gegen die Auswirkungen von solaren Teilchenereignissen geschützt. Die Protonen eines solchen Ereignisses tragen nur bei hohen geomagnetischen Breiten zur Dosis bei. Im freien Weltraum hingegen könnten die Dosiswerte ohne passende Abschirmung sehr wohl zu möglichen akuten Strahleneffekten führen.

Akute Strahleneffekte möglich

Als Beispiel sei das Ereignis am 10. September 2017 erwähnt. Hier war es möglich, Messwerte von unterschiedlichen Messgeräten im Columbus-Labor (DOSIS-3D-DOSTEL und NASA ISS-RAD) zu vergleichen und diese gleichzeitig auch mit Rechnungen basierend auf Strahlungstransportmodellen und Abschirmmodellen der Raumstation zu verifizieren. Im Rahmen dieses Events wurde eine mittlere zusätzliche Strahlungsdosis im Columbus-Labor zwischen 68 und 146 µGy in Columbus gemessen, während im Vergleich dazu die Strahlungsdosis auf der Oberfläche des Mars 418 µGy betrug [10].

Was geschieht noch auf der ISS?

Die angeführten Beispiele hier können nur einen ersten Einblick geben, welche Messdaten auf der ISS gewonnen werden und welche Dosiswerte wir zu erwarten haben.

Fazit

Im Hinblick auf zukünftige Explorationsmissionen, wie beispielsweise die Rückkehr zum Mond, stellt die ISS für den Test von neu entwickelten Messgeräten eine perfekte Umgebung dar, da all die Neuentwicklungen gleichzeitig mit schon vorhandenen Geräten getestet und deren Messergebnisse verglichen werden können. Diese Vorgehensweise wird z. B. für die Entwicklung von aktiven Personendosimetern, aber auch für die Entwicklung und Testung von operationellen Ortsdosimetern, die für die zukünftigen NASA-Missionen zum Mond in der Orion-Kapsel verbaut werden, angewandt.
Somit hat uns die ISS in den letzten 20 Jahren schon viele Forschungsmöglichkeiten gegeben und wird uns noch in der Zukunft als notwendige und sinnvolle Forschungsstation zur Verfügung stehen.

Thomas Berger, Daniel Matthiä ❑

Anzeige

Strahlenschutzkurse im technischen Bereich in Jülich

Frühjahr 2022

Grundkurs - Modul GG **440,-**
04. – 05.04.

Grundkurs - Modul GH **560,-**
21.03 - 23.03. und 16. - 18.05.

Spezialkurse
Modul FA **290,-**
(Module GG oder RG Voraussetzung)
06.04.

Modul BF **290,-**
(Modul GG Voraussetzung)
07.04.

Umschlossene Stoffe
Modul UH **410,-**
(Modul GH Voraussetzung)
19. – 20.05.

Offene Stoffe
Modul OG **410,-**
(Modul GH Voraussetzung)
24. - 25.03.
Modul OH **770,-**
(Modul GH Voraussetzung)
30.05. - 02.06.
Modul K **280,-**
(Modul OH Voraussetzung)
03.06.

Aktualisierungskurse
Module AR, AU **230,-**
10.02. und 23.05.
Modul AFA **70,-**
(Module AR, AU Voraussetzung)
10.02. und 23.05.
Modul AO **150,-**
(Module AR, AU Voraussetzung)
10.02. und 23.05.
Modul AB **170,-**
(Module AR, AU, AO Voraussetzung)
11.02. und 24.05.

Röntgenkurse
Modul RM (R3) **260,-**
07.03.
Module RG+Z1 (R2.2) **630,-**
07. – 09.03.
Module RH+Z3 (R2.1) **990,-**
02. – 05.05.

Aktualisierungskurse RöV
Module ARG + ARA (6h) **270,-**
09.02.
Modul ARG (4h) **200,-**
10.03.

Laserschutzkurs **530,-**
31.01.-01.02.

FH Aachen Akademie | Kursstätte für Strahlenschutz | Campus Jülich
Heinrich-Mußmann-Str. 1
52428 Jülich
Tel.: 0241 / 6009-53116
weiterbildung@fh-aachen.de
Mitglied im Qualitätsverbund (QSK)