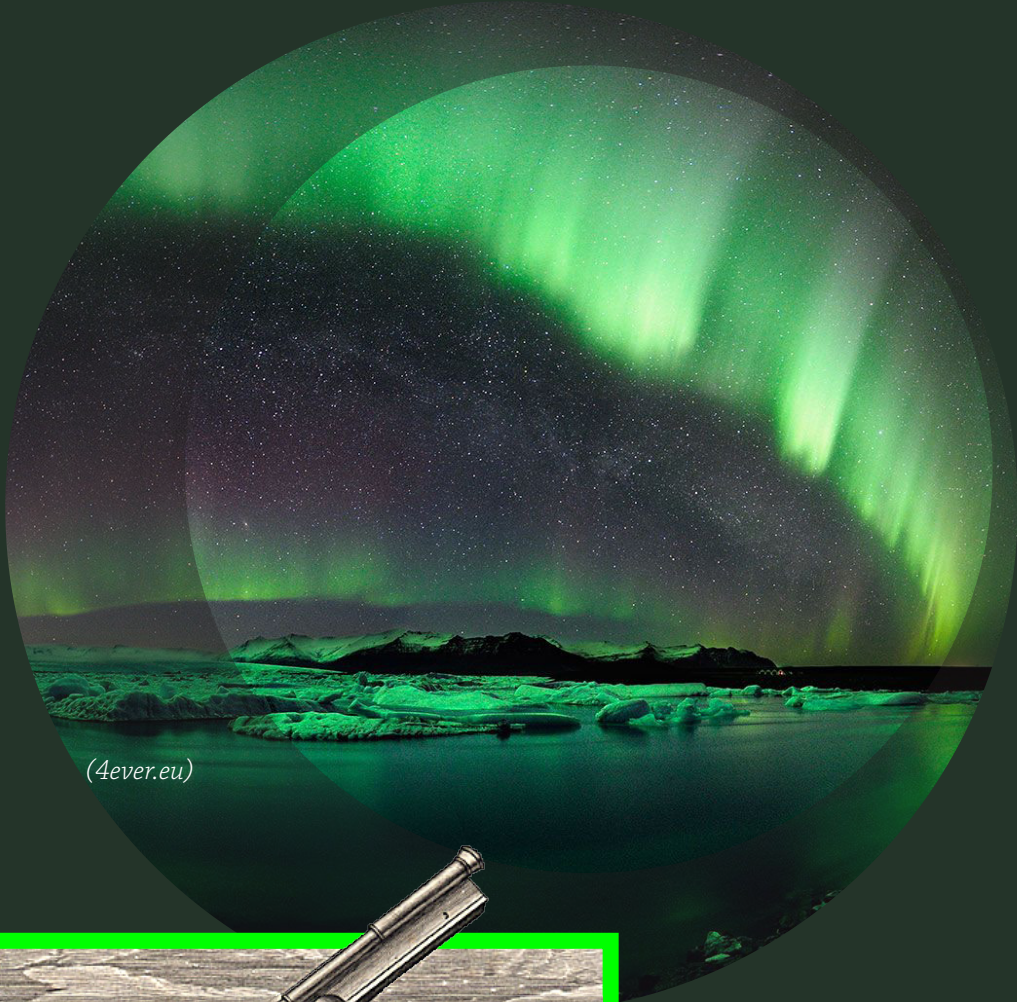


RADIORAMA

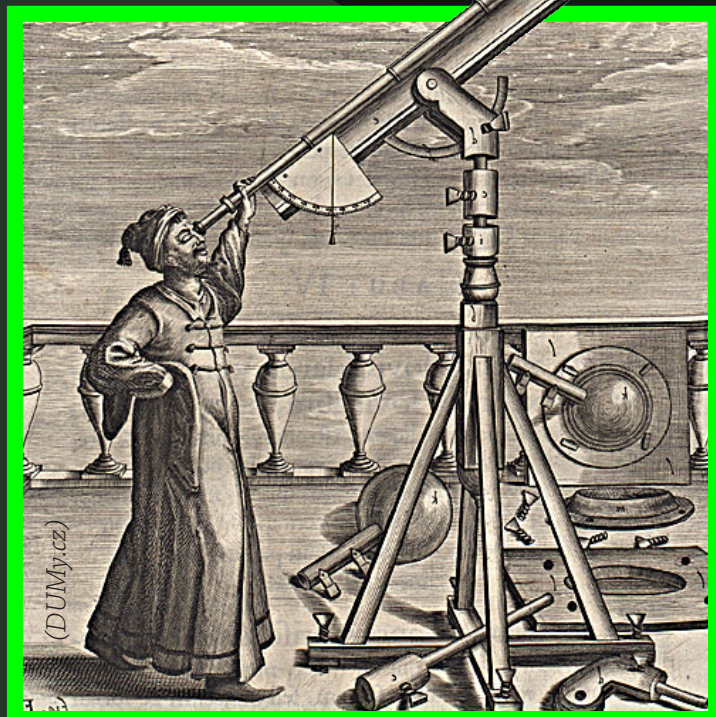
INTERESSANTES FÜR FUNK- UND AV-LIEBHABER

Nr. 114

Ein bisschen zum Fürchten...



(4ever.eu)



(DUMy.cz)

Polarlicht: Schon immer waren die Menschen fasziniert von den geheimnisvoll flackernden Lichterscheinungen, die sich besonders in Polnähe häufig – aber unberechenbar – sehen lassen; reiche Nahrung für Aberglauben und manches Zukunfts-Orakel.

Im 18. Jahrhundert gab es erste Versuche, das Entstehen dieser «Himmelsfeuer» wissenschaftlich zu deuten, wobei man zunächst an Reflexionen des Sonnenlichts an Wolken oder Eiskristallen dachte. Einige Zeit später erkannte der englische Astronom und Mathematiker Edmond Halley einen Zusammenhang mit dem Erdmagnetfeld, ohne jedoch das Leuchten erklären zu können. Dies gelang erst 1867 dem Schweden Anders Angström mit der Erkenntnis, dass es sich um selbstleuchtende Gase handelt.

Heute weiss man (zitiert aus Wikipedia), dass Polarlicht – «Aurora Borealis» (Nordlicht auf der Nordhalbkugel) und «Aurora Australis» (Südlicht auf der Südhalbkugel) – durch angeregte Stickstoff- und Sauerstoffatome der Hochatmosphäre (Elektrometeor) entsteht, die in Polargebieten beim Auftreffen beschleunigter geladener Teilchen aus der Erdmagnetosphäre auf die Atmosphäre hervorgerufen wird. Polarlichter sind meistens in zwei etwa 3 bis 6 Breitengrade umfassenden Bändern in der Nähe der Magnetpole zu sehen.

Von entscheidender Bedeutung sind die Erkenntnisse des norwegischen Physikers Kristian Birkeland, welcher, von der Sache fasziniert, alles daran setzte, das Phänomen zu enträtseln. Er unternahm zahlreiche, abenteuerliche Polar-Expeditionen, die ihn an den Rand der Antarktis führten, zu monatelangem Studium in einem abgelegenen Observatorium bei tiefer Polarnacht. Er konnte beobachten, dass die Lichter geschlossene Ringe über den polaren Regionen bilden und dass sie im Süden und Norden der Erde gleichzeitig auftreten. Nach vielen Versuchen konnte er in der Vakuum-kammer bei zehnmillionenfacher Absenkung des Luftdrucks solche Lichterscheinungen künstlich erzeugen und damit beweisen, dass es sich um eine physikalische Reaktion handelt. Mit seinen Erkenntnissen war der Gelehrte seiner Zeit

weit voraus; keiner wollte ihm glauben, dass ein Strom aus elektrisch geladenen Teilchen von der Sonne zur Erde kommt und in den Polarregionen den Himmel zum Leuchten bringt. Die moderne Physik* steckte noch in den Anfängen – das Existieren des am Polarlicht beteiligten Sonnenwindes** war damals noch reine Theorie; der experimentelle Nachweis gelang erst mit Hilfe erster Raumsonden – 1959 mit der sowjetischen «Luna 1» und 1962 mit der amerikanischen «Mariner 2».

Mariner 2 startete am 27. August 1962 und entdeckte bereits auf dem Weg zur Venus den von Ludwig Biermann in den 1950er Jahren postulierten Sonnenwind. Sehr bald gab es Probleme mit der Sonde: Nach einer Kurskorrektur am 4. September 1962 stieg der Druck im Stickstofftank an, und es entwich Treibstoff. Eine weitere Kurskorrektur war nicht mehr möglich. Ende Oktober liess die Leistung eines der beiden Solarpanels nach, welches am 15. November 1962 ganz ausfiel. Da die Sonde sich der Sonne näherte, reichte jedoch der Strom des zweiten Panels, um die Sonde zu betreiben. Weitere Defekte folgten, die sich jedoch von der Erde aus beheben liessen. Die Sonde passierte am 14. Dezember 1962 die Venus in einer Distanz von 34 773 km, wobei noch alle Messinstrumente Daten lieferten; am 3. Januar 1963 war Schluss...



US-Raumsonde «Mariner 2»
(Practical Space)

Als moderne Physik (Zitat aus Wikipedia) gilt die Phase innerhalb der Entwicklung physikalischer Ideen, in der wesentliche Konzepte der klassischen Physik aufgehoben oder deren Grenzen bewusst gemacht wurden. Ihr Beginn ist etwa auf die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert zu datieren. Wesentliche Aspekte waren*

1. die Entdeckung der kleinsten Einheiten von Materie (zunächst Atome) und Strahlung (zunächst Lichtquanten);
2. die Überwindung des Determinismus der Naturgesetze, die mehr und mehr als Wahrscheinlichkeitsgesetze formuliert werden mussten, um mit den Beobachtungen in Einklang zu gelangen.
3. die Entdeckung des Doppelcharakters aller physikalischen Teilchen und Strahlen, indem sie sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften aufweisen (Welle-Teilchen-Dualismus).

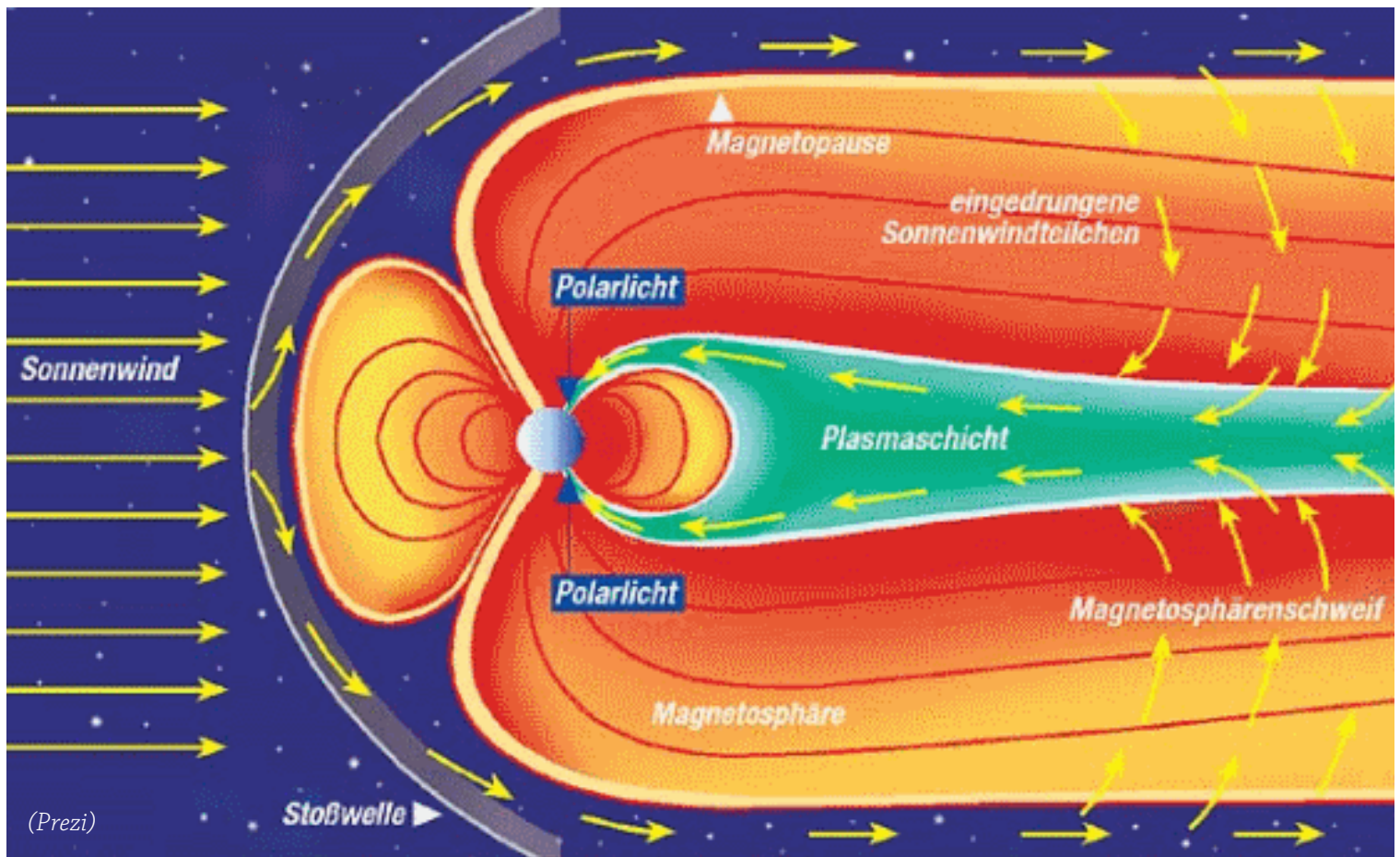
Während dieser Zeit entstanden viele Theorien der modernen Physik, die Auswirkungen auf praktisch alle Fächer der Physik haben: die Quantenphysik und die Spezielle Relativitätstheorie. Wichtige frühe Wegbereiter der neuen Konzepte waren

1. Max Planck (1900) mit seiner Quantenhypothese, der Grundlage für die Entwicklung der Quantenmechanik, Atomphysik, Kernphysik etc.;
2. Albert Einstein (1905) mit seiner Anwendung der Quantenhypothese auf den Photoeffekt und die Schaffung der Speziellen Relativitätstheorie, mit der unter anderem das Konzept des Äthers als Trägermedium des Lichts abgeschafft, ein neues Verständnis des Begriffs der Gleichzeitigkeit geschaffen, Materie mit Energie gleichgesetzt ($E = mc^2$) und die zentrale Bedeutung der konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts gezeigt wurde;

3. Niels Bohr (1913) mit seiner Anwendung der Quantentheorie auf die Atome, womit deren Aufbau aus subatomaren Teilchen theoretisch zugänglich wurde. Damit einher gingen wichtige Experimente, deren Ergebnisse für die neuen Theorien die Grundlage bildeten:

1. das Michelson-Morley-Experiment (1887), das zeigte, dass die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts richtungsunabhängig ist, und dass Auswirkungen eines Äthers, gegen den sich die Erde bewegt, nicht feststellbar sind;
2. die Entdeckung und Erforschung der Röntgenstrahlen (ab 1895);
3. die Entdeckung und Erforschung der Radioaktivität (ab 1896);
4. die Entdeckung und Erforschung der Kathodenstrahlen (ab 1869);
5. die Entdeckung des Aufbaus der Atome aus Atomkern und Atomhülle (ab 1911).

Der Begriff moderne Physik ist relativ zu sehen. Mittlerweile sind manche der älteren Theorien der „modernen Physik“ teilweise ebenso eingeschränkt gültig, wie es manche der klassischen Theorien ihrerzeit waren. Die zeitgenössische Physik orientiert sich, sofern es um elementare Objekte geht, am Konzept der Feldquanten und deren Wechselwirkung.



Kristian Birkeland (1867 - 1917) begann (zitiert aus Wikipedia) ...nach der Schulausbildung in seiner Heimatstadt Kristiania (heute Oslo) an der dortigen Universität ein Studium der Chemie, Mathematik und Physik. Zwischen 1893 und 1895 hielt er sich zu Studienzwecken in Deutschland, Frankreich und der Schweiz auf. Nach seiner Rückkehr nach Norwegen wurde er 1896 das bis dahin jüngste Mitglied der Norwegischen Akademie der Wissenschaften.



(Wikipedia)

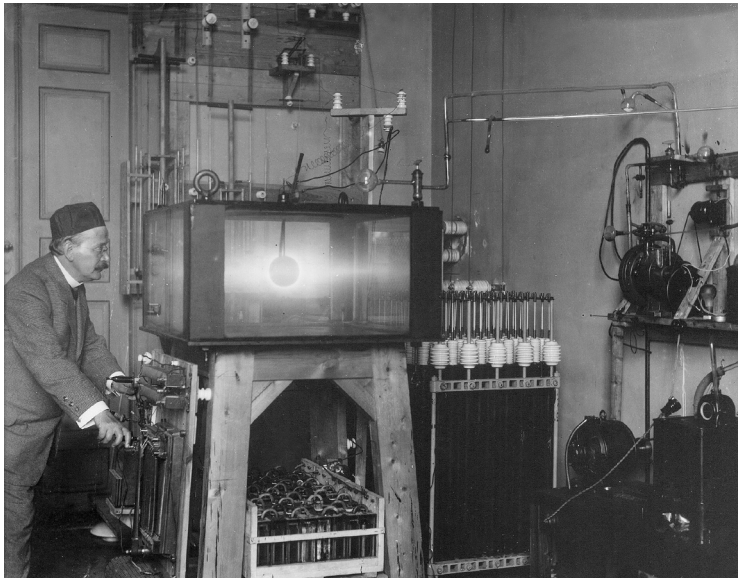
Birkeland beschäftigte sich ab der Mitte der 1890er Jahre intensiv mit dem Polarlicht. Er ging davon aus, dass Elektronen der Sonne das Gasgemisch der oberen Atmosphäre zum Leuchten anregen. Da die Existenz des Sonnenwindes zu dieser Zeit noch nicht bekannt war, wurde seine Theorie jedoch bezweifelt. Im Februar 1897 fuhr

Birkeland erstmals in den Hohen Norden Norwegens und kam beinahe in einem Schneesturm ums Leben. Bis 1899 richtete er ein Nordlicht-Observatorium auf dem Berg Haldde bei Alta ein. Im Winter 1902/1903 betrieb er schliesslich ein Netz aus vier Stationen. Neben Haldde gab es Observatorien auf Island, Nowaja Semlja und der zu Spitzbergen gehörenden Insel Akseløya. Daneben führte er Laborexperimente an einem kugelförmigen Magneten (als Modell der Erde, genannt «Terrella»), durch, wobei ihm gelang, dem Polarlicht ähnliche Erscheinungen künstlich zu erzeugen.

Zusammen mit Sam Eyde entwickelte er 1903 das Birkeland-Eyde-Verfahren zur Herstellung von künstlichem Salpeter und Düngesalz. Dabei wird der Stickstoff aus der Luft mit Hilfe eines Lichtbogens oxidiert. Gemeinsam gründeten sie 1905 das Unternehmen Norsk Hydro, das die für das Prozedere erforderlichen hohen Elektrizitätsmengen aus Wasserkraft erzeugte. Die Beteiligung an der Firma machte Birkeland wohlhabend.

Ab 1910 liessen Birkelands wissenschaftliche Aktivitäten deutlich nach, möglicherweise infolge einer Quecksilbervergiftung, die er sich in Zusammenhang mit den Terrella-Experimenten zugezogen hatte. Forschungsreisen brachten ihn dennoch nach Jordanien, Japan, Indien und vor allem nach Ägypten, wo er zwischen 1914 und 1917 lebte und ein eigenes Observatorium betrieb.

Birkeland meldete 59 Patente an, darunter auch eine elektromagnetische Kanone, die bei einer öffentlichen Vorführung für potenzielle Kunden allerdings aufgrund eines Kurzschlusses spektakulär versagte (wenn auch das Projektil korrekt auftraf). Er wollte mit den Mitteln aus dem Verkauf seine Polarlicht-Expeditionen und Experimente finanzieren. Seine wissenschaftlichen Abhandlungen schrieb er überwiegend auf Französisch. Die Technische Hochschule Dresden ernannte ihn bereits 1908 zum Ehrendoktor. Birkeland starb 1917, vermutlich durch eine Überdosis Veronal in Kombination mit Alkohol.

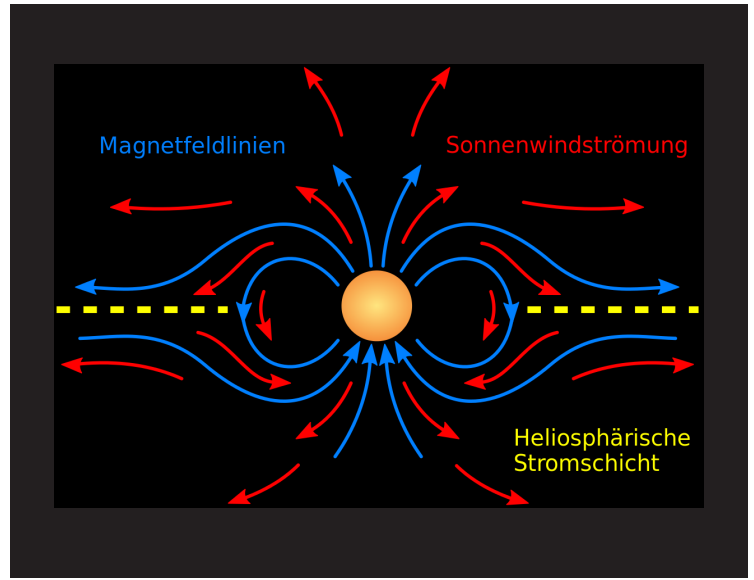


*Birkeland's Terrella-Experiment
(Nasjonalbiblioteket, Billedsamlingen, Oslo)*

Der Sonnenwind (zitiert aus Wikipedia) ist ein Strom geladener Teilchen, der ständig von der Sonne in alle Richtungen abströmt. Im Vergleich zum Sternwind anderer Fixsterne ist er relativ schwach, muss aber bei der Ursonne stärker gewesen sein. Der Sonnenwind ist Bestandteil der kosmischen Strahlung. Er ist – anders als die Sonnenstrahlung – keine elektromagnetische Strahlung, sondern ein Teilchenstrom. Der Sonnenwind ist sehr variabel und setzt sich aus sehr verschiedenen Arten von Teilchenströmen zusammen. Seine extremste Form sind koronale Massenauswürfe (CME, Coronal Mass Ejection), die auch auf der Erde massive Folgen hervorrufen können.

Der Sonnenwind besteht hauptsächlich aus ionisiertem Wasserstoff (Protonen und Elektronen) sowie aus 8 % Helium-4-Atomkernen (Alpha-Teilchen). Daneben enthält er Spuren von ionisierten Atomkernen der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Neon, Magnesium, Silizium, Schwefel und Eisen. Nichtionisierte (elektrisch neutrale) Atome sind kaum enthalten, weshalb der Sonnenwind ein sogenanntes Plasma darstellt, das elektrisch hoch leitfähig ist. Dennoch ist der interplanetare Raum wegen der geringen Teilchendichte nur sehr gering leitfähig.

Man unterscheidet den langsamen und den schnellen Sonnenwind. Diese beiden unterscheiden sich nicht nur durch ihre Geschwindigkeit, sondern auch durch ihre chemische Zusammensetzung, ihre Temperatur und ihr Strömungsverhalten. Obwohl er aus den äusseren Schichten der Sonne stammt, spiegelt der Sonnenwind die Elementhäufigkeit dieser Schichten nicht exakt wider. Denn durch Fraktionierungsprozesse (FIP-Effekt) werden manche Elemente im Sonnenwind angereichert beziehungsweise verdünnt. Im Inneren der Sonne wurden seit ihrer Entstehung die Elementhäufigkeiten durch die dort ablaufende Kernfusion geändert; da aber die äusseren Sonnenschichten nicht mit den inneren gemischt sind, entspricht deren Zusammensetzung noch jener des Urnebels, aus dem sich das Sonnensystem gebildet hat. Die Erforschung des Sonnenwindes ist deshalb auch interessant, um sowohl auf die chemische Zusammensetzung als auch auf die Isotopenhäufigkeiten des Urnebels schliessen zu können.



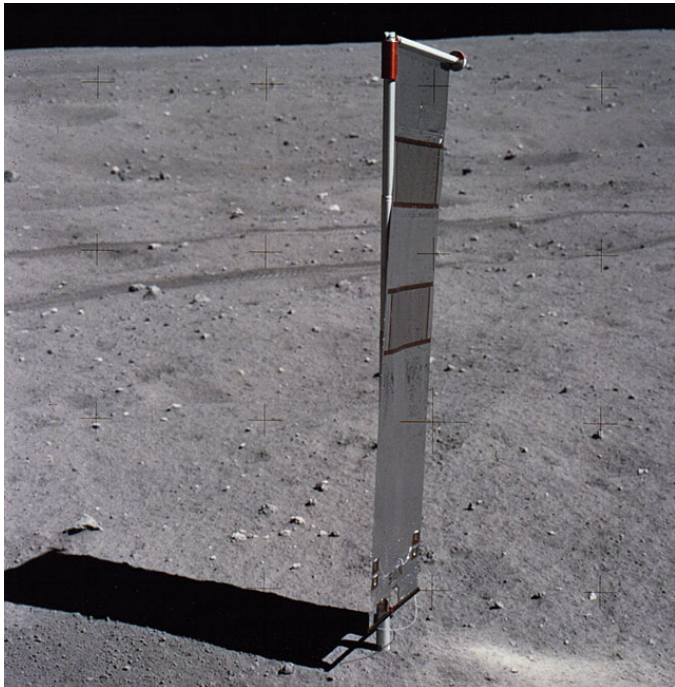
*Seitenansicht der Sonne mit idealisiertem Dipolfeld
zu einem Sonnenfleckenninimum (Wikipedia)*

Die Sonne verliert durch den Sonnenwind pro Sekunde etwa eine Million Tonnen ihrer Masse. Mit zunehmendem Abstand von der Sonne nimmt die Dichte des Sonnenwindes mit dem Quadrat der Entfernung ab. In Erdnähe hat der Sonnenwind eine Dichte von ungefähr $5 \cdot 10^6$ Teilchen pro Kubikmeter.

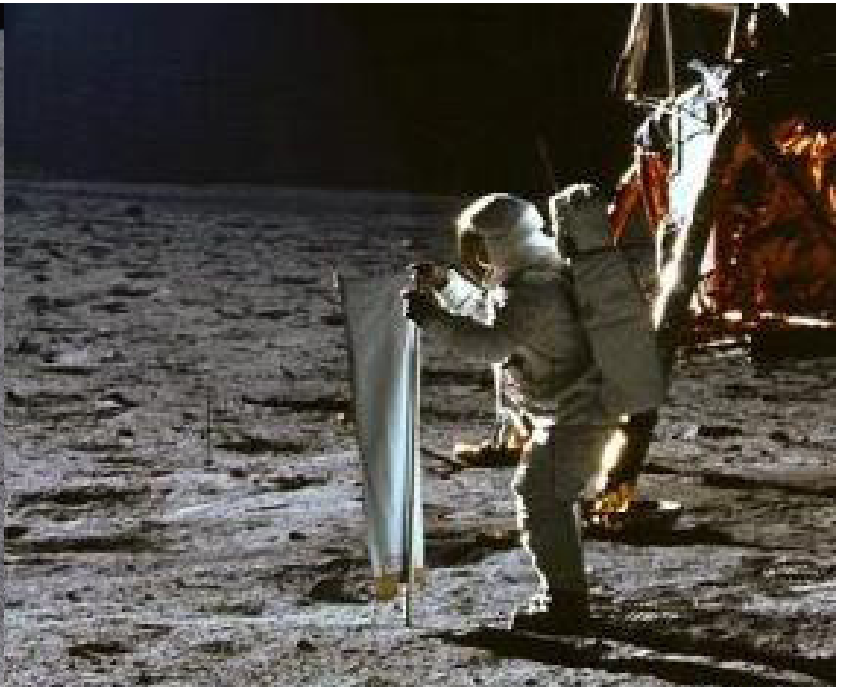
Das Plasma der unteren Sonnenkorona wird mit der Rotation der Sonne mitgedreht. Ab einem gewissen Abstand, etwa $2,5$ Sonnenradien ($\sim 2,5 \cdot R$) wächst der thermische Druck über den magnetischen hinaus und das Plasma strömt ab diesem Punkt radial von der Sonne fort. Es werden zwei Arten des Sonnenwindes unterschieden, der langsame und der schnelle.

Der langsame Sonnenwind hat eine Zusammensetzung ähnlich der Sonnenkorona. Während er von der Sonne abströmt, verdoppelt er seine Geschwindigkeit von 150 km/s im Abstand von $5 \cdot R$ auf 300 km/s im Abstand $25 \cdot R$. Sein Ursprung ist noch nicht abschliessend geklärt. Man nimmt an, dass beobachtete tropfenartige Plasma-Ablösungen von Helmet Streamern zum langsamen Sonnenwind beitragen. Der Hauptanteil des langsamen Sonnenwindes dürfte jedoch aus Regionen ausserhalb der Helmet Streamer stammen, wahrscheinlich aus den inneren Begrenzungsrändern von koronalen Löchern. Er beschleunigt während seines Fortströmens von der Sonne weiter und strömt nach Messungen von Sonden wie Ulysses in einem bestimmten Abstand zur Sonne vor allem nahe deren Äquatorebene, zwischen etwa 20° Nord und 20° Süd. Er benötigt 5 oder mehr Tage – nach anderen Angaben etwa 20 Tage – um die Region der Erde zu erreichen. In Erdbahnnähe hat er eine Geschwindigkeit von etwa 300 bis 500 km/s und eine Temperatur im Bereich von etwa $1,4 \cdot 10^6$ K bis $1,6 \cdot 10^6$ K. Die Plasmaschallgeschwindigkeit beträgt in Erdbahnnähe etwa 50 km/s, der Sonnenwind ist also deutlich überschallschnell.

Der schnelle Sonnenwind hat eine Zusammensetzung ähnlich der Photosphäre der Sonne. Er tritt aus dem Inneren von koronalen Löchern (also vorwiegend, insbesondere zu Zeiten des Sonnenfleckenninimums, in der Nähe der Sonnenpole) aus, wird zwischen $1,5 \cdot R$ und $2,5 \cdot R$ auffallend stark beschleunigt und besitzt in der Bereichsmittle, also bei $2 \cdot R$, eine Geschwindigkeit von 300 km/s. Dabei sind die Sauerstoffionen erheblich schneller als die leichteren Protonen. Die Messungen durch das

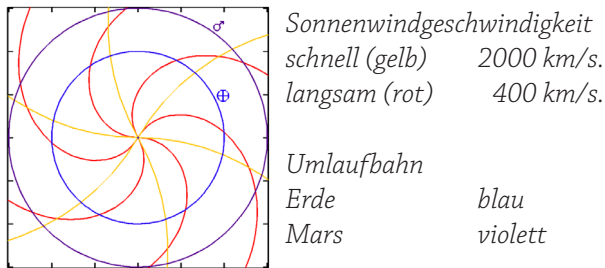


1969: «Apollo 11», Sonnenwindsegel, H 1.4 m, B 0.3 m
(Nasa)



1969: «Apollo 11» Astronaut Aldrin beim Ausrichten
des Sonnenwindsegels (Nasa)

Ultraviolet Coronal Spectrometer (UVCS) des Forschungsatelliten Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) ergaben, dass der schnelle Sonnenwind über den Polen der Sonne erheblich schneller beschleunigt wird, als durch die Thermodynamik erklärt werden kann.



Diese Theorie sagt voraus, dass die Schallgeschwindigkeit etwa vier Sonnenradien über der Photosphäre überschritten werden sollte. Tatsächlich findet man diese Grenze bereits in etwa 25 % dieser Distanz. Als Ursache dieser Beschleunigung werden Alfvén-Wellen angesehen. Der schnelle Sonnenwind beschleunigt weiter bis etwa 10 bis 20 Sonnenradien Distanz, ab dann strömt er mit ungefähr konstanter Überschallgeschwindigkeit fort. Der schnelle Sonnenwind benötigt etwa 2 bis 4 Tage, um die Region der Erde zu erreichen. In Erdbahnnähe hat er eine Geschwindigkeit von etwa 750 km/s und eine Temperatur von etwa $8 \cdot 10^5$ K. Der Sonnenwind strömt radial von der Sonne fort. Aufgrund der Sonnenrotation – eine Umdrehung in etwa 27 Tagen, bezogen auf die Erde – bildet er jedoch dabei spiralförmig gekrümmte Kurven, ähnlich dem Wasserstrahl eines Sprinklers. Der schnelle Sonnenwind formt dabei steilere Spirallinien als der langsame Sonnenwind. Hierdurch entstehen an den Kreuzungspunkten Druckwellen, bestehend aus einem vorwärts und einem rückwärts gerichteten Wellenpaar. Diese werden Co-rotating Interaction Regions (CIRs) genannt. Mit den Voyager-Sonden wurde entdeckt, dass Gruppen dieser CIRs ihrerseits miteinander verschmelzen können, wodurch Merged Interaction Regions (MIRs) entstehen. Diese Interaktionen geschehen typischer-

weise bis etwa 10 AE (Astronomische Einheit). Jenseits davon bestehen komplexe Strukturen, so dass der Sonnenwind auch in grosser Entfernung kein homogener Fluss ist...

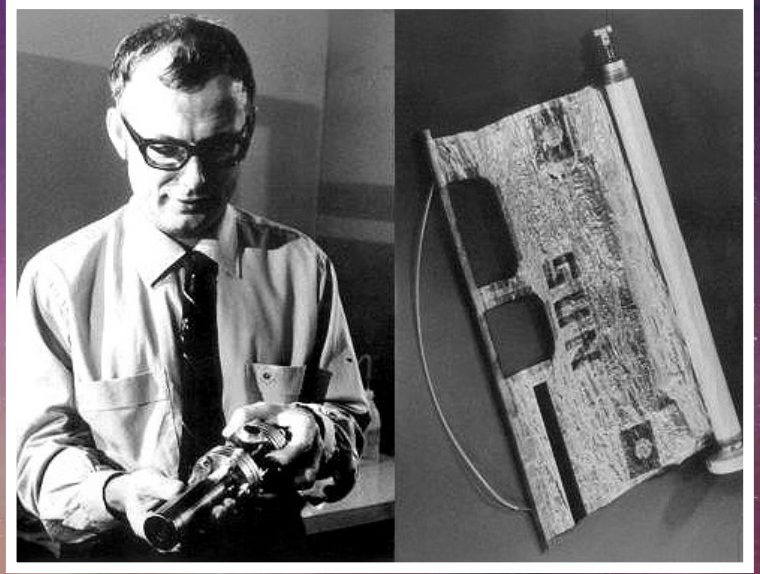
...Ein deutlich sichtbares Anzeichen für die Existenz des Sonnenwinds liefern die Kometen: Kometenschweife zeigen immer von der Sonne weg, denn die Gas- und Staubteilchen, welche die Koma und den Schweif bilden, werden vom Sonnenwind mitgerissen. Wegen der Spiralform der Sonnenwindströmung zeigen Kometenschweife nicht exakt von der Sonne weg, sondern in einem leichten Winkel.

Koronale Massenauswürfe und Sonneneruptionen führen zu enormen Stosswellen im sonst relativ kontinuierlichen Sonnenwind. Deren Auswirkungen im erdnahen Bereich werden als Weltraumwetter bezeichnet.

Da der Sonnenwind ein elektrisch leitendes Plasma darstellt, verformt er sowohl das Magnetfeld der Sonne als auch das der Erde. Das irdische Magnetfeld hält den Teilenschauer zum grössten Teil von der Erde ab. Bei einem starken Sonnenwind kann das Plasma das Erdmagnetfeld so stark verformen, dass durch magnetische Rekonnexion geladene Teilchen zur Erde beschleunigt werden und in den hohen Schichten der Erdatmosphäre Polarlichter hervorrufen. Hierbei handelt es sich um sogenannte sekundäre Teilchen, da diese nicht von der Sonne stammen, sondern aus der Magnetosphäre der Erde. Starke Sonnenwinde haben auch Einfluss auf die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen und können unter anderem den Kurzwellenfunk und die Kommunikation mit Satelliten stören. Sonnenwinde und ihre Auswirkungen auf die Technik sind seit z. B. 1847, 1859, 1921 und 1940 bekannt, weil es zu Störungen in der Telegraphie, an Signalanlagen der Bahn, bei der Radiokommunikation und vereinzelt sogar zum explosionsartigen Durchschmoren von Transformatoren kam (zu einem Transformatorausfall ist es z. B. am 13. März 1989 in Quebec gekommen). Es wird für möglich gehalten, dass besonders starke Sonnenwinde zu einem globalen Totalausfall von Stromversorgung und Computerfunktionen führen könnten.

Sonnenzauber am Nachthimmel
(Knesebeck Verlag)

«Solar Wind Composition» (SWC) war das einzige nicht amerikanische Experiment der Apollo-11-Mission. Dabei wurden Partikel des Sonnenwindes in einer exponierten Aluminiumfolie eingefangen und nach der Rückkehr vom Mond im Labor analysiert. Es wurde massgeblich am Physikalischen Institut der Universität Bern, Schweiz, geplant und ausgewertet.



*Der Berner Physikprofessor Johannes Geiss mit einem Vakuumzylinder, in dem sich ein Stück Sonnensegel befindet.
(20 Minuten / str)*





Aus **«Sonnensturm»**
 Nationale Gefährdungsanalyse
 Schweizerische Eidgenossenschaft
 Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS)

Definition: Von Zeit zu Zeit ereignen sich auf der Sonnenoberfläche massive Explosionen und Eruptionen, durch welche Plasma mit einer Geschwindigkeit zwischen einigen hundert bis wenigen tausend km/s ausgestossen wird. Diese sogenannten koronalen Massenauswürfe sind begleitet von intensiver Gamma-, Röntgen- und Ultravioletstrahlung und einem Ausstoss hochenergetischer Partikel. Diese Strahlendusche kann die Erde in weniger als zehn Minuten erreichen und zu deutlichen Anstiegen der elektromagnetischen Strahlung führen (Sonnensturm). Wenn der koronalen Massenauswurf auf das Erdmagnetfeld (Magnetosphäre) trifft, schwächt sich dieses ab. Diese Beeinträchtigungen des Erdmagnetfeldes werden in Nanotesla (nT) gemessen. Infolge dieser Störung entstehen in der Erdmagnetosphäre geomagnetische und elektromagnetische Stürme.

Es sind grundsätzlich zwei Phasen zu unterscheiden:

Phase 1 (unmittelbar): Die Eruption löst eine Strahlendusche (mit u. a. Gamma-, Röntgen-, UV-Strahlung und Protonen) aus. Dieser sogenannte radiologische Sturm erreicht die Erde nach 8 bis 12 Minuten.

Phase 2 (verzögert): Eine Schockfront erreicht die Erde nach 18 bis 36 Stunden. Mit dieser Schockfront wird erneut ein erhöhter Teilchenfluss in Erdnähe beobachtet, und die Wechselwirkung des Schocks mit der Erdmagnetosphäre führt zum Phänomen des Magnetsturms, welche für Schäden durch induzierte Ströme verantwortlich sind.

Ereignisbeispiele:

Oktober/November 2003

17 grössere Sonnen-Eruptionen wurden zwischen dem 19. Oktober und dem 5. November 2003 beobachtet. Diese führten zu sich – zeitlich – überlappenden Magnetstürmen und zu wesentlichen Einschränkungen des Funkverkehrs. Im schwedischen Malmö fiel das gesamte regionale Stromnetz aus. In Nord-Kanada wurden Luftkorridore für Passagierflugzeuge geschlossen, weil technische Anlagen für die Luftüberwachung ausfielen, Satelliten- und Navigationssysteme setzten zeitweise aus. Polarlichter waren bis in tropische Regionen zu sehen.

13. März 1989

Ein Sonnensturm führte in Québec zu einer Überlastung des Stromnetzes und in der Folge zu einem 9-stündigen Stromausfall in der Region um Montreal. Sechs Millionen Menschen waren bei Aussen-temperaturen von -15 °C betroffen. Verkehrsleitsysteme, Flughäfen sowie die Fernwärmeversorgung fielen aus. Die Beeinträchtigung des Erdmagnetfeldes betrug -589 nT. Der Schaden belief sich auf mehrere hundert Millionen US-Dollar.

August 1859 – Carrington-Event

Eine Serie von solaren Eruptionen ereignete sich gegen Ende des Monats August. Auf der Erde konnten bis in Äquatornähe zahlreiche Polarlichter gesichtet werden. Starke Störung wurde bei elektrischen Telegraphen festgestellt. Gemäss statistischen Auswertungen weist ein solcher Sonnensturm eine Jährlichkeit von 500 Jahren aus. Heute würde ein vergleichbarer Sonnensturm weltweit das Strom- und Telekommunikationsnetz sowie die Satelliten stark beeinträchtigen. Die Kosten eines vergleichbaren Ereignisses allein für die USA werden auf 0.6 - 2.6 Billionen USD geschätzt (Lloyd's 2013).

Einflussfaktoren

Diese Faktoren können Einfluss auf die Entstehung, Entwicklung und die Auswirkungen der Gefährdung haben

Gefahrenquelle

- Intensität des Sonnensturms (Intensität der Röntgen- und Gammastrahlung sowie der solaren Teilchenstrahlung, maximale Schwächung des Erdmagnetfeldes in nT)
- Dauer des Sonnensturms

Zeitpunkt

- Stellung der Erde zur Sonne (Tag/Nacht, Sommer/Winter)
- Wochentag und Tageszeit
- Jahreszeit (Ferienzeit, Kühlung, Heizung, Beleuchtung)

Ort / Ausdehnung

- Radiologischer Sturm ist auf die der Sonne zugewandten Hemisphäre beschränkt
- Magnetsturm ist grundsätzlich ein globales Phänomen und unabhängig von der Erdrotation

- Auswirkungen auf der Erde hängen neben der Stärke des Ereignisses vom Erdmagnetfeld ab und sind deshalb in Polnähe deutlich stärker als in Äquatornähe

Ereignisablauf

- Alarmmeldungen durch Weltraum- und Weltraumwetter-Agenturen, Verbreitung durch Medien
- Mögliche Ausfälle von Bordelektronik bei Satelliten und Flugzeugen (z. B. durch sogenannte single event upsets SEU oder spacecraft charging)
- Betroffenheit von Funkverbindungen und ggf. GPS-Systemen
- Betroffenheit des Stromnetzes
- Schädigung von zentralen Elementen der Strom-Infrastruktur (z. B. Transformatoren)
- Möglichkeiten zu Notstromversorgung
- Möglichkeiten für provisorische Instandstellung der Erzeugungseinheiten ((Kraftwerke) und des Stromnetzes
- Verhalten von betroffenen Organisationen, Einsatzkräften und verantwortlichen Behörden
- Reaktion der Bevölkerung

Ereignisse und Entwicklungen aus dem «Katalog möglicher Gefährdungen» des Bundesamts für Bevölkerungsschutz (BABS), die Auslöser oder Folge eines Sonnensturms sein können

Schadensereignisse bei Bauwerken

- Brand / Explosion Gebäude
- Brand Kunstbau

Ausfälle von Infrastrukturen

- Ausfall Logistikzentrum
- Ausfall Stromversorgung
- Ausfall Verteilinfrastruktur Wasser
- Ausfall Informations- und Kommunikationsinfrastruktur
- Ausfall von GPS-Systemen
- Ausfall Fluginfrastruktur
- Ausfall Bahninfrastruktur
- Ausfall Strasseninfrastruktur

Szenario

Intensität

In Abhängigkeit der Einflussfaktoren können sich verschiedene Ereignisse mit verschiedenen Intensitäten entwickeln. Die hier aufgeführten Szenarien stellen eine Auswahl von vielen möglichen Abläufen dar und sind keine Vorhersage.

Mit diesen Szenarien werden mögliche Auswirkungen antizipiert, um sich auf die Gefährdung vorzubereiten.

1 — erheblich

- Sonneneruption führt zu Intensitätsanstieg der kosmischen Strahlung in hohen und mittleren geografischen Breiten und zu Schockwellenfronten, welche die Erde nach 24 Stunden erreichen
- Geomagnetischer Sturm mit maximaler, global gemessener Störung des Erdmagnetfeldes von -750 nT
- Sonnensturm trifft die Erde im November
- Dauer der Sturmphase beträgt 60 Stunden
- Vielerorts fallen elektronisch gesteuerte Infrastrukturen mehrere Tage aus

2 — gross

- Sonneneruption führt global zu Intensivierung der kosmischen Strahlung und zu Schockwellenfronten, die die Erde nach 18 Stunden erreichen
- Über der Schweiz werden Nordlichter beobachtet
- Geomagnetischer Supersturm mit maximaler, global gemessener Störung des Erdmagnetfeldes von rund -1600 nT
- Sonnensturm trifft die Erde im Dezember
- Dauer der Sturmphase beträgt insgesamt eine Woche, ausgelöst durch drei koronale Massenauswürfe
- Verbreitet fallen zeitweise elektronisch gesteuerte Infrastrukturen aus (z. B. Kommunikationsinfrastrukturen, Stromversorgung)

3 — extrem

- Sonneneruption führt global zu Intensivierung der kosmischen Strahlung und zu Schockwellenfronten, die die Erde nach 18 Stunden erreichen
- Über der Schweiz werden Nordlichter beobachtet
- Geomagnetischer Supersturm mit maximaler, global gemessener Störung des Erdmagnetfeldes von rund -2400 nT
- Sonnensturm trifft die Erde im Januar
- Dauer der Sturmphase beträgt 10 Tage, ausgelöst durch mehrere koronale Massenauswürfe

- Grossflächig werden elektronisch gesteuerte Infrastrukturen beschädigt oder fallen aus (u. a. Kommunikationsinfrastrukturen, Stromversorgung).
- Stromversorgung kann wenige Tage nach Abklingen des Sonnensturms wieder hergestellt werden. Verschiedene Dienste sind noch über einen Monat nur beschränkt verfügbar, bis beschädigte Infrastrukturen wieder vollständig repariert sind.

Wahl des Szenarios. Für dieses Beispiel ist das Szenario mit der Intensität «gross» gewählt worden. Dieses Szenario ist in der Schweiz grundsätzlich vorstellbar, aber doch selten zu erwarten.

Ereignis – Ausgangslage / Vorphase

Es wird über zwei Wochen eine verstärkte Sonnenaktivität beobachtet. Am ersten Ereignistag wird eine ungewöhnlich grosse Sonneneruption mit einem koronalen Massenauswurf (KMA) in Richtung der Erde festgestellt. Die ESA informiert die NAZ über die Eruption. Die NAZ gibt die Information an zentrale Infrastrukturbetreiber weiter (Vorgehen in Entwicklung).

Ereignisphase

Zehn Minuten nach der ersten schwerwiegenden Eruption setzt der radiologische Sturm (ionisierende Strahlung) ein, wodurch die Kommunikation mit und via Satelliten, mit Flugzeugen, aber auch im Kurzwellenfunk gestört wird. Auf der sonnenzugewandten Seite der Erde ist die Übertragung von Radio und Fernsehen stark beeinträchtigt. Dies entspricht in der Skala der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA) einem «Blackout R5 Radio». Das GPS-System (inkl. GLONASS), Satelliten- und Kabelfernsehen, Satellitenradio und -telefon, sowie Funk (inkl. Polycorn) und Mobiltelefonie werden dadurch gestört. GPS-gestützte Steuerungsanlagen arbeiten fehlerhaft oder fallen aus. Innerhalb der ersten Stunden sind die Auswirkungen der elektromagnetischen Stürme am stärksten. Anschliessend lassen sie langsam nach. Das weltweite Netz kosmischer Strahlungsdetektoren registriert einen signifikanten Intensitätsanstieg der kosmischen Strahlung auf Grund des Einfalls hochenergetischer solarer Partikelstrahlung.

Der Flugverkehr ist während dieser Zeit stark beeinträchtigt. Viele Flüge müssen verschoben werden, da Flugzeuge aus Sicherheitsgründen nicht starten dürfen. Diejenigen, die sich in der Luft befinden, müssen ohne GPS etc. weiterfliegen. Polnahe Luftkorridore werden geschlossen und Flugrouten werden umgeleitet.

Wissenschaftler des Space Weather Segments der European Space Agency ESA stellen fest, dass sich die von der Sonne ausgestossene Wolke koronaler Masse schnell auf die Erde zubewegt. Das Auftreffen auf das Erdmagnetfeld (Beginn eines sogenannten «Geomagnetischen Sturms») wird 20 Stunden später erwartet. Man geht von einem Sturm der Stärke G5 auf der NOAA-Skala aus.

Wie vorausgesagt, beginnt nach rund 20 Stunden der geomagnetische Sturm. Viele elektronische Geräte funktionieren vorübergehend nicht. Der Sturm bewirkt induzierte Ströme in Stromverteilungsnetzen, die in Kanada, Nordeuropa und Russland Hochspannungs-Transformatoren beschädigen. Die Stromversorgung und Kommunikations-Infrastrukturen sind in vielen Regionen der Schweiz immer wieder eingeschränkt.

In den nächsten Tagen kommt es im Abstand von jeweils rund zwei Tagen zu weiteren, ähnlich starken koronalen Massenauswürfen. Die Auswirkungen der jeweils kurz darauf folgenden radiologischen Stürme und der nach rund 20 Stunden einsetzenden geomagnetischen Stürme dauern so über insgesamt rund eine Woche an.

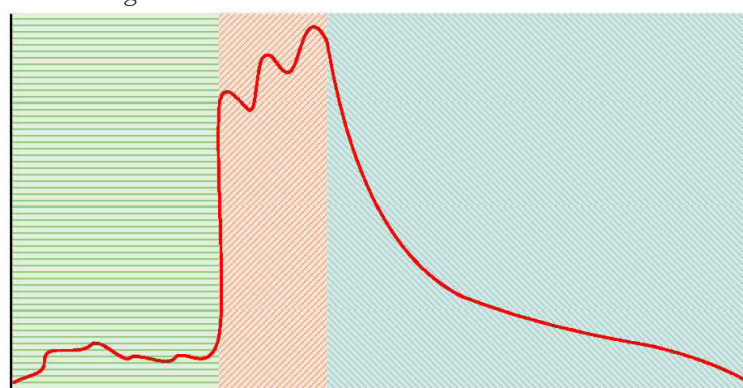
Regenerationsphase

Mit Abklingen der radiologischen und geomagnetischen Stürme normalisiert sich die Lage wieder. Bis alles wieder normal funktioniert vergeht rund eine Woche.

Zeitlicher Verlauf

Die drei koronalen Massenauswürfe und deren Folgen erstrecken sich über rund eine Woche. Nach einer weiteren Woche sind alle Versorgungsempfänger behoben, bis sich alle Systeme jedoch wieder im Normalzustand befinden, vergeht rund ein Monat.

Auswirkungen



■	■	■
Vorphase 2 Wochen	Ereignis- phase 1 Woche	Regenerations- phase 1 Monat

Räumliche Ausdehnung

Die Folgen des Sonnensturms betreffen die ganze Welt, vor allem aber die polnahen Gebiete.

Auswirkungen

Personen

Die radiologische Strahlung führt zu einer starken Beeinträchtigung der Kommunikationssysteme (z. B. GPS, Funk, Satellitenverbindungen). Teilweise werden auch Fehlfunktionen von Steuerungssystemen im Verkehr hervorgerufen, so dass es in der Folge zu Unfällen kommt.

Die Einsatzdienste sind infolge der Störung von Funksystemen zeitweise schlecht erreichbar.

Der Betrieb der Flughäfen wird auf die Abfertigung der landenden Maschinen reduziert. Tausende Reisende sind dadurch am Flughafen gestrandet und müssen betreut werden. Vergleichbare Situationen kommen auf Bahnhöfen vor.

Infolge der geomagnetischen Stürme kommt es zu lokalen, zeitlich befristeten Stromausfällen. In betroffenen Privathaushalten kommt es vereinzelt zu Bränden, die von Kerzen ausgelöst werden.

Umwelt

Aufgrund von Fehlfunktionen, z. B. in Kläranlagen, entweichen z. T. Gefahrenstoffe und Abwässer ungereinigt in die Umwelt, da die relevanten Systeme nicht richtig funktionieren.

Wirtschaft

An Geräten in den Satelliten, die von der Schweizer Industrie und Wissenschaftlern betrieben und unterhalten werden, kommt es zu Schäden. Diese müssen im Nachgang an das Ereignis wieder instand gestellt oder ausgewechselt werden.

Wirtschaft und öffentliche Hand sind aufgrund der Einschränkungen von Kommunikationssystemen und Stromunterbrüchen sowie deren Effekte (z. B. auf Verkehr und Versorgung) über eine Woche in ihren Tätigkeiten eingeschränkt. In verschiedenen Systemen (z. B. Schliessanlagen, Kassensystemen) treten Störungen auf, worauf diese auf Notbetrieb schalten und die Nutzung der Systeme nur noch sehr eingeschränkt oder gar nicht mehr zur Verfügung stehen. Auch die Lieferketten sind beeinträchtigt.

Der elektronische Zahlungsverkehr und Kreditkartenzahlungen sind global vorübergehend gestört (inkl. Auswirkungen auf Börsenhandel).

Aufgrund der Ausfälle im Flug-, Bahn- und Strassenverkehr und Schifffahrt entstehen wirtschaftliche Schäden.

Einige Unternehmen können für die Energieversorgung auf eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) sowie auf Notstromaggregate zurückgreifen. Dadurch können IT-Systeme bzw. Rechenzentren (insbesondere für Zahlungsverkehr und Kommunikationseinrichtungen) und Hauptsitze grösserer Banken trotz Stromunterbrüchen weiterbetrieben werden.

Die gesamten Bewältigungskosten und Vermögensschäden werden auf rund 270 Mio. CHF geschätzt.

Die wirtschaftlichen Folgeschäden belaufen sich auf ca. 1,5 Mrd. CHF.

Gesellschaft

Es kommt während rund einer Woche immer wieder zu Versorgungsengpässen und -unterbrüchen für Teile der Bevölkerung in verschiedenen Bereichen. Dies betrifft z. B. die Versorgung mit Informations- und Kommunikationsdienstleistungen, aber auch die Stromversorgung. Damit verbunden ist auch eine Einschränkung des öffentlichen und privaten Verkehrs. In Spitälern werden kritische Operationen zur Sicherheit verschoben, weil unklar ist, ob mit akuten Herzproblemen aufgrund der elektromagnetischen Strahlung zu rechnen ist.

Satellitengestützte Fernseh- und Radioübertragungen sind immer wieder gestört. Die Programme der SRG über Kabelnetze können jedoch durchgehend empfangen werden.

Die Übertragung von Meteo- und Geodaten, die von Satelliten erfasst werden, ist während des Sonnensturms gestört oder es kommt zu Ausfällen. Defekte Satelliten und/oder Messgeräte können keine Daten mehr liefern und müssen ersetzt werden, was Monate bis Jahre dauert.

Die Einsatzdienste sind durch den Ausfall der Informations- und Kommunikationsmittel erheblich beeinträchtigt. Die Information der Bevölkerung über den Hintergrund der Ausfälle und über Verhaltensempfehlungen seitens der zuständigen Behörden ist aufgrund der teilweise ausgefallenen Informationskanäle eingeschränkt.

Während des Ereignisses gehen bei Polizei und Feuerwehr Anrufe besorgter Personen ein, die sich wegen Nordlichterscheinungen und der ungewöhnlichen Ausfälle und der fehlenden Informationen über die Dauer der Ausfälle sorgen.





Johannes M. Gutekunst, 5102 Rapperswil (Kontakt: johannes.gutekunst@sunrise.ch)
verbunden mit der Gesellschaft der Freunde der Geschichte des Funkwesens
und Radiomuseum.org

