



STRALING & GEZONDHEID IN DE LUCHTVAART

Heijermanslezing 4 december 2020

STRALING & GEZONDHEID IN DE LUCHTVAART

Dr. Teus Brand, Klinisch arbeidsgeneeskundige NCvB

t.brand@amsterdamumc.nl

Tjerk Kuipers M.Sc., senior adviseur straling, CEAG, Ministerie van Defensie

tp.kuipers.01@mindef.nl

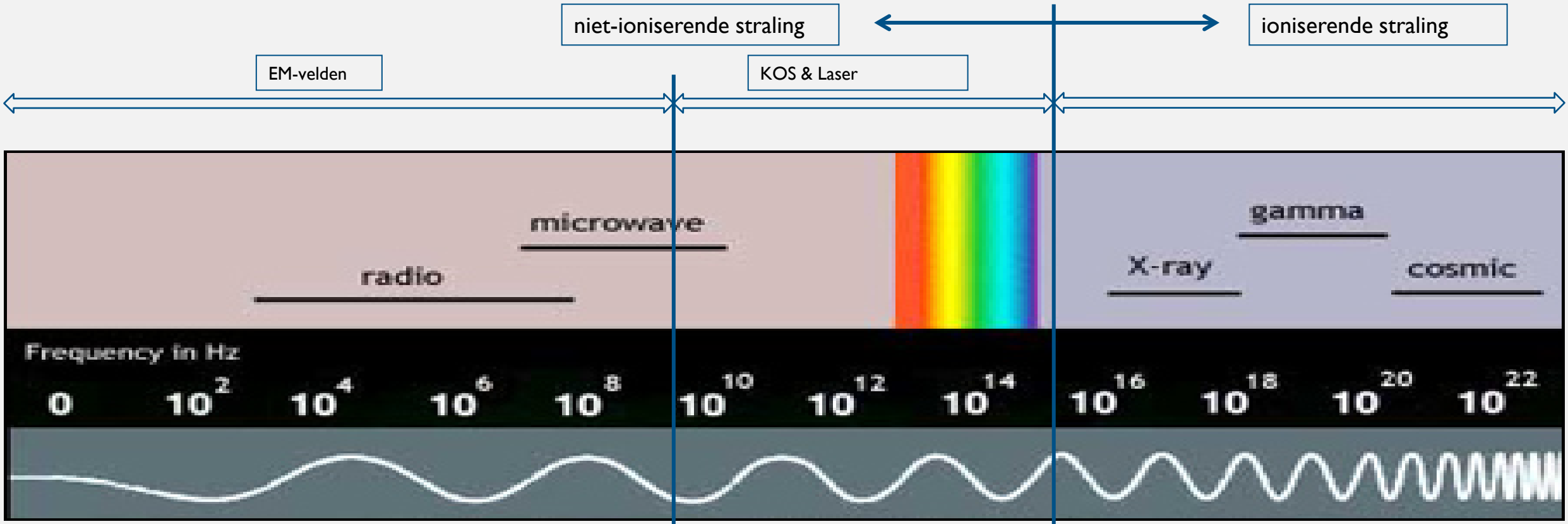
DISCLOSURE BELANGEN TEUS BRAND

(Potentiële) belangenverstrengeling	Geen
Voor bijeenkomst mogelijk relevante relaties met bedrijven	Geen
<ul style="list-style-type: none">• Sponsoring of onderzoeksgeld• Honorarium of andere (financiële) vergoeding• Aandeelhouder• Andere relaties, namelijk...	De Heijermanslezing wordt mede mogelijk gemaakt door een subsidie van het Ministerie van SZW.

VERKEERSVLIEGTUIGEN EN GEGEVENS

Vliegtuigtype	Snelheid in km/u*	Kruishoogte in m*	Startgewicht in kg*	Leeggewicht in kg*	Aantal stoelen*	Schiphol per dag*
Boeing 747	920	10.700	396.890	183.520	408	11
Boeing 737	850	10.670	78.240	41.413	186	96
Boeing 777	905	10.668	351.500	160.500	408	28
Boeing 787 Dreamliner	907	12.200	250.836	118.000	294	15
Embraer 190	829	12.000	51.800	27.837	100	96
Embraer 175	797	12.000	40.370	21.890	88	42
Airbus A320	967	11.000	77.000	42.400	180	148
Airbus A330	950	11.000	230.000	120.000	292	34
Airbus A380	1.041	13.136	575.000	275.000	516	2

ELECTROMAGNETISCH SPECTRUM



STRALING | EENHEDEN | BECQUEREL

Radioactiviteit is een hoeveelheid atomen die vervallen. Deze komen overeen met de hoeveelheid appels die uit een boom vallen.

Becquerel [Bq]



Bron: <http://www.kennislink.nl/publicaties/radioactiviteit-onder-de-loep>

STRALING | EENHEDEN | GRAY

Hoe hard is de klap op je hoofd?

Hoeveel energie wordt er overgebracht?

Gray [Gy]



Bron: <http://www.kennislink.nl/publicaties/radioactiviteit-onder-de-loep>

STRALING | EENHEDEN | SIEVERT

Hoe groot is de blauwe plek?

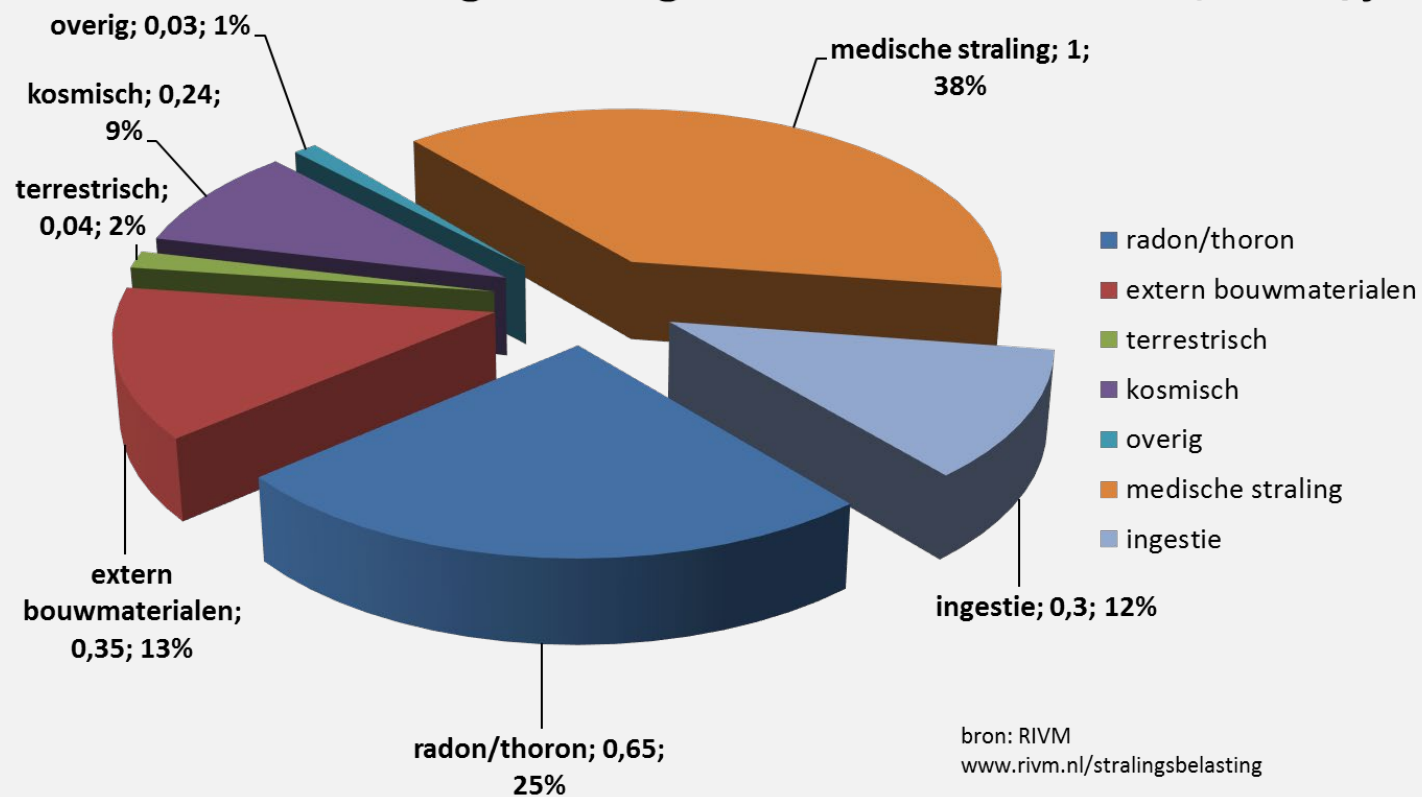
Sievert [Sv]



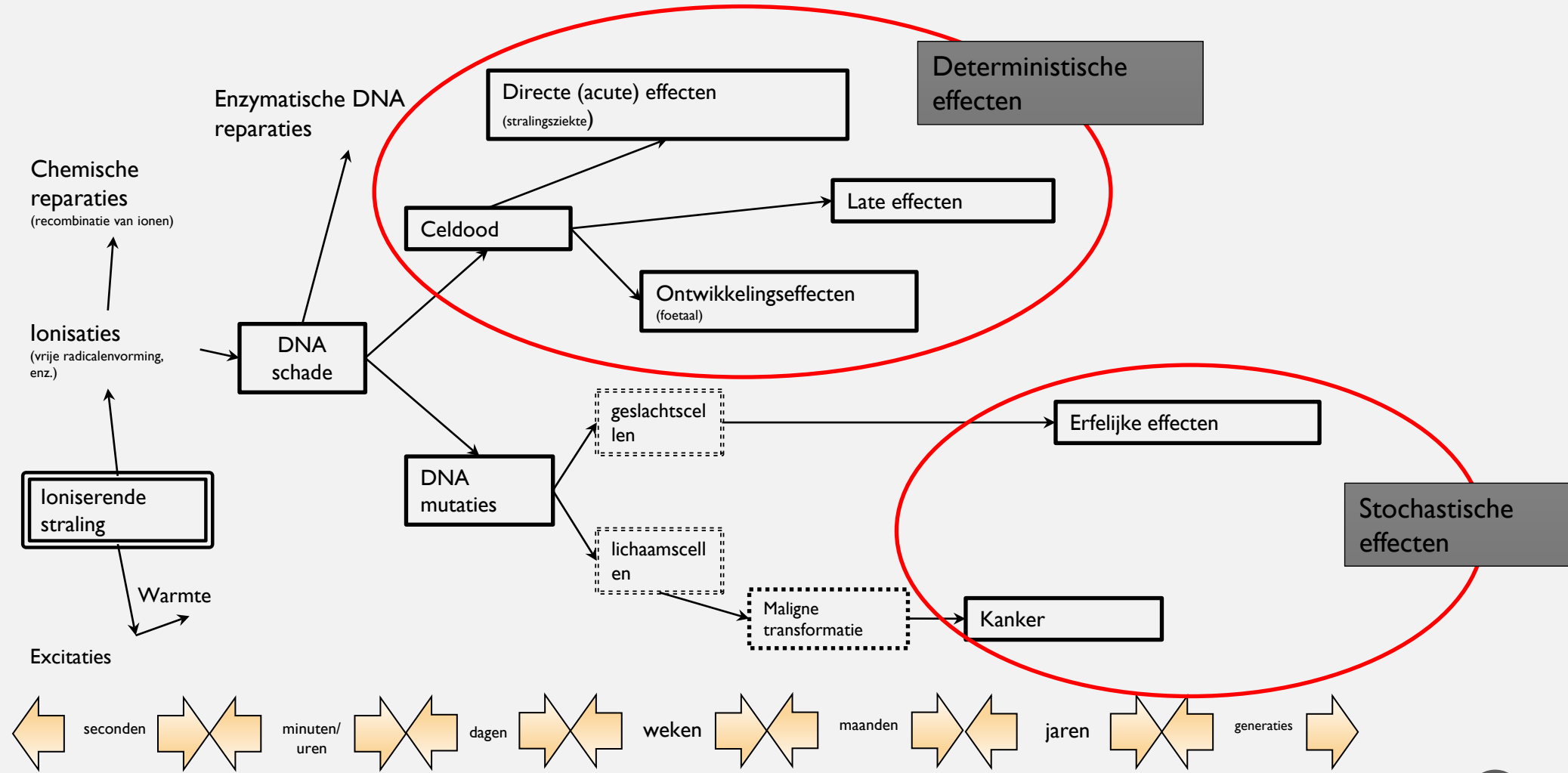
Bron: <http://www.kennislink.nl/publicaties/radioactiviteit-onder-de-loep>

STRALING | DAGELIJKS LEVEN

Gemiddelde stralingbelasting in Nederland in 2013: 2,6 mSv/jr



BIOLOGISCHE EFFECTEN

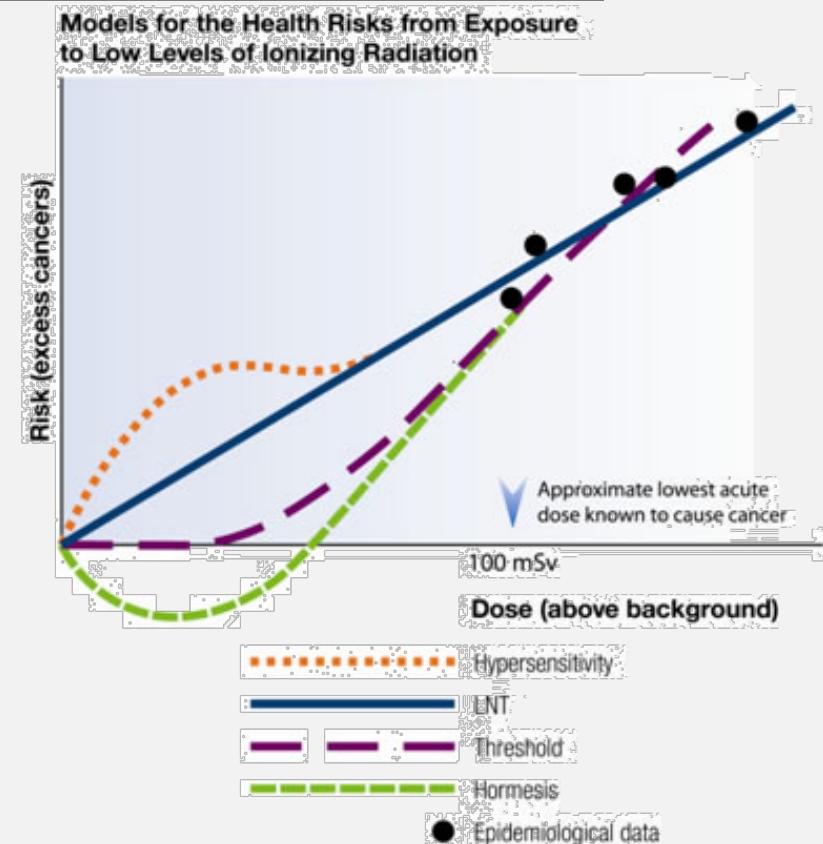


DETERMINISTISCHE EFFECTEN

Dosis	Gezondheidseffecten
0 -100 mSv	Geen
100 - 500 mSv	Geen, alleen geringe lab afwijkingen in de vorm van lymfocytopenie
500 mSv - 2 Sv	Misselijkheid en braken mogelijk, >2 uur na blootstelling; lab afwijkingen
2 - 6 Sv	Misselijkheid, braken en hoofdpijn begint 30 min – 2 uur na blootstelling; lab afwijkingen
> 6 Sv	Snel begin van misselijkheid, braken, hoofdpijnen verhoogde temperatuur (< 30 min)
> 8 Sv	Gastro-intestinaal syndroom en diarree
10-tallen Sv	Snel begin van apathie, convulsies en dood

STOCHASTISCHE EFFECTEN

- Nieuwgevormde tumoren: ~5% per 1000 milliSv (Excess Relative Risk)
- Epidemiologische data (●) afgeleid van relatief hoge kans op fatale kanker bij hoge doses (bron: Hiroshima, Nagasaki, stralingsincidenten)
- **Blauwe** lijn: Linear No Threshold (LNT) theorie; basis van huidig internationaal beleid.
- **Paarse** lijn: drempel; lagere doses → geen ERR, hogere doses tot 100 mSv → stijgend ERR
- **Oranje** lijn: hypersensitief; lagere doses → snel stijgend ERR, hogere doses tot 100 mSv → afvlakkend ERR
- **Groene** lijn: stralingshormese; lagere doses → negatief ERR, hogere doses tot 100 mSv → stijgend ERR





RISICO OP KANKER DOOR IONISERENDE STRALING

- In 2019 overleed 31% van de sterfgevallen in Nederland door een nieuwvorming (CBS).
- Het additioneel risico van een stralingsblootstelling van 1000 mSv is ~5% (ICRP).
- Volgens LNT geldt een lineariteit naar geen dosis → geen additioneel risico.
- Op deze wijze is een absoluut risico te berekenen na blootstelling aan een lage stralingsdosis.

DOSISLIMIETEN

Leden van de bevolking: 1 mSv per jaar

Blootgestelde werknemers (categorie B): 1 t/m 6 mSv per jaar

Blootgestelde werknemers (categorie A): 6 t/m 20 mSv per jaar

Dosislimieten in geval van grote nationale stralingsincidenten:

- 100 mSv - hulpverlening
- 250 mSv - veilig stellen belangen (infra, etc.)
- 500 mSv - levensreddende werkzaamheden

Bron: Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs 2018)



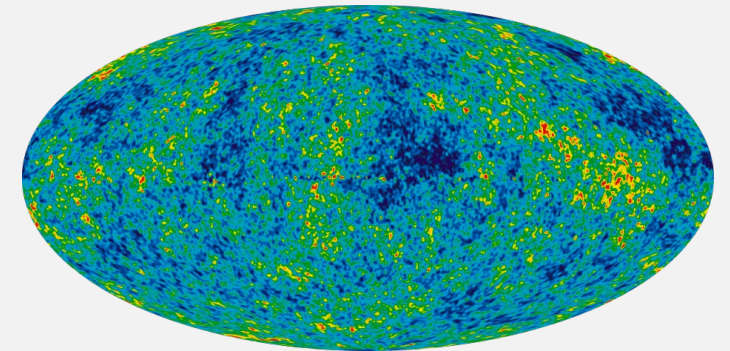
KOSMISCHE STRALING

Kosmische straling is:

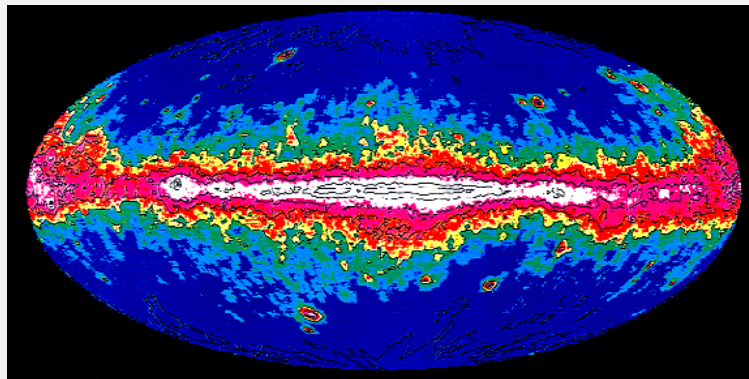
- 1) Primair: ioniserende stralingsdeeltjes met een buitenaardse afkomst. De galactische component heeft haar oorsprong buiten ons zonnestelsel, de solaire component is afkomstig van de Zon.
- 2) Secundair: deeltjes gegenereerd bij impact door nucleaire interacties met de Aardse atmosfeer en materialen

KOSMISCHE STRALING EXTRAGALACTISCHE STRALING

Resterende achtergrondstraling a.g.v. Big Bang,
waarneembaar met gevoelige telescopen.



Thermische achtergrond



Gamma ray all-sky survey

Heijermanslezing

The Cosmic Microwave Background is a snapshot of the oldest light in our Universe, imprinted on the sky when the Universe was just 380,000 years old. It shows tiny temperature fluctuations that correspond to regions of slightly different densities, representing the seeds of all future structure: the stars and galaxies of today.

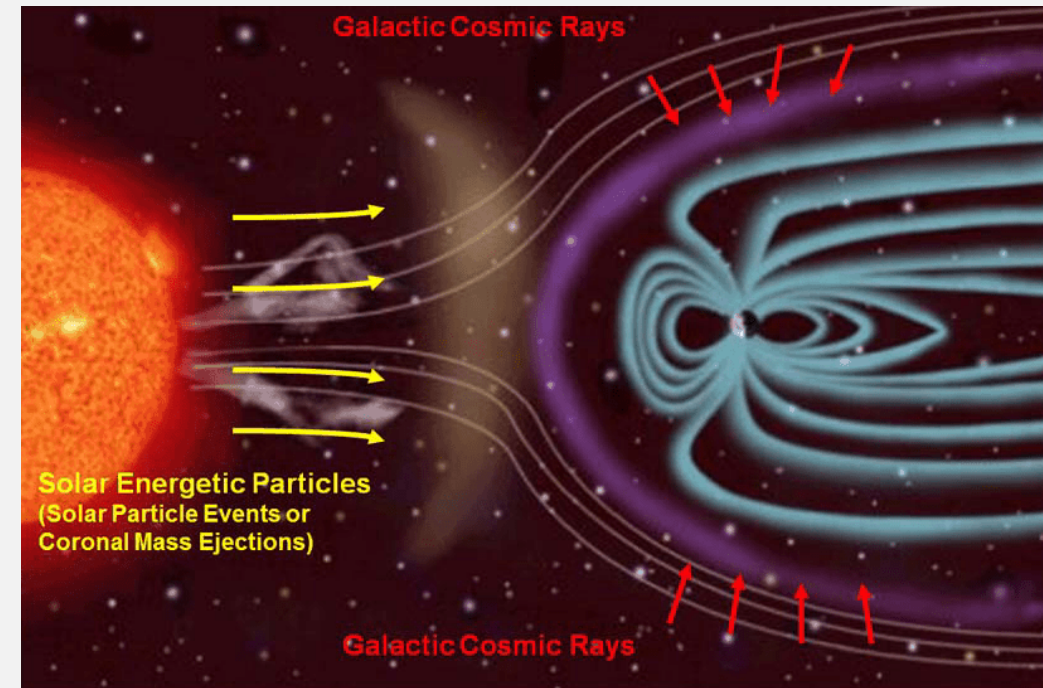
KOSMISCHE STRALING GALACTISCHE STRALING

Snelle, galactische atoomkernen bestaan uit:

- 99% nuclei
- 1% betadeeltjes (elektronen)

Deze nuclei bestaan uit:

- 90% protonen (waterstofkernen)
- 9% alfadeeltjes (heliumkernen)
- 1% HZE's (C, O, Mg, Si, Fe)

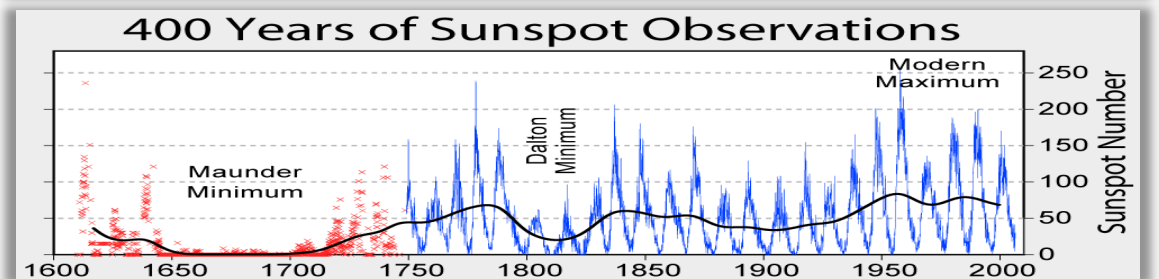
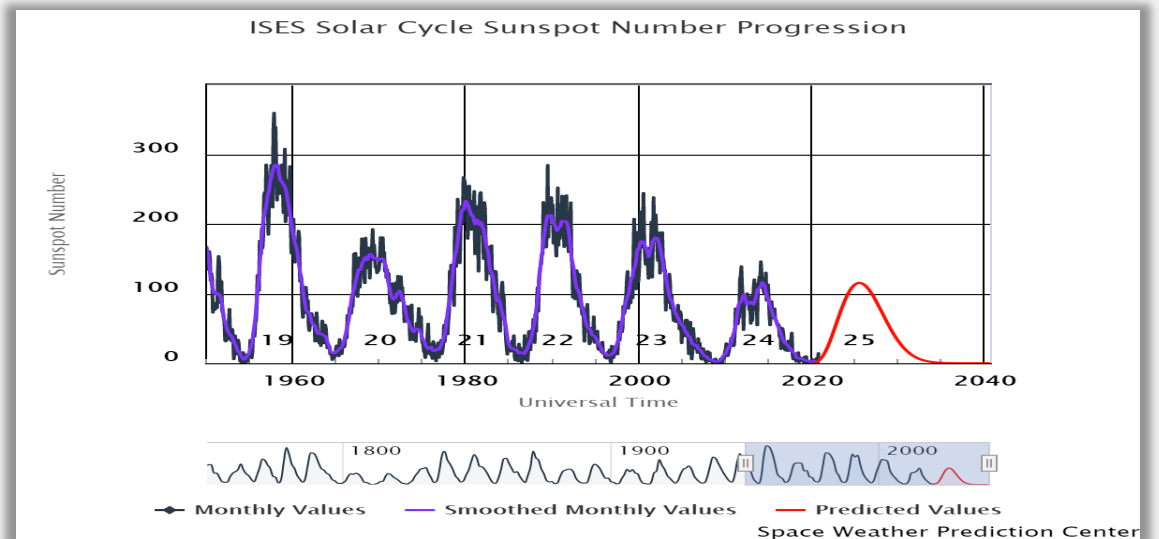


KOSMISCHE STRALING SOLAIRE STRALING

Solaire straling zijn geladen deeltjes
bestaande uit:

- protonen
- elektronen
- HZE-ionen

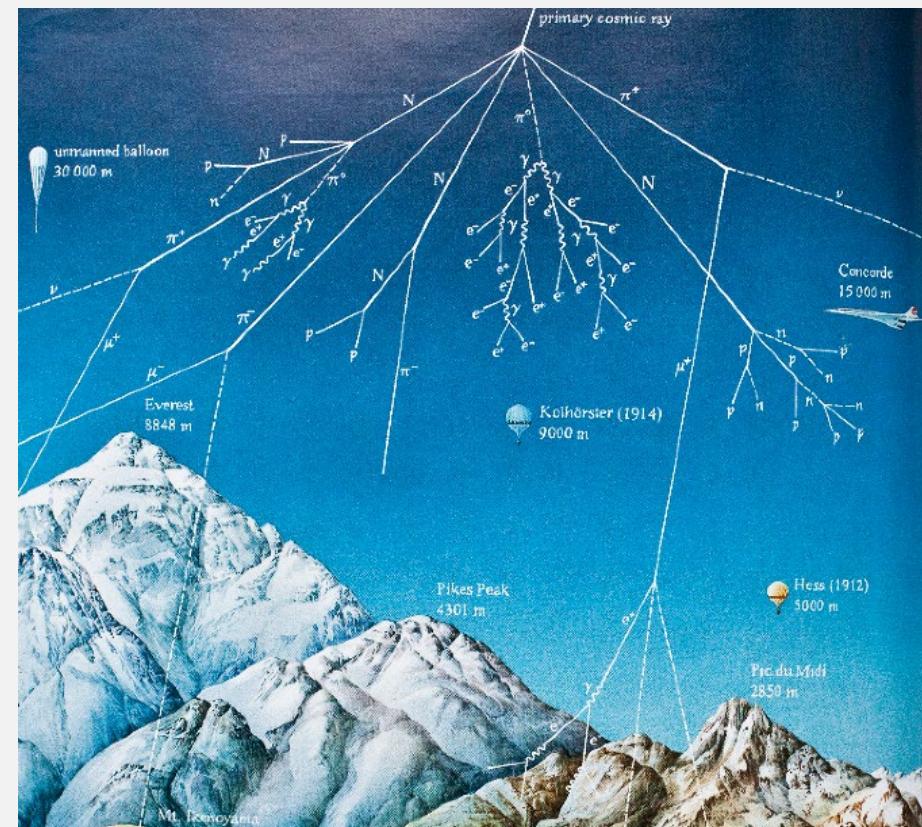
De 11-jaarlijkse zonnecyclus is
duidelijk waar te nemen.



KOSMISCHE STRALING ATMOSFERISCHE STRALING

Secundaire radioactieve reactieproducten in atmosfeer door de vele kernreacties: tritium (H-3), koolstof-14, beryllium-10 en vele andere radioactieve isotopen.

Kosmische straling op zeeniveau bestaat merendeels uit muonen. De rest van deze straling bestaat uit elektronen, positronen en fotonen.



KOSMISCHE STRALINGSDOSIS

Hoogte (km)	Dosistempo (μSv/h)		
	Evenaar	NL	Pool
2,5	0,10	0,18	0,20
3,0	0,12	0,21	0,22
3,6	0,17	0,28	0,28
5,0	0,38	0,65	0,66
7,5	1,14	2,29	2,60
9,0	1,83	3,89	4,65
11,4	3,17	7,09	9,12
15,0	4,80	11,22	16,85

De stralingsdosis als gevolg van kosmische straling varieert met de geografische lengte- en breedtegraad en de hoogte in de atmosfeer.

De dosis aan de polen (80.0° S/N) is hoger dan aan de evenaar (0.0°). Ook laat de grafiek zien dat deze verschillen groter worden naarmate men hoger vliegt.

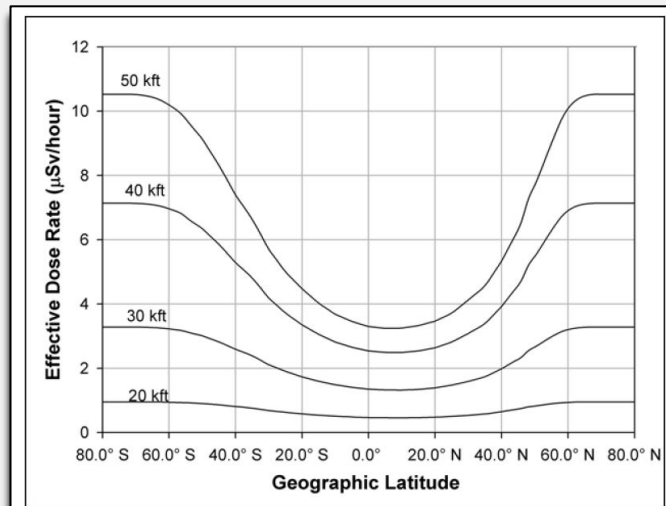


Figure 1. Effective dose rate from GCR, as related to geographic latitude at selected altitudes at 20° E longitude. Dose rates are for the mean solar activity from January 1958 through December 2008. The heliocentric potential used in estimating dose rates is based on the average Deep River equivalent count rate for the 51-year period reported (22).

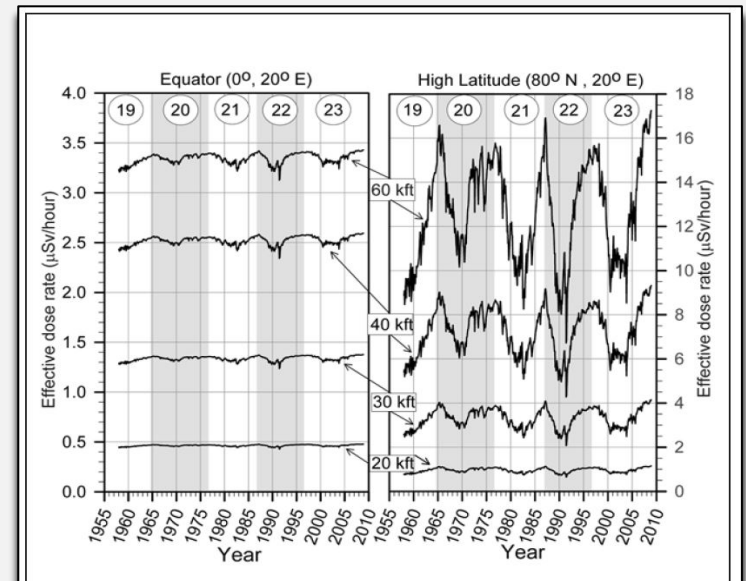


Figure 2. Effective dose rates from GCR in the atmosphere during several solar activity cycles.

KOSMISCHE STRALINGSDOSIS

- Wereldwijd gemiddelde jaarlijkse kosmische (achtergrond)stralingsdosis van 0,39 mSv (UNSCEAR).
- Op zeeniveau jaarlijks 0,3 mSv, op hoger gelegen locaties ca 1 mSv.
- Onvermijdelijk, dus ook geen regulering in wetgeving. Vliegen daarentegen wel.

Vluchttype	Total effectieve dosis [μSv]	Gemiddeld dosistempo [μSv/h]
Parijs – New York	60	6.8
Colombo – Jakarta	9.7	2
Peking – Chicago	82	6.8

DOSISBEPALING IN DE LUCHTVAART

- Kosmische straling meten is complex en duur.
- Kosmische stralingsniveaus rond de aarde worden met een kleine onzekerheid gemodelleerd en worden gevalideerd met in flight measurements.
- Individuele dosisbepaling vindt plaats op basis van het vluchtprofiel (altitude, latitude, longitude, datum, vluchtduur).

Websites met dosisberekeningssoftware:

<https://www.sievert-system.org/?locale=en>

<https://www.helmholtz-muenchen.de/epcard/index.html>

<https://flyer.pcaire.com/Default.aspx>

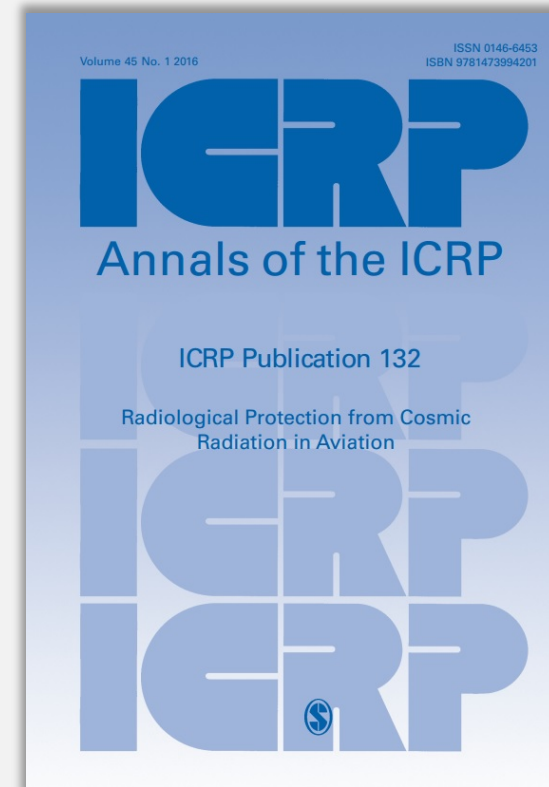
Gratis:

https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari6/

ICRP PUBLICATIE 132 “RADIOLOGICAL PROTECTION FROM COSMIC RADIATION IN AVIATION”

Waarom?

- Passagiersaantallen blijven toenemen.
- ALARA toepassen en richten op een dosisreferentieniveau voor vliegtuigbemanning van 5-10 mSv/jaar.
- Breder informatieverstrekking over kosmische straling aan (zwangere) passagiers en (zwangere) vliegtuigbemanning.





WET- EN REGELGEVING

De luchtvaartondernemer zorgt voor:


- voorlichting over risico's kosmische straling voor indiensttreding of tewerkstelling
- individuele dosisbepaling en inzage hierin
- aangepaste werkroosters zodat de blootstelling van A-werknemers (max. 20 mSv per jaar) beperkt wordt (optimaliseren)
- dat de cumulatieve doses als gevolg van kosmische straling en andere werkzaamheden met straling, niet hoger is dan 20 mSv.


Het Bbs is niet van toepassing op:

- Kosmische stralingsdoses ter hoogte van het aardoppervlak en
- Kosmische stralingsdoses in een luchtvaartuig ontvangen door leden van de bevolking én door werknemers, die niet behoren tot de vliegtuigbemanning.

GRADED APPROACH ICRP

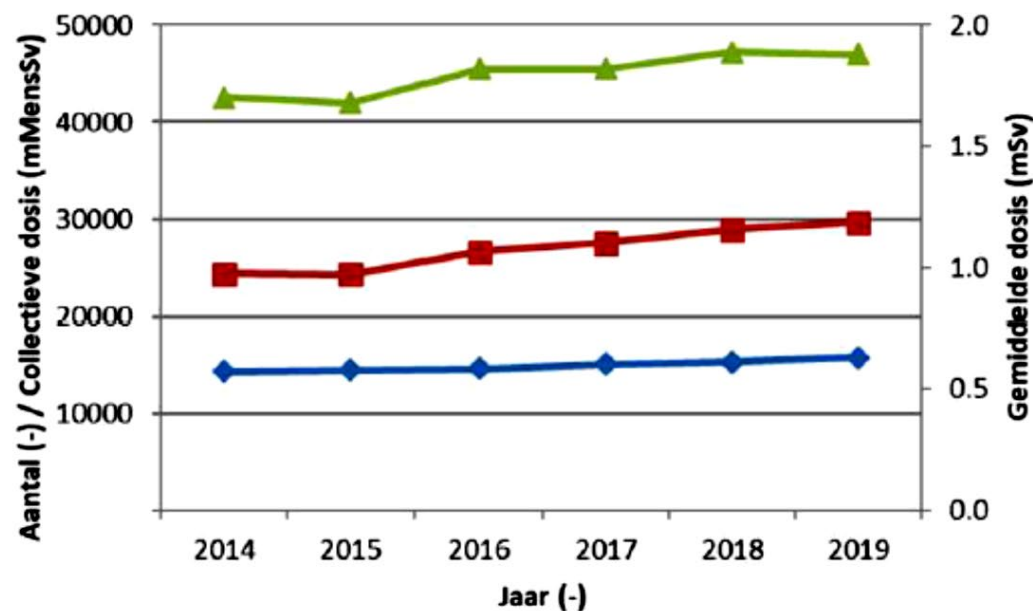
Dosiscategorie	Passieve voorlichting	Actieve voorlichting	Dosisregistratie	Stralingsarts/keuring
minder dan 1 mSv per jaar	X			
tussen 1 en 6 mSv per jaar		X	X	I
tussen 6 en 20 mSv per jaar		X	X	X ₂

 B-werknemer volgens Bbs

 A-werknemer volgens Bbs

CIVIELE LUCHTVAARTDOSES

- Luchtvaartsector is de op één na grootste sector.
- Beperkte maar consistente groei in omvang.
- Gemiddelde dosis is relatief hoog maar uniform verdeeld, waarbij 6 mSv niet wordt overschreden.
- Gemiddelde dosis in 2019 is gestegen van 1,7 mSv in 2014 naar 1,88 mSv in 2019.



Figuur 6 Totaal aantal personen (N) ♦, de collectieve dosis (S) ■ en de gemiddelde dosis (E_{Avg}) ▲ voor de periode 2014 tot 2019 voor de luchtvaartsector.

KOSMISCHE STRALINGSBLOOTSTELLINGEN KLM-PERSONEEL

- De tien medewerkers met de hoogste stralingsdosis in 2019 zijn allen cabin crewmembers (1- en 2-banders) met een 100% contract.
- De 1- en 2-bander's met de hoogste jaardosis van 4,5 - 5,1 mSv zijn als check nader bekeken. Dit zijn hoofdzakelijk 2-banders. Gezien hun functie werken zij vaak in de Business Class van de ICA-toestellen. Dit zijn de vliegtuigen die vooral intercontinentaal vliegen (waaronder veel Noord-Atlantisch).
- Uiteraard komen de dosiswaarden in 2020 veel lager uit.
- 99,5% van de medewerkers heeft in 2019 een effectieve jaardosis ontvangen die lager is dan 4 mSv. De effectieve jaardoses van alle KLM-bemanningsleden liggen dus onder de wettelijke norm van 6 mSv voor categorie B-werknemers.
- Noord-Atlantische vluchten, en dan vooral naar de westkust en naar Japan, geven de hoogste stralingsdoses door de langere reistijd en de route die ze volgen.
- Verschillen in vluchthoogte (tussen Boeing 787 en 777) geven niet een significant verschil aan in stralingsdosis, vanwege het compenserende verschil in snelheid.
- Preventieve stralingsbeschermende maatregelen, als lager en sneller vliegen, zijn dan ook moeilijk te nemen. Aanpassen van werkroosters en personeel op wisselende vluchten te laten werken, lijkt een effectievere methode.



KOSMISCHE STRALINGSBLOOTSTELLINGEN DEFENSIEPERSONEEL

In 2018 is een herinventarisatie gedaan van vliegend Defensiepersoneel, zodat ook vliegbewegingen lager dan 8 km vlieghoogte meegenomen worden in het kosmische stralingsbeschermingsregime. De volgende conclusies zijn daaruit getrokken:

- Voor militaire vliegtuigbemanning van straalvliegtuigen, strategische en tankvliegtuigen en intercontinentale VIP-vluchten overschrijden zeer waarschijnlijk de jaarlijkse 1 mSv dosislimiet.
- Trainingvluchten, transportvluchten, de kustwacht en (combat)helikopters en frequent vliegend personeel blijven allen onder de jaarlijkse 1 mSv dosislimiet.
- Passieve voorlichting voor personeel in categorie lager dan 1 mSv jaardosis.
- Actieve voorlichting (door opname van voorlichting in bestaande lesprogramma's) en dosisregistratie in NDRIS voor personeel in categorie 1-6 mSv jaardosis.
- Al het vliegend Defensiepersoneel blijft onder de jaarlijkse dosis van 6 mSv (categorie B).

ZWANGERSCHAP EN VLIEGEN

Dosislimiet voor ongeboren vrucht is 1 mSv equivalente dosis.

1. Eerste trimester: raadzaam om vliegen te verbieden vanwege verhoogde kans op plotseling incapacitatie en bezorgdheid over aangeboren afwijkingen (mede door kosmische straling).
2. Na 26 weken: vliegen komt in het gedrang door een verhoogd risico op gastro-intestinale stoornissen. Dispensatie mogelijk onder bepaalde voorwaarden.
3. Derde trimester: verhoogd risico op bloedingen en premature bevalling.
4. Na 36 weken verboden te vliegen wegens risico op een vroegtijdige bevalling.
5. Postnatale periode: ongeschikt voor vliegen van 4 tot 6 weken na de bevalling. Geschiktheidsverklaring na gynaecologisch onderzoek.
6. Tijdens borstvoedingsperiode is vliegen niet toegestaan.
7. Infertiliteitsbehandeling leidt automatisch tot ongeschiktheid tot vliegen gedurende de duur van de behandeling.

KLM hanteert een uiterste grens na het melden van de zwangerschap van 26 weken of eerder, als de 200 vlieguren bereikt worden.

BEROEPSZIEKTEN DOOR STRALING DOOR VLIEGEN 2017-2020

Er zijn geen meldingen van beroepsziekten veroorzaakt door kosmische stralingsdoses en vliegen.



PREVENTIE

- De cumulatieve dosis tijdens vliegen in burger- en militaire luchtvaart komt in de regel niet in de buurt van de dosis die nodig is om gezondheidseffecten te verwachten.
- Bij intercontinentale vluchten is de straling hoger bij vluchten over de pool dan meer richting de evenaar.
- Echter de praktijk leert dat de windsterkte en –richting meer bepalend zijn voor de route die intercontinentaal wordt gevlogen dan de hoeveelheid straling.

