



Von der Erde zum Mond und Mars:

Weltraumstrahlung und ihre Bedeutung für die Exploration durch Menschen



Robert F. Wimmer-Schweingruber für die MSL & Chang'E 4 Teams
IEAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



Strahlung im Weltraum als Gesundheitsrisiko

Strahlenschäden sind **das** Langzeitrisiko für Astronauten. Schäden können auch erst viel später nach dem Aufenthalt im Weltraum auftreten.



ISS027E011851



Personendosimeter

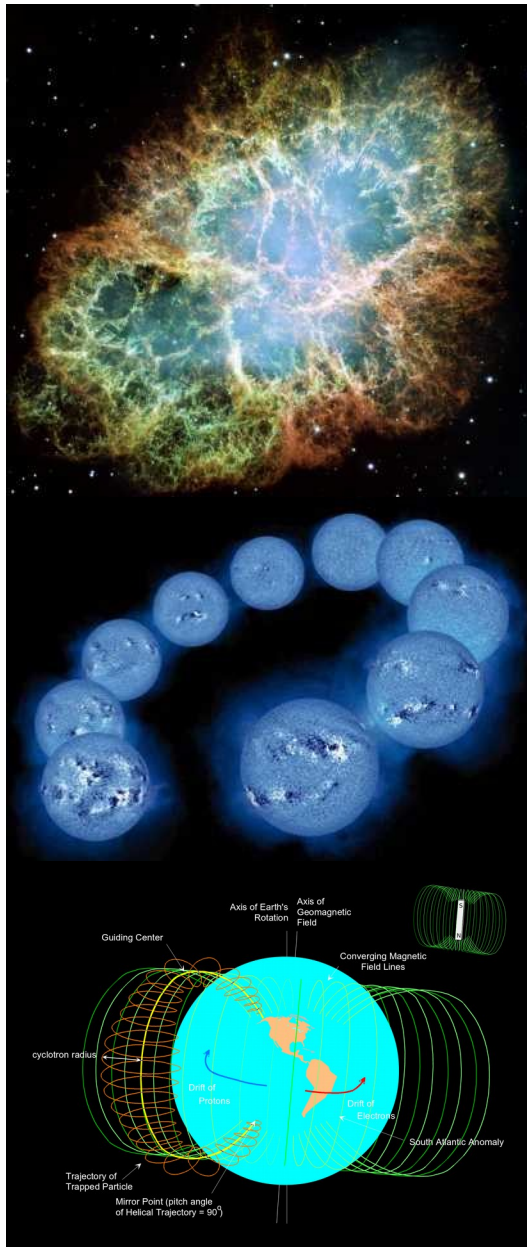


Phantomexperiment MATROSHKA

(Photos: G. Reitz)



Strahlung im Weltraum als Gesundheitsrisiko



Galaktische kosmische Strahlung:

Sehr hohe Energien, H bis U

Stark penetrierend

Solare Modulation, voraussagbar

Solare energiereiche Strahlung:

Hohe Energien

Abschirmung möglich

Große Variabilität der Dosisrate (~10.000)

Solare Aktivität, nicht voraussagbar

Irdische Strahlungsgürtel:

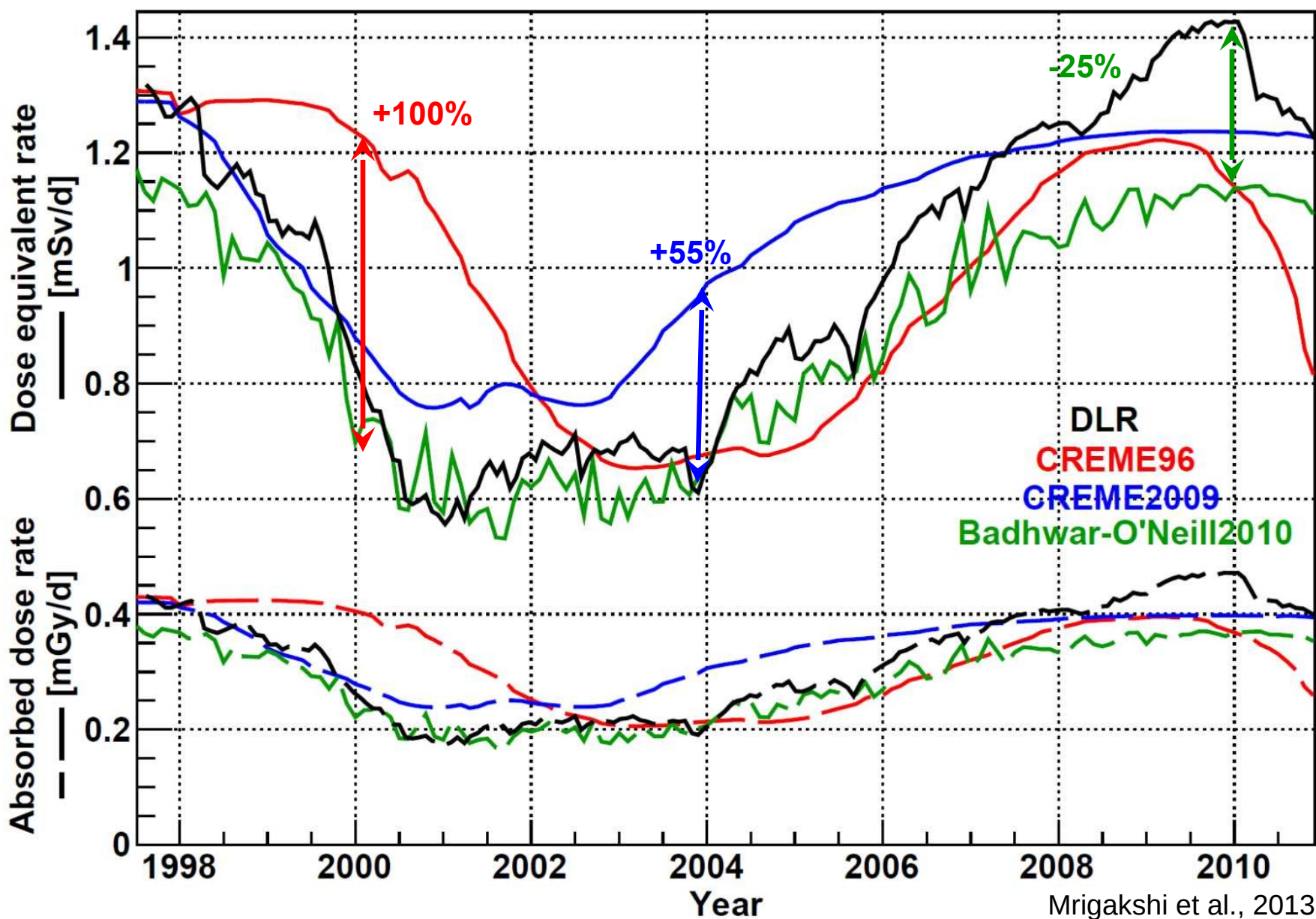
Sehr hohe Energien, Protonen, Elektronen

Stark penetrierend

Sehr hohe Dosisrate



Modelle geben sehr unterschiedliche Voraussagen



45.457°S 177.588°E

Von Kármán



Messungen der Strahlung auf dem Mond?





Messungen der Strahlung auf dem Mond?





Messungen der Strahlung auf dem Mond?

Keine!





Messungen der Strahlung auf dem Mond!

~~Keine!~~



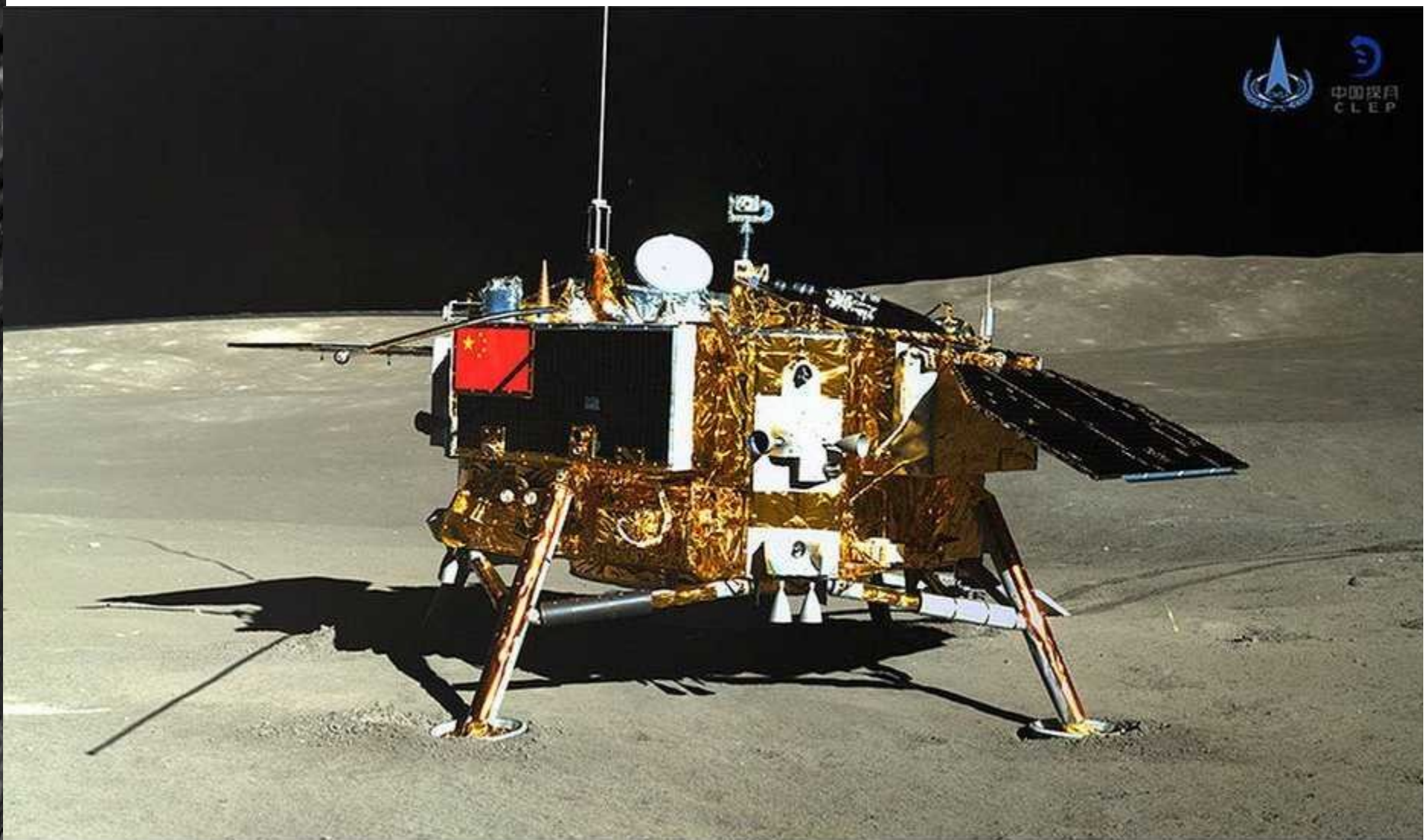


Messungen der Strahlung hinter dem Mond!



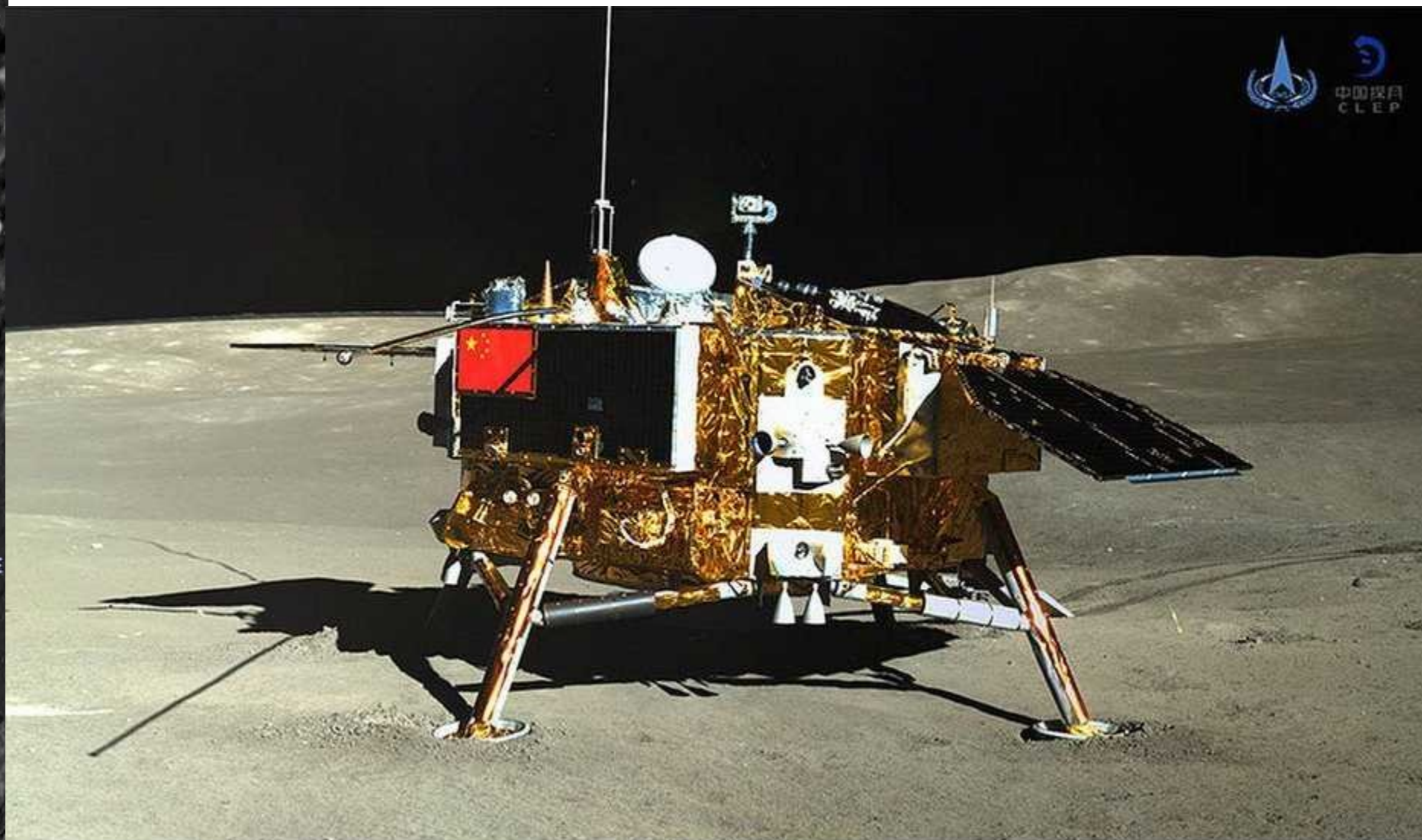
45.457°S 177.588°E

Von Kármán





Messungen der Strahlung hinter dem Mond!



Chinas Chang'E 4 Mission landete am 3. Januar 2019 auf der Rückseite des Mondes. Mit an Bord das in Kiel entwickelte Strahlungsmessgerät LND.



Bedeutung der Strahlung für Astronauten



Apollo 16:

16. April 1972, 17:54 Start

21. April 1972, 02:23 Landung auf dem Mond

Dazwischen:
Eine enorme
solare Teilchen-
explosion!



Apollo 17:

7. Dez. 1972, 05:33 Start

11. Dez 1972, 19:55 Landung auf dem Mond

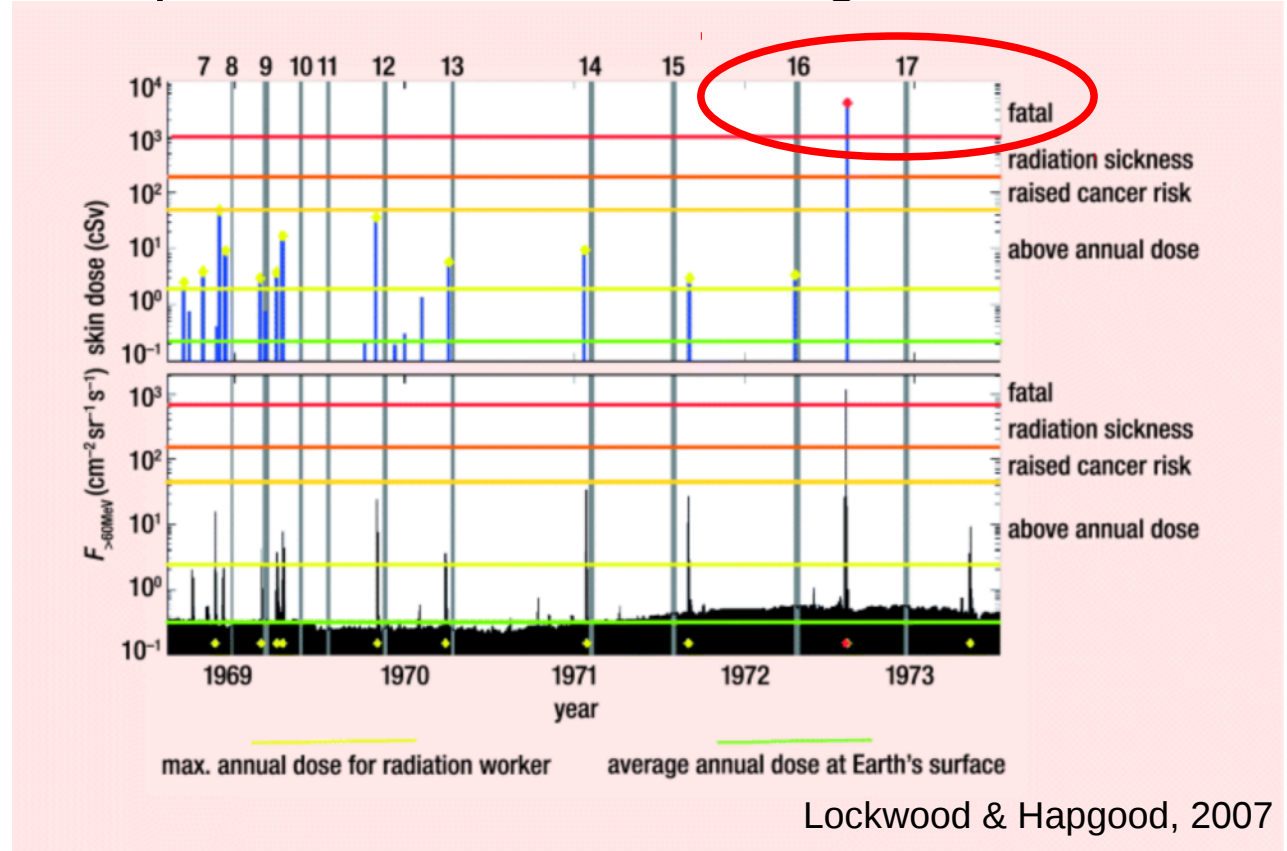


Bedeutung der Strahlung für Astronauten



Apollo 16:
16. April 1972, 17:54 Start
21. April 1972, 02:23 Landung auf dem Mond

Dazwischen:
Eine enorme
solare Teilchen-
explosion!



Apollo 17:
7. Dez. 1972, 05:33 Start
11. Dez 1972, 19:55 Landung auf dem Mond



Bedeutung der Strahlung für Astronauten

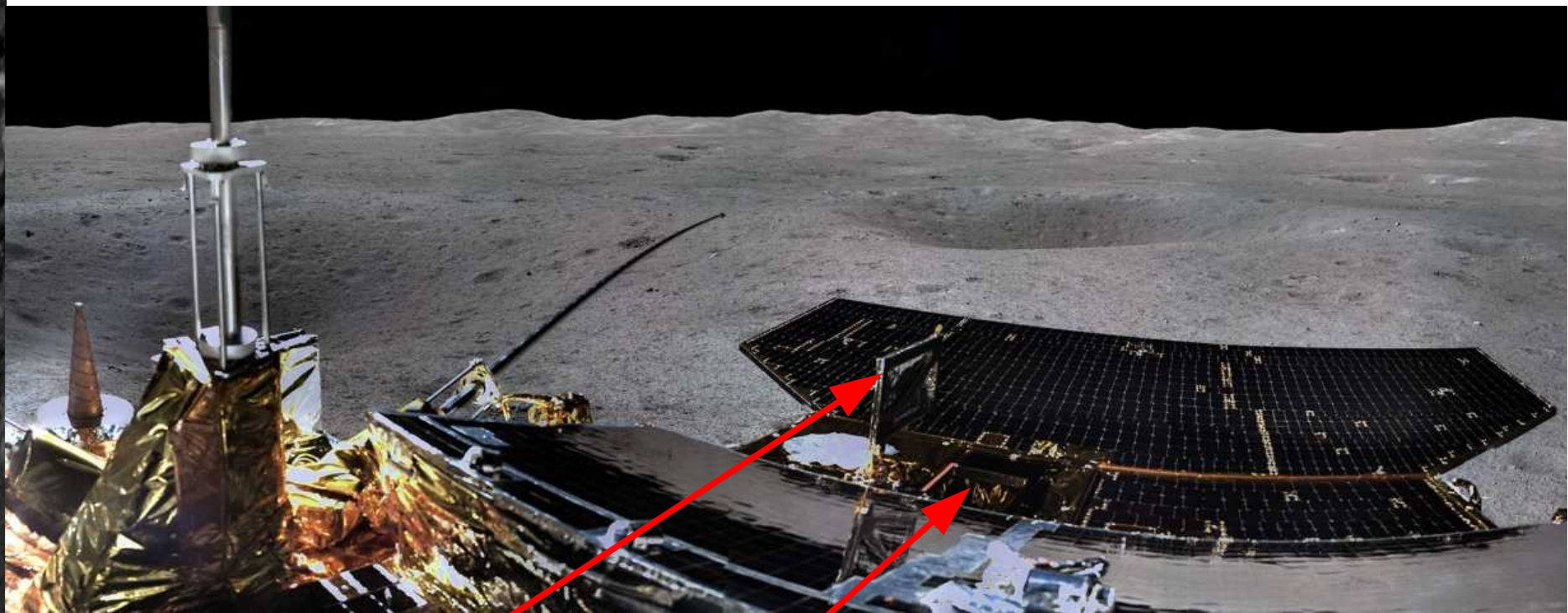
Strahlenexposition ist das wichtigste, größte Langzeitrisiko!

Human Spaceflight Risks 01/12/15	In Mission Risk - Operations						Post Mission Risk - Long Term Health					
	Low Earth Orbit	Low Earth Orbit	Deep Space Sortie	Lunar Visit/Habitation	Deep Space Journey/Habitation	Planetary	Low Earth Orbit	Low Earth Orbit	Deep Space Sortie	Lunar Visit/Habitation	Deep Space Journey/Habitation	Planetary
	6 Months	12 Months	30 Days	1 year	1 Year	3 years	6 Months	12 Months	30 Days	1 year	1 Year	3 years
VIIP	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	A	RM	RM
Renal Stone Formation	A	A	A	A	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
Inadequate food and nutrition	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	A	A	RM
Risk of Space Radiation Exposure	A	A	A	A	A	A	A	A	A	RM	RM	RM
Medications Long Term Storage	A	A	A	A	A	RM	A	A	A	A	A	RM
Acute and Chronic Carbon Dioxide	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	A	A	A
inflight Medical Conditions	A	A	A	RM	RM	RM	A	A	A	A	RM	RM
Cognitive or Behavioral Conditions	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	RM	RM	RM
Risk of Bone Fracture	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	RM
Team Performance Decrements#	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	A	A	A
Reduced Muscle Mass, Strength	A	A	A	A	A	RM	A	A	A	A	A	A
Reduced Aerobic Capacity	A	A	A	A	A	RM	A	A	A	A	A	A
Sensorimotor Alterations	A	A	A	A	A	RM	A	A	A	A	A	RM
Human-System Interaction Design#	A	A	A	RM	RM	RM	A	A	A	A	A	A
Injury from Dynamic Loads	A	A	RM	RM	RM	RM	A	A	RM	RM	RM	RM
Sleep Loss	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	A	RM	RM
Altered Immune Response	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	A	A	RM
Celestial Dust Exposure	N/A	N/A	A	TBD	TBD	TBD	N/A	N/A	A	TBD	TBD	TBD
Host-Microorganism Interactions	A	A	A	A	RM	RM	A	A	A	A	A	RM
Injury due to EVA Operations	A	A	A	RM	A	RM	A	A	A	RM	RM	RM
Decompression Sickness	A	A	A	A	RM	A	A	A	A	RM	A	RM
Toxic Exposure	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Hypobaric Hypoxia	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Space Adaptation Back Pain	A	A	A	A	A	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Urinary Retention	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Hearing Loss Related to Spaceflight	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Orthostatic Intolerance	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Injury from Sunlight Exposure - retired	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Risk of electrical shock - Retired	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

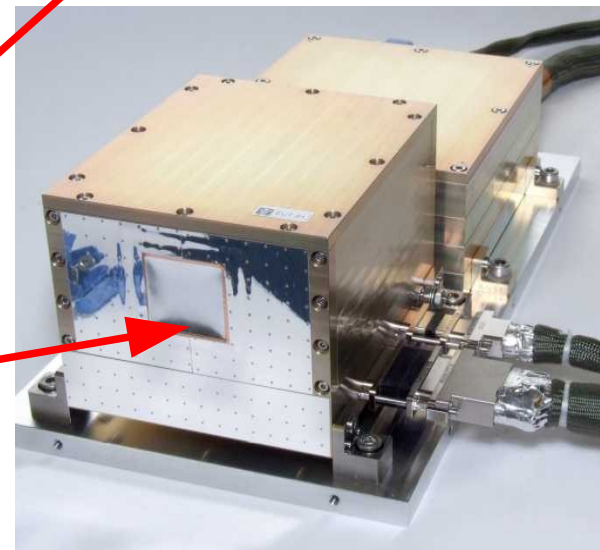
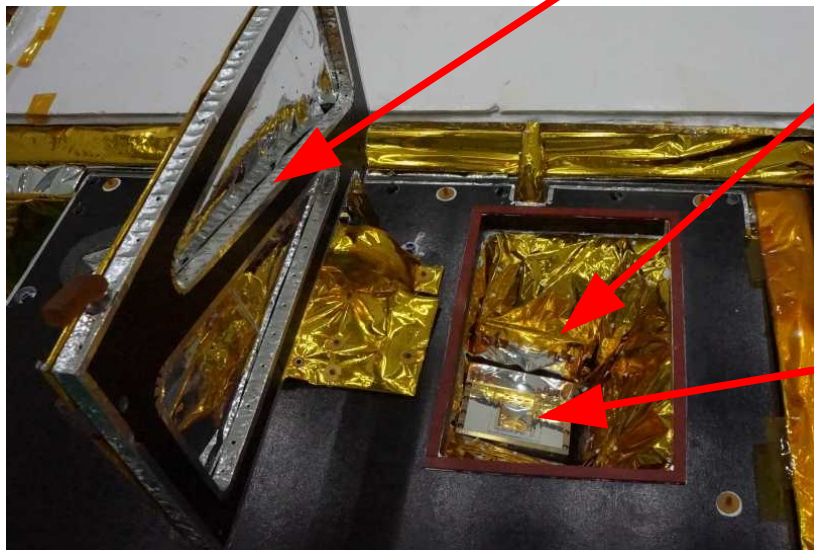
A - Accepted RM- Requires Mitigation Green - controlled Yellow - partially controlled Red - uncontrolled



Messungen der Strahlung hinter dem Mond!



45.457°S 177.588°E



Von Kármán

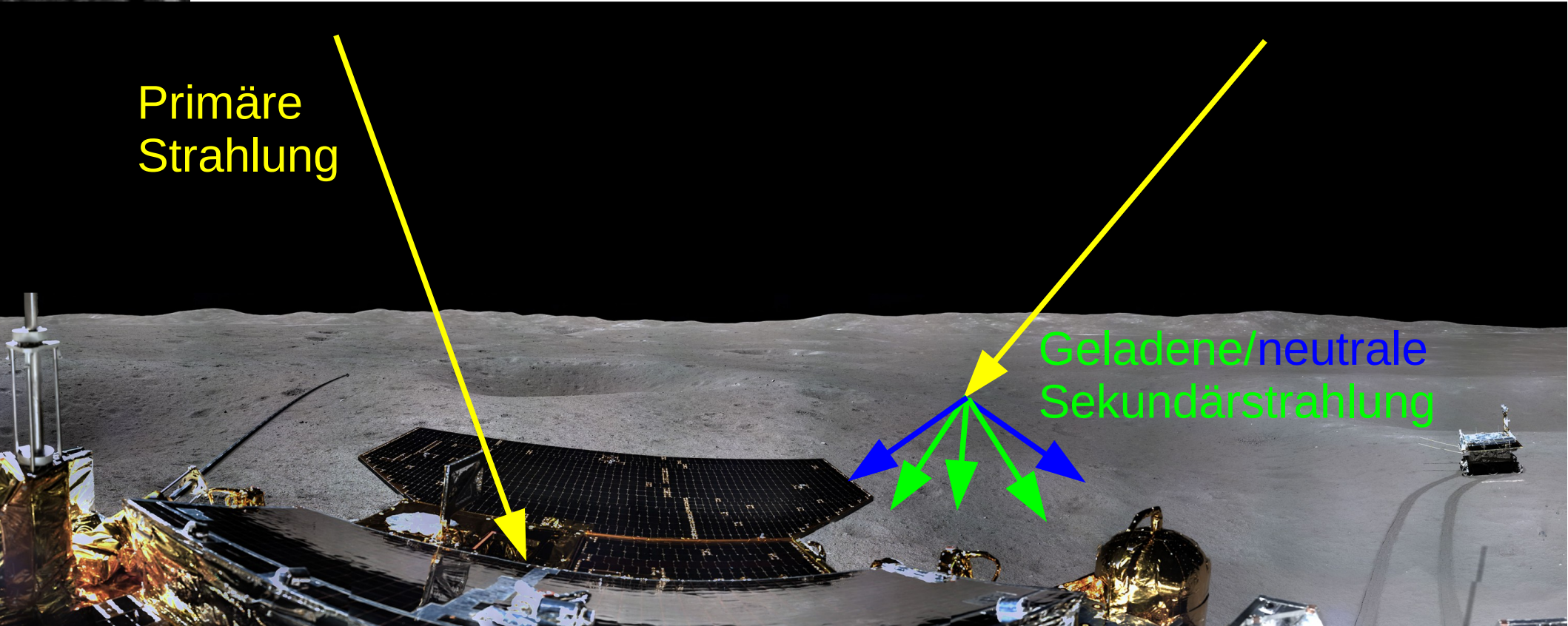


Konzeption des Lunar Lander Neutrons and Dosimetry (LND) Experimentes

- Messung der geladenen und der neutralen Strahlung
- Zeitreihen mit bis zu einer Minute Auflösung
- Messung von thermischen Neutronen zum Nachweis von Wasser

Primäre
Strahlung

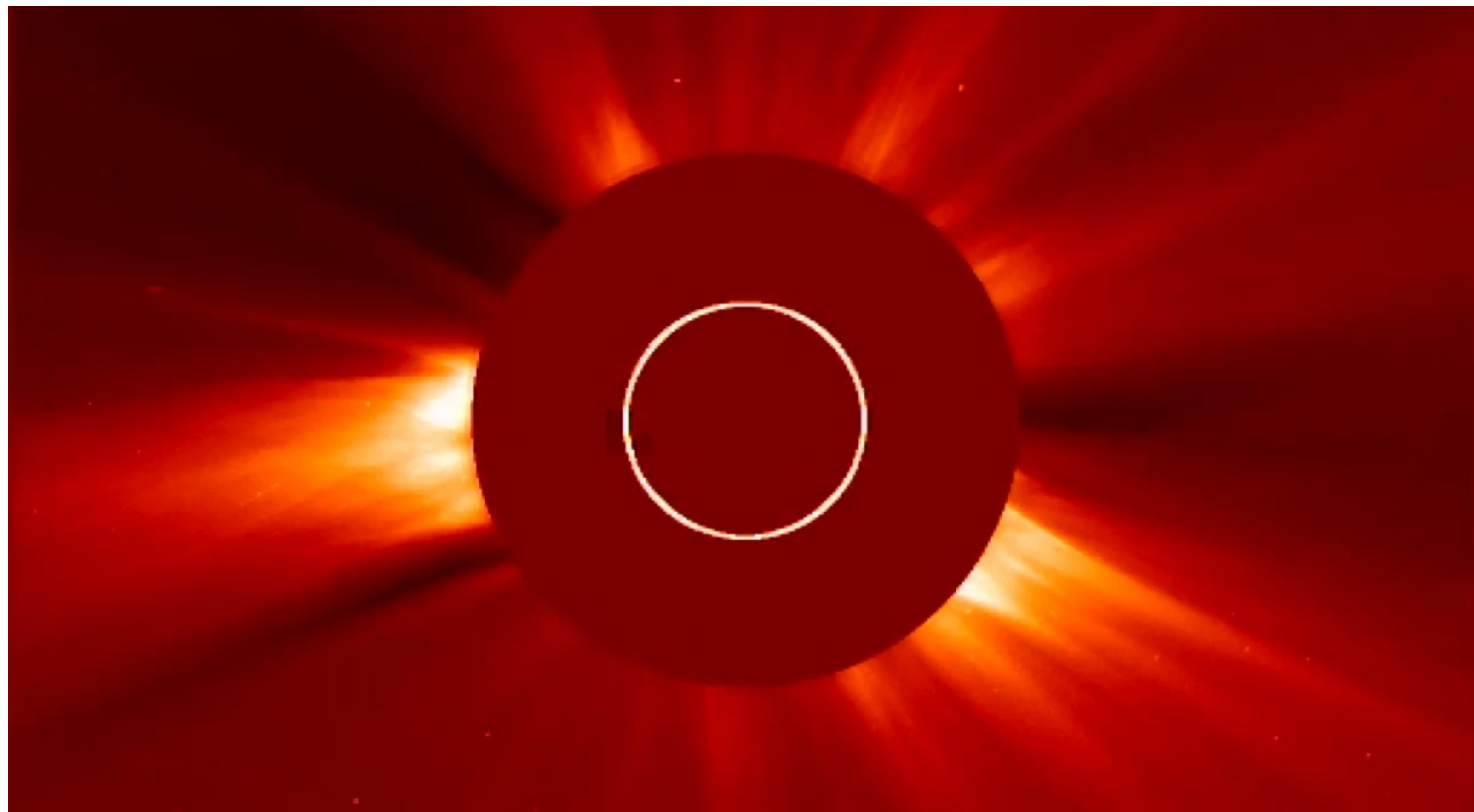
Geladene/ neutrale
Sekundärstrahlung





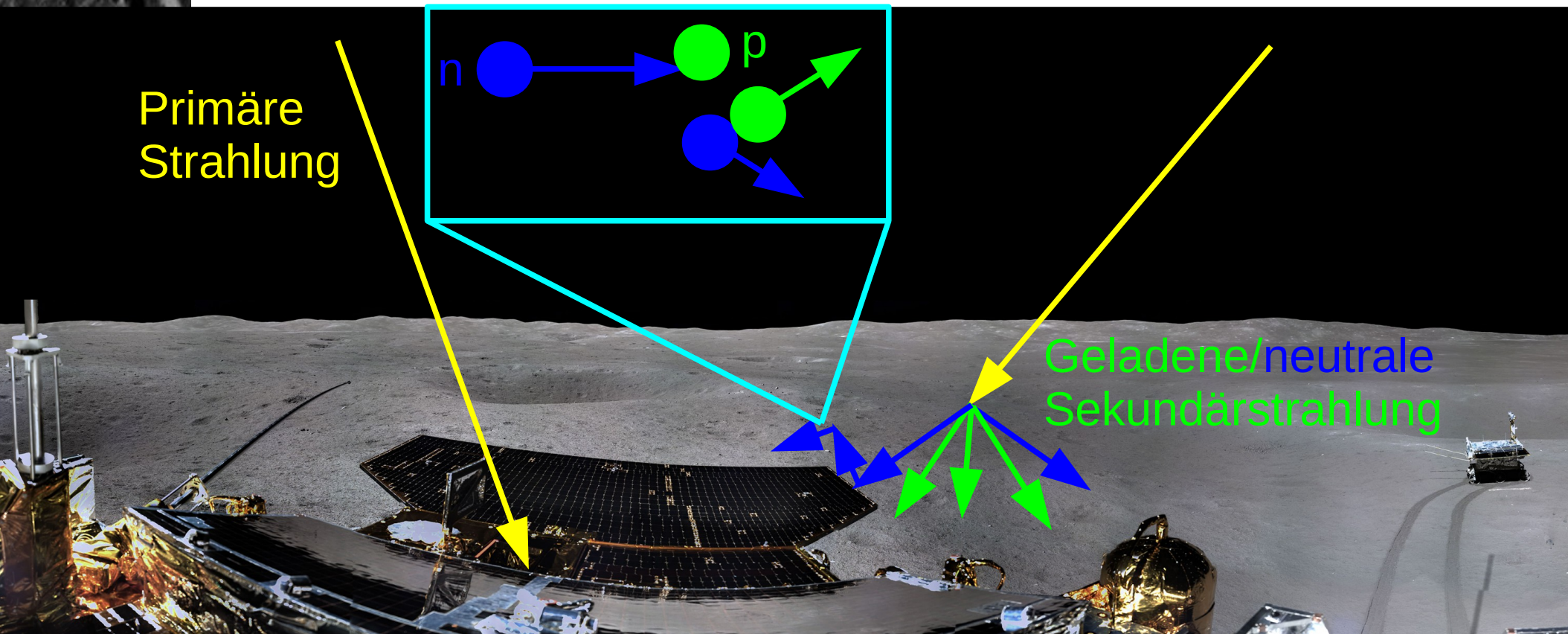
Konzeption des Lunar Lander Neutrons and Dosimetry (LND) Experimentes

- Messung der geladenen und der neutralen Strahlung
- **Zeitreihen mit bis zu einer Minute Auflösung**
- Messung von thermischen Neutronen zum Nachweis von Wasser



Konzeption des Lunar Lander Neutrons and Dosimetry (LND) Experimentes

- Messung der geladenen und der neutralen Strahlung
- Zeitreihen mit bis zu einer Minute Auflösung
- **Messung von thermischen Neutronen zum Nachweis von Wasser**





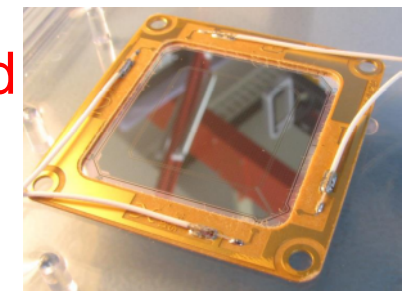
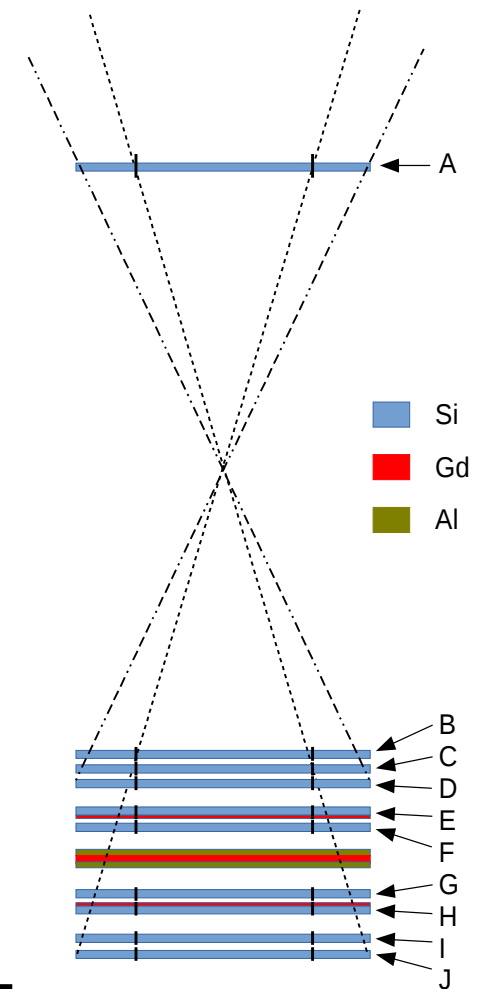
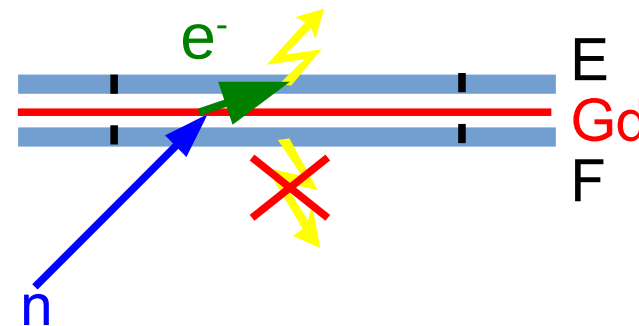
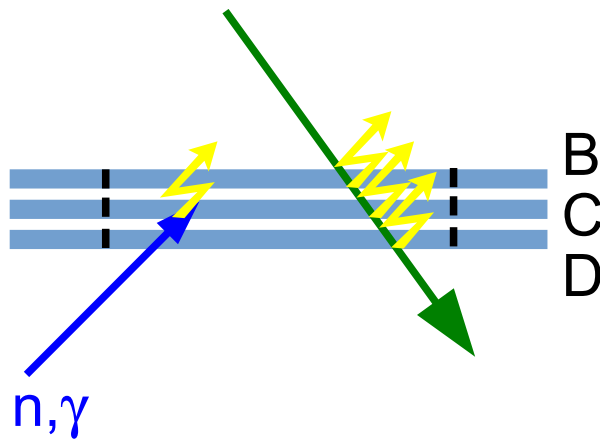
Konzeption des Lunar Lander Neutrons and Dosimetry (LND) Experimentes

- Messung der geladenen und der neutralen Strahlung
- Zeitreihen mit bis zu einer Minute Auflösung
- Messung von thermischen Neutronen zum Nachweis von Wasser

45.457°S 177.588°E



Geladene Teilchen





Kalibration mit thermischen Neutronen



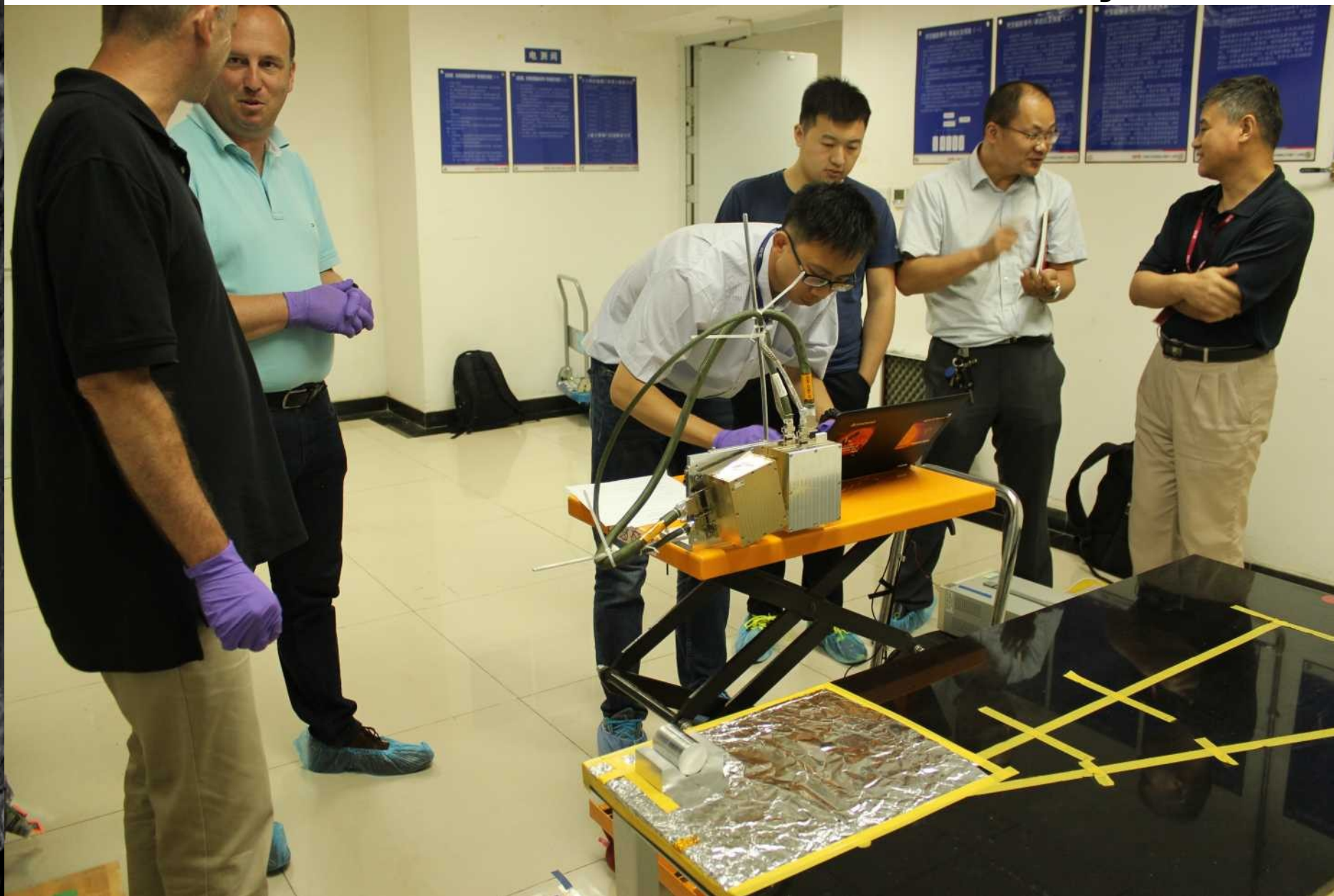


Kalibration mit schnellen Neutronen: Tianjin





Kalibration mit schnellen Neutronen: Tianjin



18th Institute, Tianjin, Juli 2018

20.5.2019

rfws, AKS

21



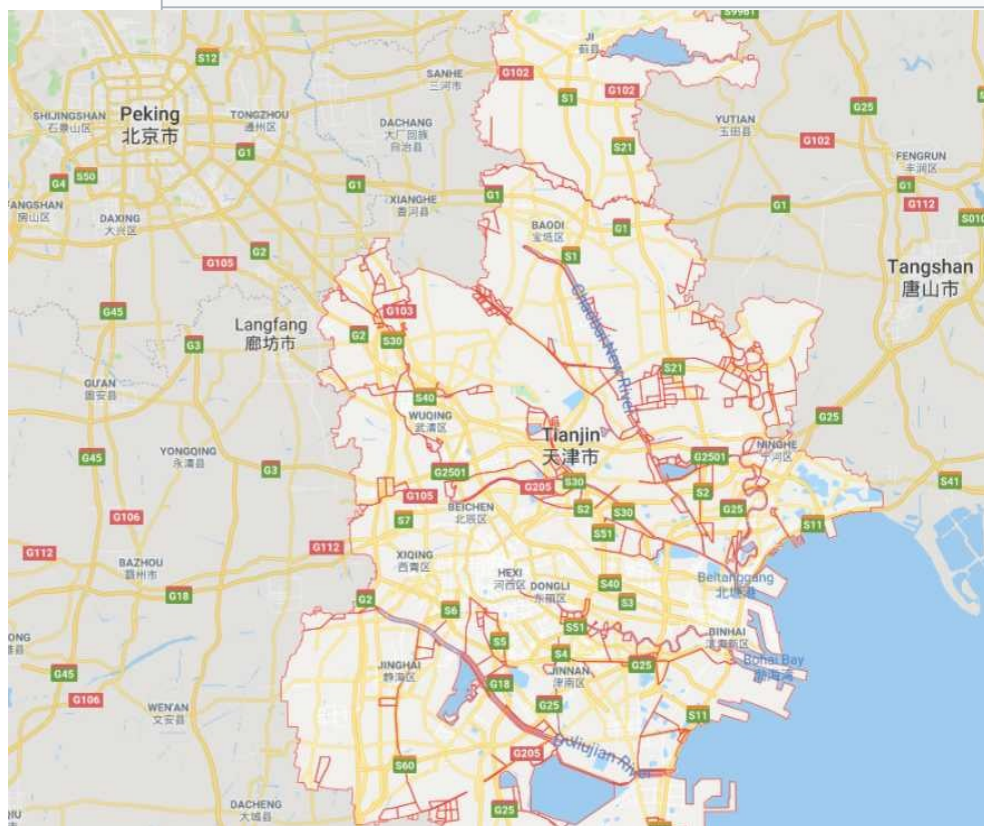
Kalibration mit schnellen Neutronen: Tianjin





Tianjin? Eine Stadt mit 15 Mio Einwohnern...

Name	Pinnacle height	Floors	Completion	City
Wuhan CTF Centre	648 m (2,126 ft)	121	2022	Wuhan
Goldin Finance 117	597 m (1,959 ft)	117	2018 2020	Tianjin
Baoneng Binhu Center T1	588 m (1,929 ft)	119	2024	Hefei
Rose Rock IFC	588.1 m (1,929 ft)	100	2018	Tianjin
Baoneng Shenyang Global Financial Center (Pearl Of The North)	568 m (1,864 ft)	114	2020	Shenyang
Evergrande IFC 1	518 m (1,699 ft)	112	2021	Hefei
Skyfame Center Landmark Tower	420 m (1,380 ft)	90	2021	Nanning
Tianjin Chow Tai Fook Binhai Center	530 m (1,740 ft)	97	2018	Tianjin



518 m (1,699 ft)	88	2019	Dalian
468 m (1,535 ft)	100	2019	Chengdu
458 m (1,503 ft)	99	2021	Chongqing
465 m (1,526 ft)	96	2027	Hefei
402 m (1,319 ft)	85	2019	Nanning
436 m (1,430 ft)	73	2018	Wuhan
428 m (1,404 ft)	94	2020	Haikou
428 m (1,404 ft)	86	2022	Jinan
398 m (1,306 ft)	80	2022	Ningbo
375 m (1,230 ft)	80	2020	Shenzhen
368 m (1,207 ft)	76	2018	Nanjing
350 m (1,150 ft)	69	2017	Wuhan
333 m (1,093 ft)	69	2021	Jinan

45.457°S 177.588°E

Von Kármán

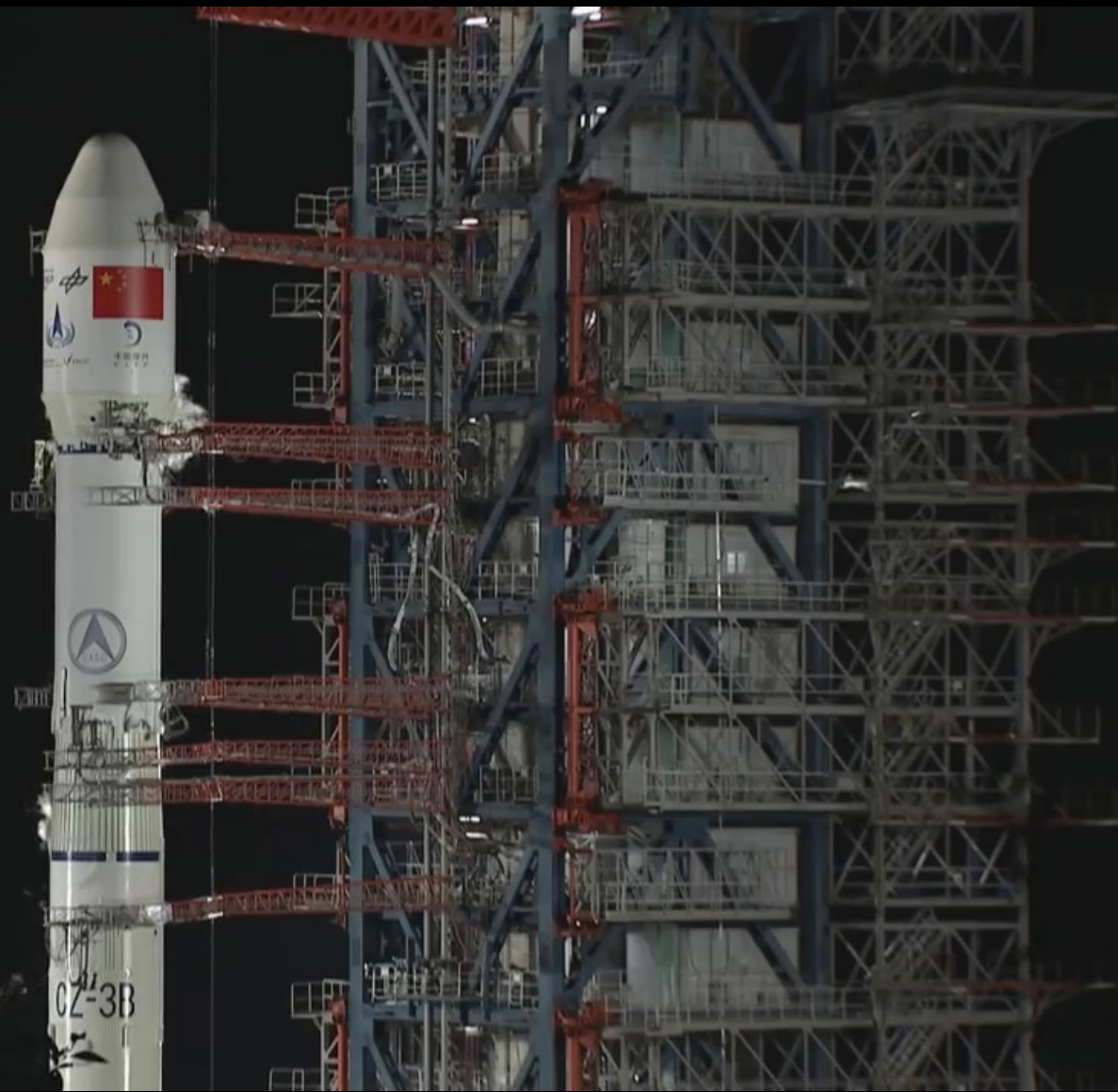
7. Dezember 2018: Start von Chang'E 4 in Xichang (< ½ Mio Einwohner)





7. Dezember 2018: Start von Chang'E 4 in Xichang (< ½ Mio Einwohner)

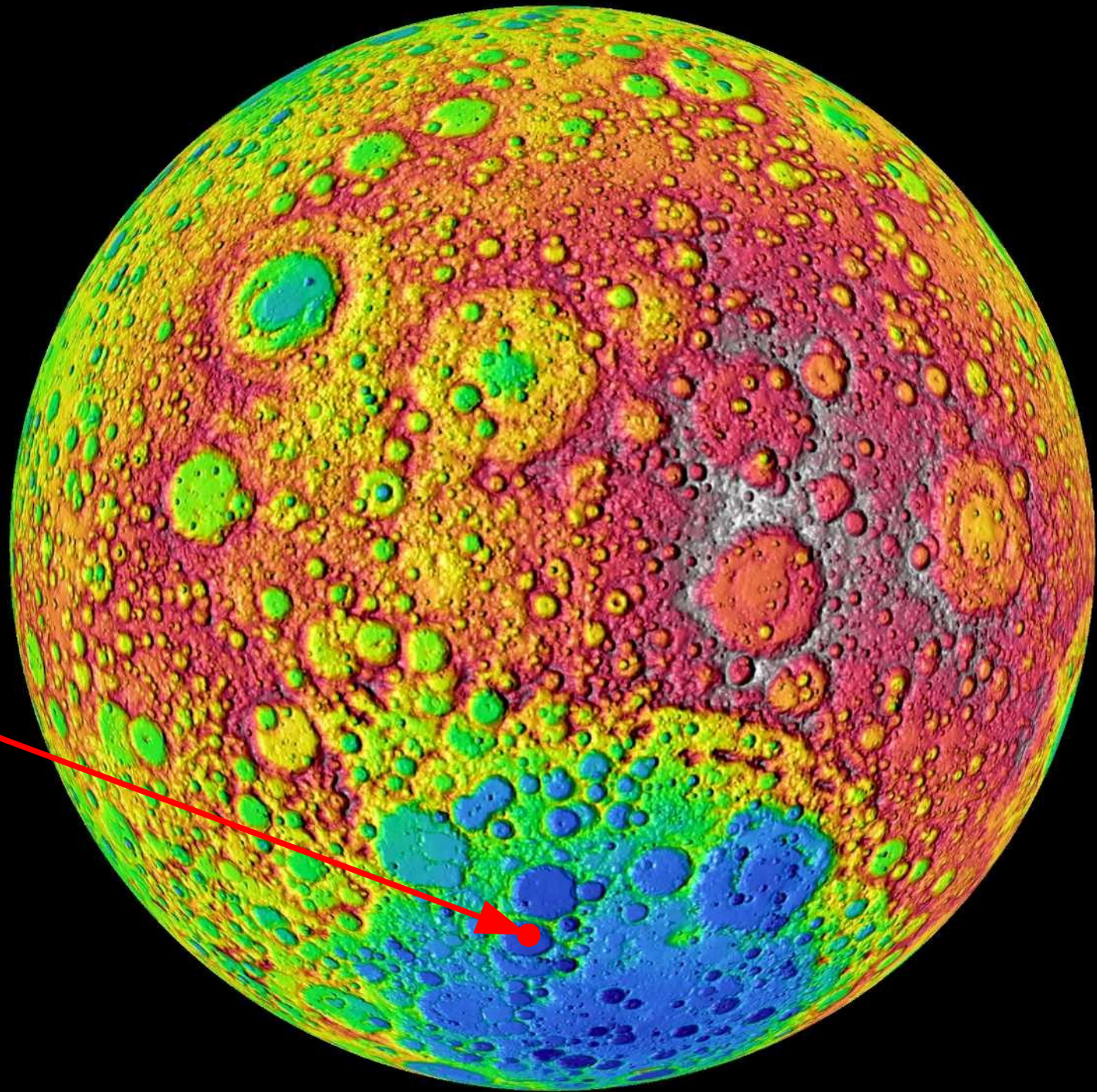






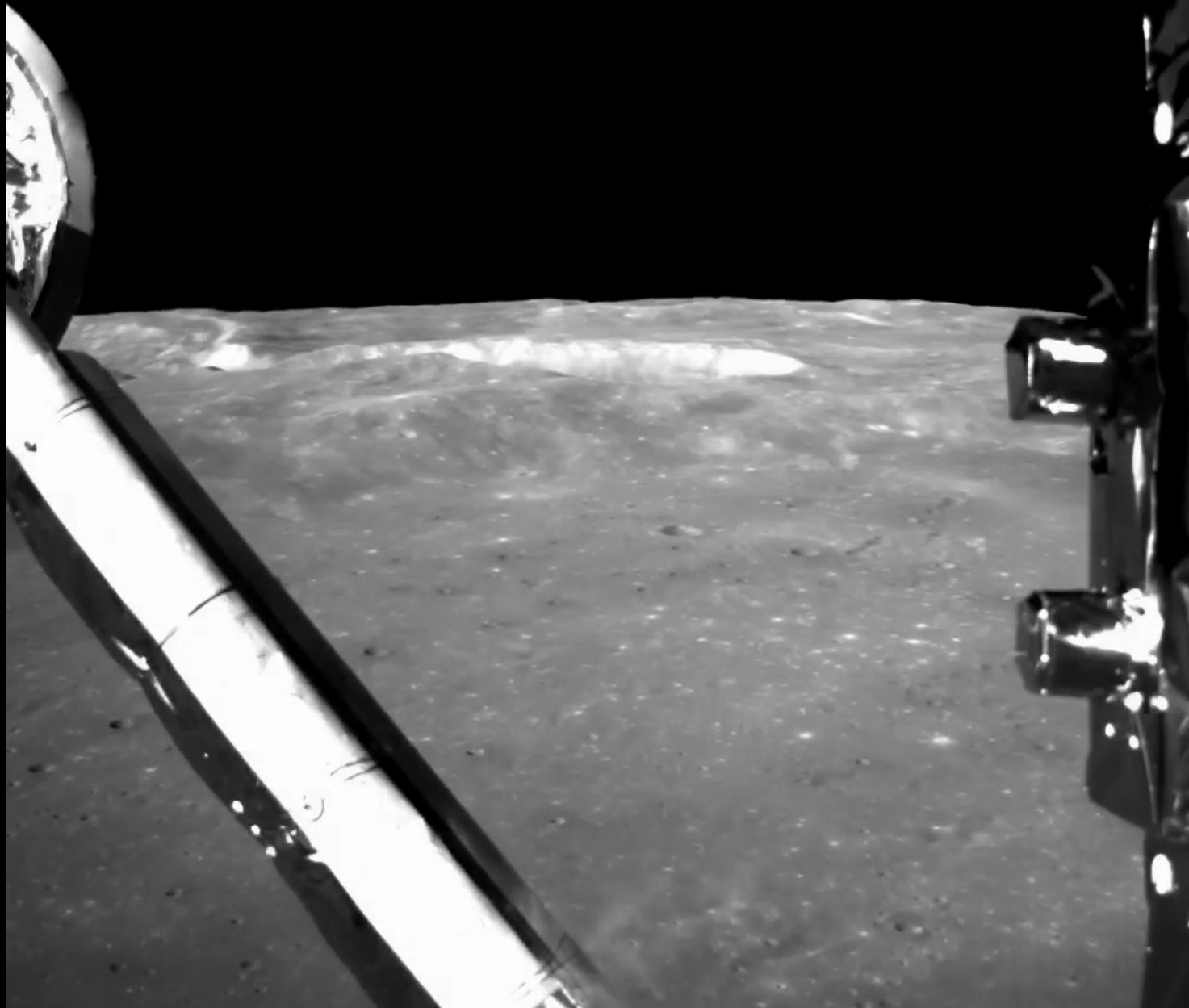
45.457°S 177.588°E

Von Kármán











Gelandet! 3. Januar 2019

Kieler Nachrichten

Eckernförder Nachrichten

FREITAG, 4. JANUAR 2019 | NUMMER 3 | 1. WOCHEN | 1,80 €



LANDESZEITUNG FÜR SCHLESWIG-HOLSTEIN | www.kn-online.de



EVINA
wer spielt
r Holstein



ER
ren
ramt

SONDE GELANDET

Hinterm Mond

Die „Chang'e 4“ setzte erfolgreich auf der dunklen Seite des Erdtrabanten auf. Mit Kieler Technik wird jetzt die Strahlung gemessen. Die Flagge Chinas ist Teil der offiziellen Illustration, Kiels Wappen eine lokalpatriotische Montage.

» LEITARTIKEL | 2, DIE SEITE DREI



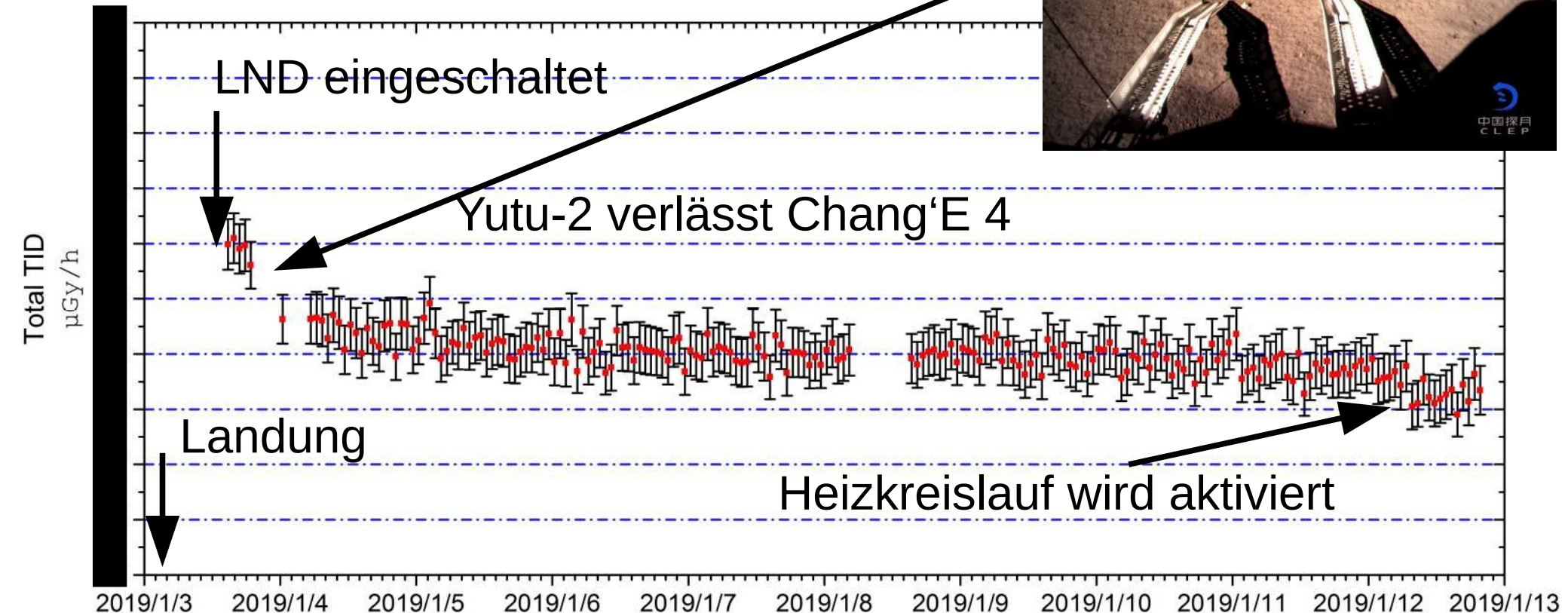
45.457°S 177.588°E

Von Kärman

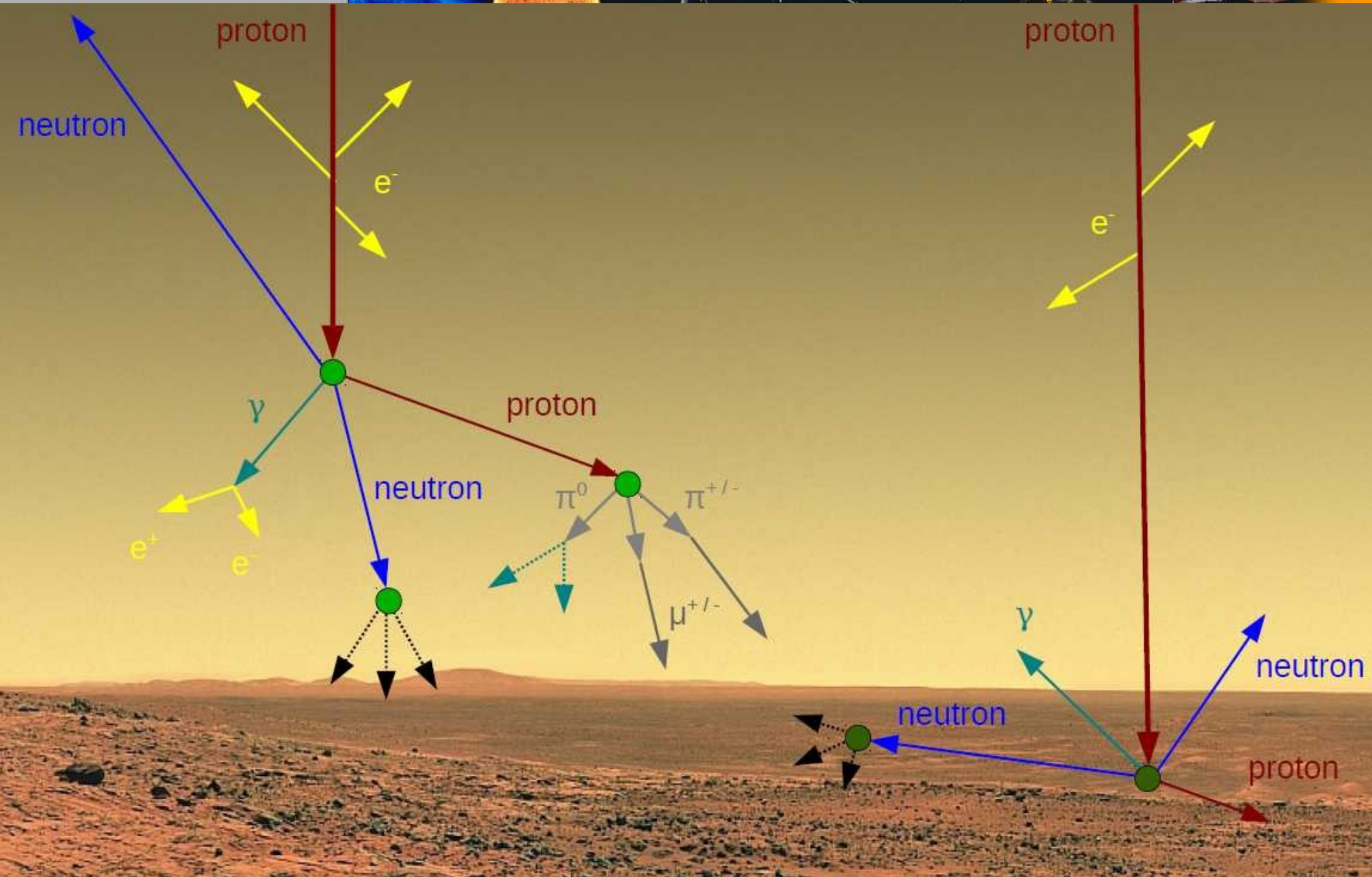
Gelandet! 3. Januar 2019

03:26 MEZ im von Karman-
Krater auf der Rückseite des
Mondes.

Erste Daten zeigen: LND misst!



LND-Messungen sind z.Zt. "under review"
und sollen bald publiziert werden.



Sekundäre Strahlung (neutrale!) spielt wesentliche Rolle! (Ehresmann, 2011)

Maximum der Sekundärproduktion
ist auf Höhe der Marsoberfläche...





Anforderungen an RAD:

- Geladene Teilchen ($1 \leq Z < 27$) bis zu 100 MeV/nuc
- Neutrale Teilchen (n, γ) bis zu 100 MeV
- LET
- Zusammensetzung
- Zeitreihen
- Autonomer Betrieb

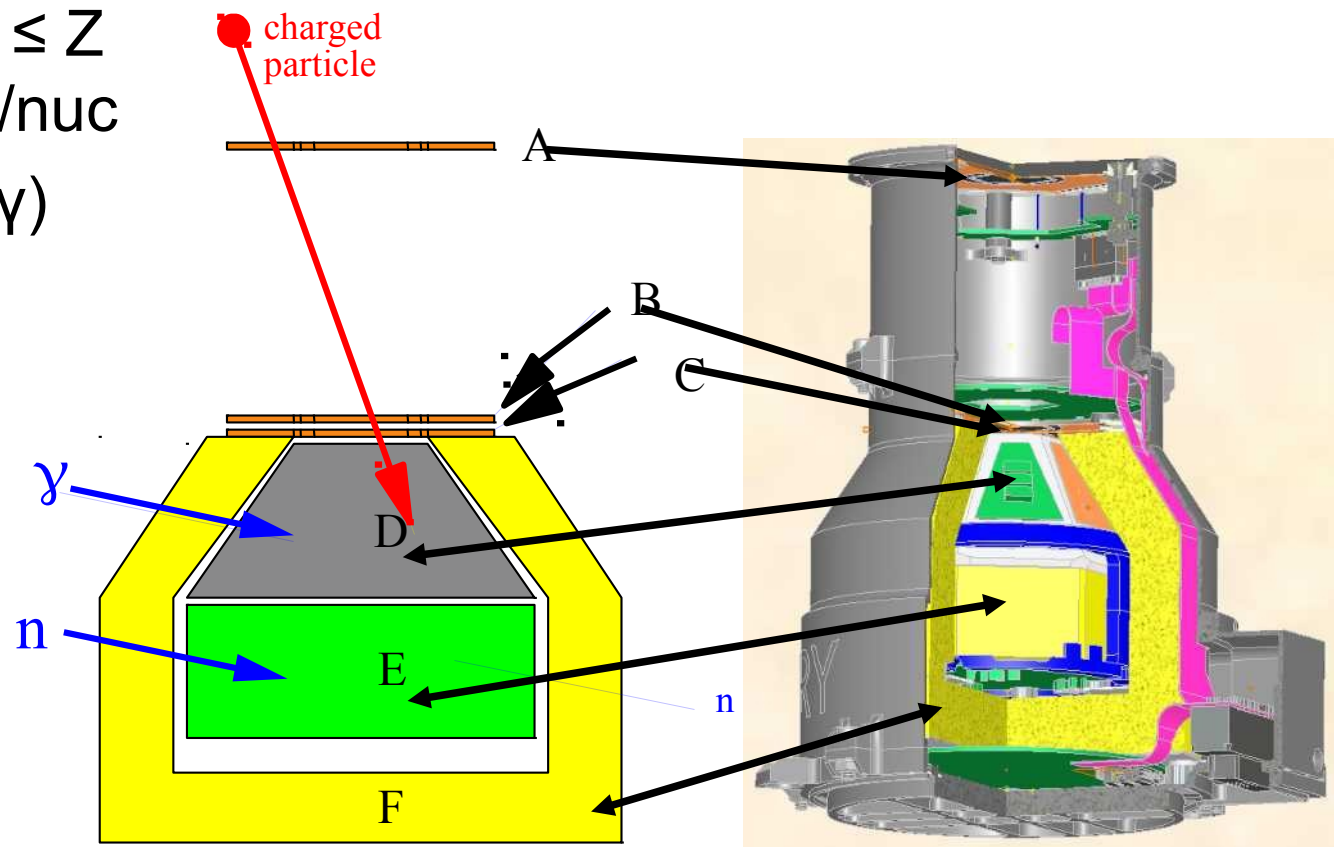




Anforderungen:

- Geladene Teilchen ($1 \leq Z < 27$) bis zu 100 MeV/nuc
- Neutrale Teilchen (n, γ) bis zu 100 MeV
- LET
- Zusammensetzung
- Zeitreihen
- Autonomer Betrieb

Funktionsweise:

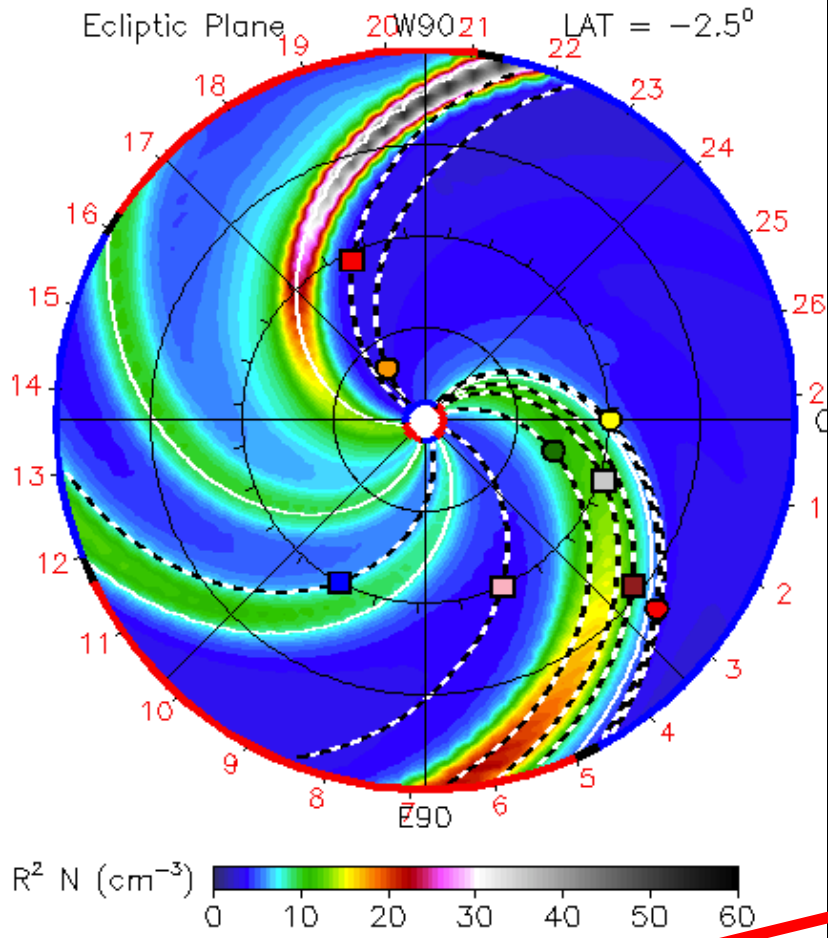




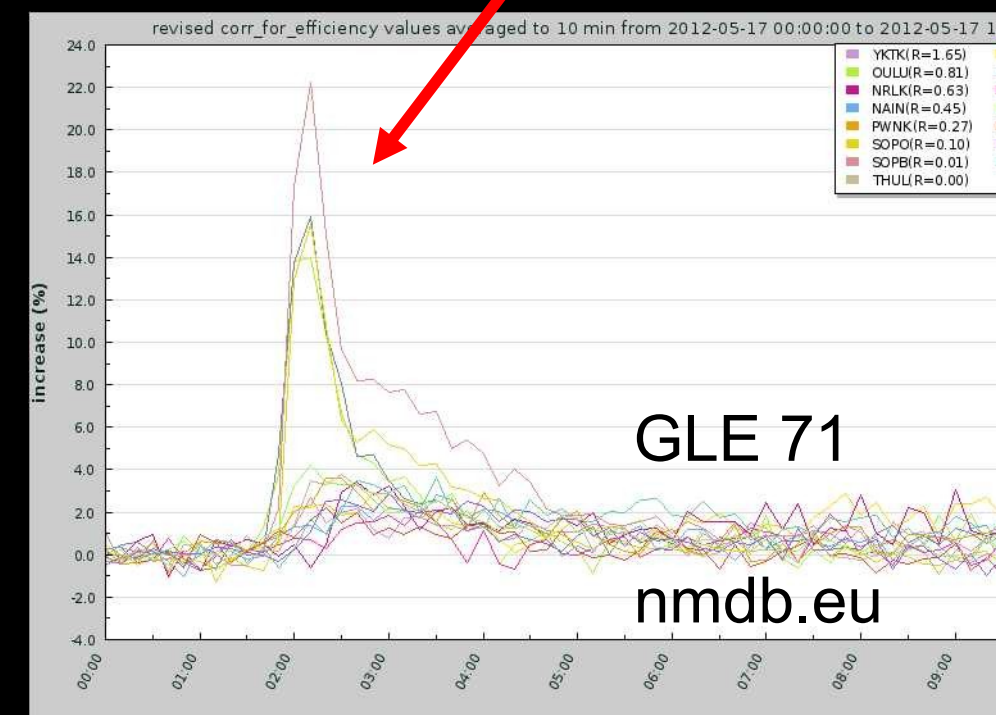
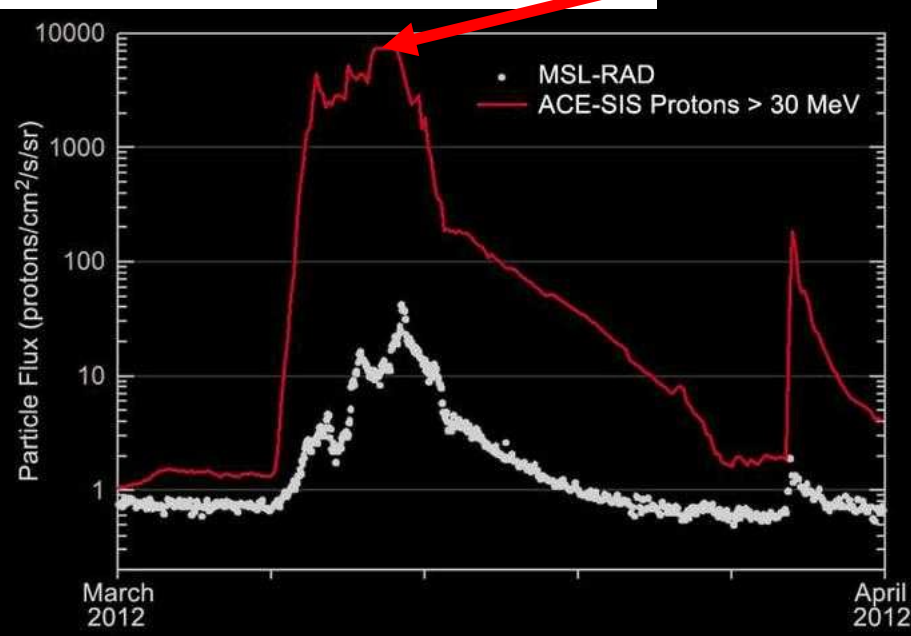
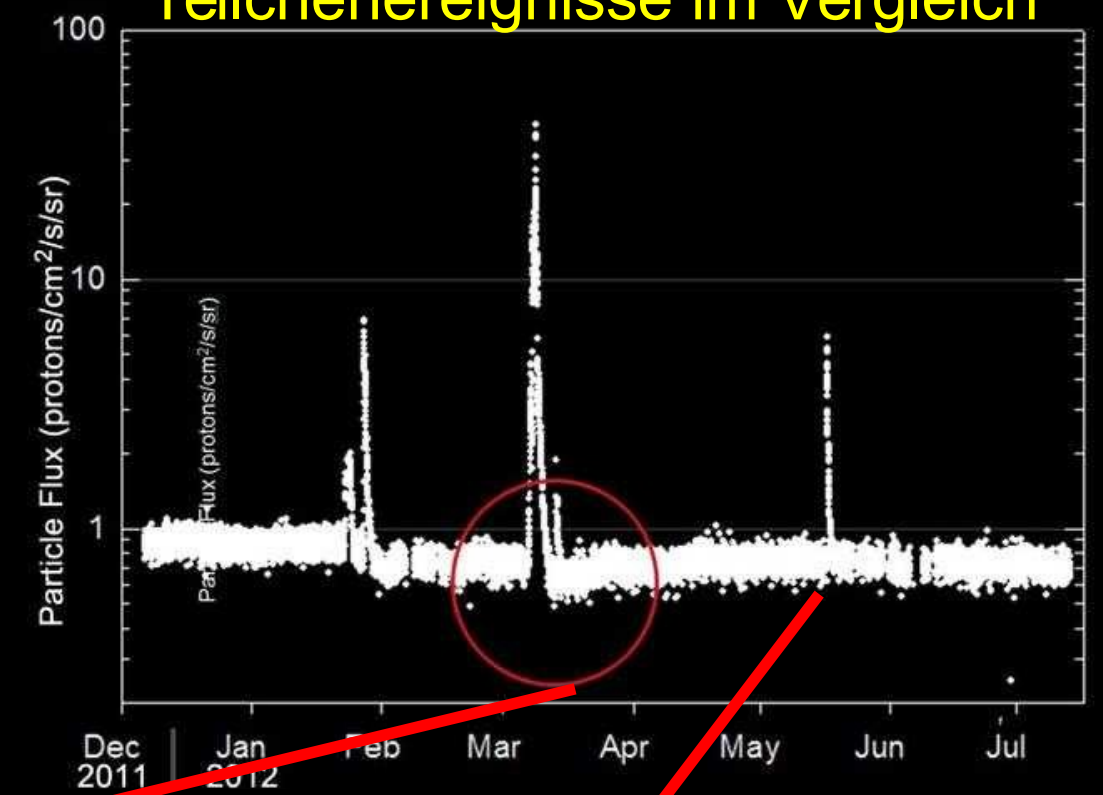
RAD:

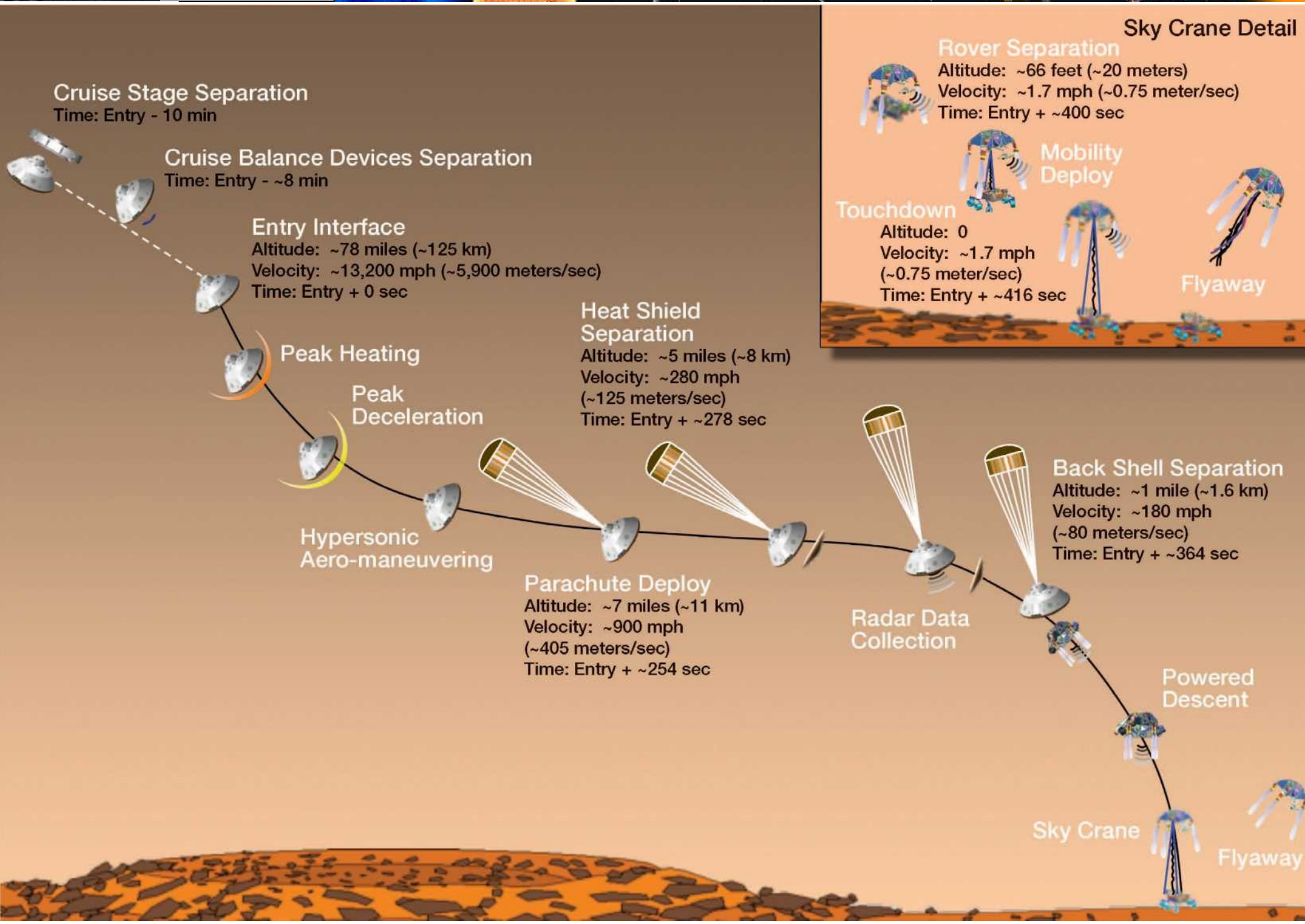
- Masse: 1,56 kg
- Leistungsaufnahme: 4,2 W
- Datenrate: 10 bps
- RSH: FM & FS





Teilchenereignisse im Vergleich





Sky Crane Detail

Rover Separation
Altitude: ~66 feet (~20 meters)
Velocity: ~1.7 mph (~0.75 meter/sec)
Time: Entry + ~400 sec

Mobility Deploy

Touchdown
Altitude: 0
Velocity: ~1.7 mph (~0.75 meter/sec)
Time: Entry + ~416 sec

Flyaway

A detailed 3D rendering of the Mars Rover Curiosity in a desert-like environment. The rover is shown from a side-front perspective, highlighting its complex mechanical structure, including the mast with cameras, the solar panels, and the large wheels. The background features a vast, flat, reddish-brown landscape under a hazy, orange-tinted sky, suggesting a Martian sunset or sunrise. The title "MARS ROVER CURIOSITY" is overlaid in a large, white, sans-serif font.

MARS ROVER CURIOSITY



RAD-Messungen zeigen:

Die Belastung auf einer Reise
zum Mars und zurück beträgt

Fahrt: 662 ± 108 mSv

Mars: 320 ± 50 mSv

Total ~ 1000 mSv

Zum Vergleich:

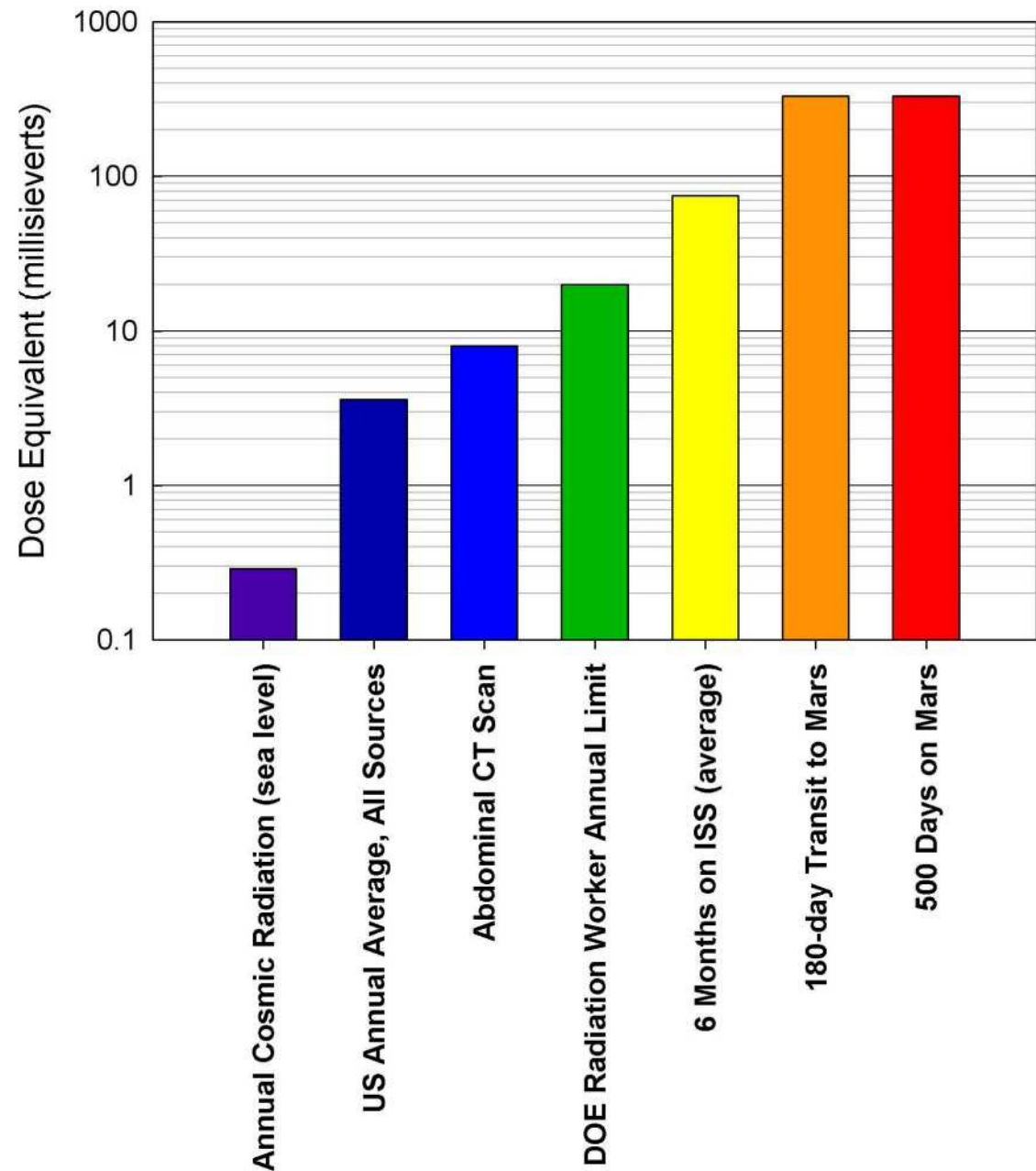
6 Monate ISS: 75-90 mSv

Beruflich exponiert: 20 mSv/y

CT-Aufnahme: 8 mSv

LND Messungen:

LND-Messungen sind z.Zt. "under review"
und sollen bald publiziert werden.



(Zeitlin et al., Science, 2013)

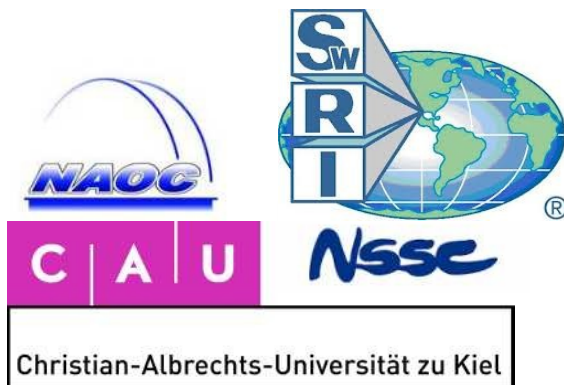


Zusammenfassung und Dank

- Strahlung ist ein relevantes Risiko für die bemannte Raumfahrt.
- Seit dem 3. Januar 2019 gibt es erste Messungen der Strahlendosis auf dem Mond, auf dem Mars seit dem 8.8.2012.
- Kieler Technik misst sowohl die elektrisch geladene wie auch die neutrale Strahlung.
- LND wurde am 29.4.2019 zum 5-ten Mal eingeschaltet, RAD läuft seit der Landung.
- Erste Resultate sollen bald publiziert werden.



45.457°S 177.588°E



謝謝



Supported by:



on the basis of a decision by the German Bundestag



JPL



China Academy of Space Technology