



Koninklijk Instituut Van Ingenieurs

Engineering Society

KIVI-RBT



ENERGIEDRAGERS EN ENERGIETRANSITIES VANAF DE INDUSTRIËLE REVOLUTIE TOT HET MIDDEN VAN DE EENENTWINTIGSTE EEUW DEEL IIIB (SLOT)

**KIVI AFDELING
RISICOBEBEHEER EN TECHNIEK**
IR. DRS. F.W. VAN IDDEKINGE

PREAMBULE

Waar hebben we het in dit drieluik over?

De serie bestaat uit 3 voordrachten over duidelijk te onderscheiden onderwerpen:

- **Definities en begrippen - om verwarring en onduidelijkheden te voorkomen. (DEEL I-A)**
- **Fysische- en chemische wetmatigheden - om het in de natuur (on)mogelijke te verklaren. (DEEL I-B)**
- **Historisch perspectief en korte vooruitblik - om duidelijk te maken dat wisselingen van energiedragers en de daarmee gepaard gaande energietransities vaker voorkomen dan algemeen wordt aangenomen. (DEEL II)**
- **Kansen en risico's voor Nederland in de periode 2020 – 2050 – om duidelijk te maken dat we niet “Alleen op de Wereld” zijn en bepaalde opties niet zonder risico's zijn voor de Nederlandse samenleving als geheel en bepaalde onderdelen daarvan in het bijzonder. (DEEL III-A & III-B)**

DRIELUIK ENERGIEDRAGERS EN ENERGIETRANSITIES

- **NAJAAR 2021: GRONDBEGINSELEN VAN ENERGIEDRAGERS EN ENERGIETRANSITIES - DEFINITIES EN BEGRIPPEN - FYSISCHE EN CHEMISCHE WETMATIGHEDEN - WAT IS MOGELIJK EN ONMOGELIJK !!!**
- **VOORJAAR 2022: HISTORISCH OVERZICHT VANAF DE OUDHEID TOT DE INDUSTRIËLE REVOLUTIE (CA. 1750) EN TOT HEDEN - ENERGIETRANSITIES ONDERVERDEELD IN 7 SPECIFIEKE TIJDSPANNEN - DE UITVINDING VAN DE "MODERNE" STOOMMACHINE LUIDDE EEN NIEUW TIJDPERK IN DE GESCHIEDENIS VAN DE MENS IN.**
- **VOORJAAR 2023: HEDEN EN TOEKOMST VOOR NEDERLAND, DE EUROPESE UNIE EN DE WERELD TOT CA. 2050. WE ZIJN NIET "ALLEEN OP DE WERELD". RISICOMIJDENDE EN RISICOVOLLE SCENARIO'S. "GOOI UW OUDE SCHOENEN NIET WEG VOORDAT U NIEUWE HEBT".**
- **EIND 2025: KORTE TERUGBLIK EN VOORUITBLIK NA MEERJARIG CONFLICT IN OEKRAÏNE EN VOORTDURENDE SANCTIES, EVENTUELE BIJSTELLING VAN EERDERE CONCLUSIES, AANBEVELINGEN.**

INHOUD - DEEL I-A + DEEL I-B

1. Wat zijn energiedragers?

2. Wat is een energietransitie?

3. Enkele begrippen en definities:

- **Duurzame energie**
- **CO₂ neutraal en klimaatcompensatie**
- **Broeikasgassen**
- **Fossiele en niet-fossiele brandstoffen**
- **Redundantie en diversiteit**
- **Vormen van energie**
- **Hoofdwetten van de thermodynamica**
- **Behoud van energie, impuls en massa**
- **Gesloten en open systemen**
- **Omkeerbare en onomkeerbare processen**
- **Evenwicht?**

INHOUD – DEEL II

- 4. De periode tot 1800**
- 5. Van 1800 tot 1880**
- 6. Van 1880 tot 1935**
- 7. Van 1935 tot 1965**
- 8. Van 1965 tot 1990**
- 9. Van 1990 tot 2010**
- 10. Van 2010 tot heden**

INHOUD – DEEL III-A & III-B

11. Van heden tot het midden van deze eeuw

12. (Inter)nationale afspraken door Nederland gemaakt

13. Kansen en risico's van gemaakte en te maken keuzes

14. De beste opties volgens KIVI-RBT

15. Samenvatting en conclusies

1. Wat zijn energiedragers ?

- Een energiedrager is elk systeem of elke substantie die energie bevat die later of elders kan worden omgezet naar bruikbare energie. (I)
- Een energiedrager is een grondstof die fungeert als bron voor energie. (II)
- Een energiedrager is een stof of verschijnsel dat gebruikt kan worden om een mechanische kracht of warmte te produceren, of om chemische of fysische processen tweeg te brengen. (III)
- Zie verder de ISO 13600 serie (Technical Energy Systems – Basic concepts)

1. Wat zijn energiedragers ? (vervolg)

Voorbeelden van energiedragers volgens definities I, II en III:

- I:** Elektriciteit, stoom, gespannen veer, samengeperste lucht in een cilinder, waterreservoir op hoogte, stuwmeer, opgeladen batterij, geladen condensator, elke brandbare stof, waterval, geothermische geyser, draaiend vliegwiel, gewicht dat omlaag kan vallen of rollen, zonnecel, e.d. [SYSTEEM of SUBSTANTIE]
- II:** Turf, steenkool, aardolie, aardgas, hout, teer (pek), ertsen, uranium, thorium, (plutonium), bruinkool, de wind, de getijden, de zee, de zon (straling), de aarde (warmte), e.d. [GRONDSTOF]
- III:** Waterstof, benzine, dieselolie, LPG, CNG, LNG, brandstofcel, (zware) stookolie, zonnespiegels met stoomturbine, methaan, zonnecollectoren, petroleum, propaan, butaan, kerosine, spiritus, methanol, e.d. [STOF of VERSCHIJNSEL]

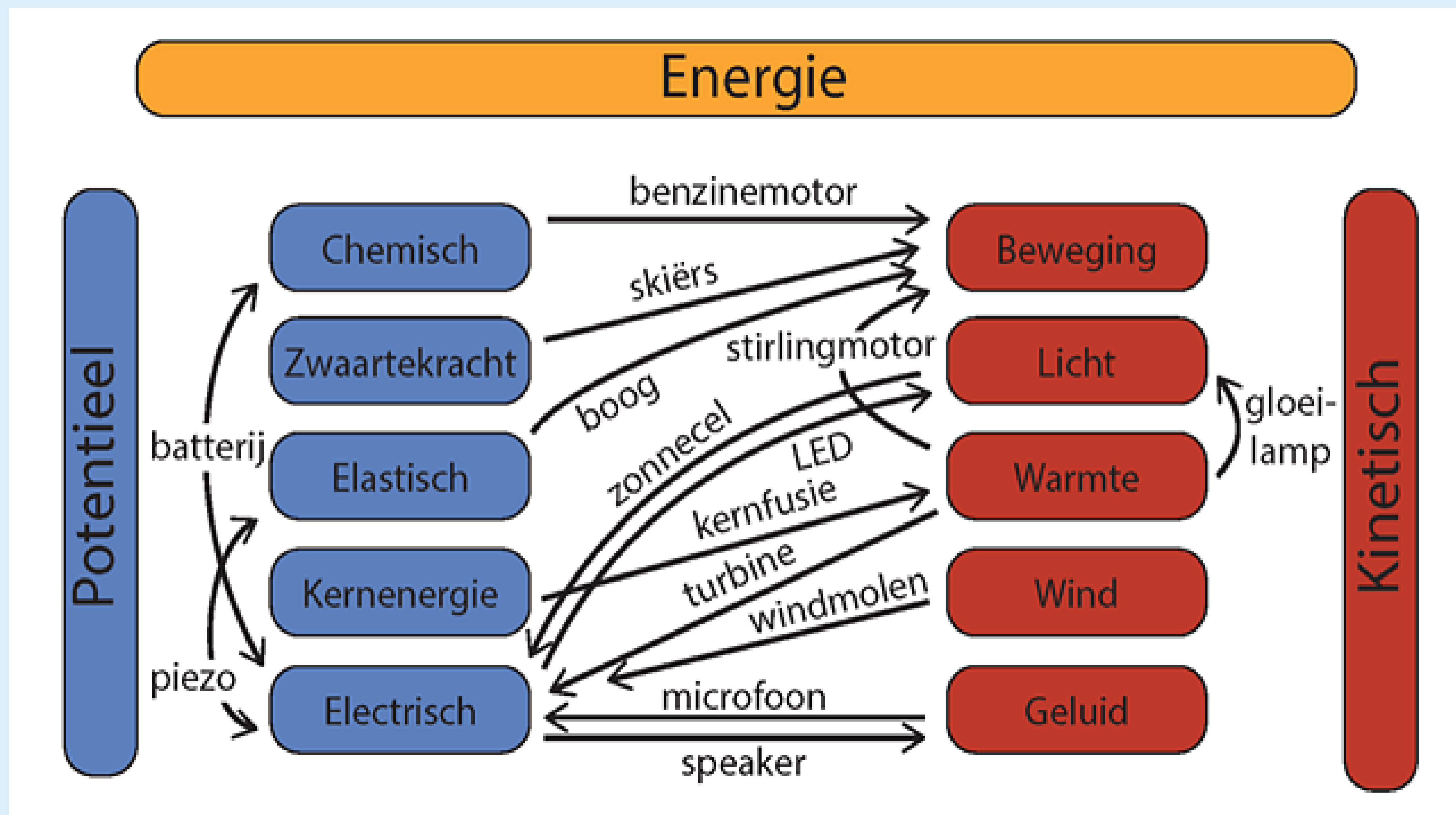
2. Wat is een energietransitie ?

Het is een verandering van energiedragers !

- **Energietransitie is een verzamelnaam voor de overgang van onze bestaande energiesystemen naar een nieuw systeem voor het opwekken en gebruiken van energie. (I)**
- **Energietransitie is een begrip dat gebruikt wordt voor de overgang van traditionele, fossiele brandstoffen als olie, kolen en gas, naar duurzame energie uit bijvoorbeeld zon, wind en aarde. (II)**
- **Energietransitie is (was) een beleidsplan van de overheid om van fossiele brandstoffen naar volledig duurzame energiebronnen zoals zonne- en windenergie over te stappen. Volgens dit plan moe(s)t Nederland in 2020 één van de duurzaamste landen van Europa zijn. (III)**
- **Wikipedia: Energietransitie is de overgang naar een situatie waarin de energievoorziening structureel anders van aard en vorm is dan in het huidige energiesysteem. (IV) Zie ook de ISO 13600 serie.**

2. Wat is een energietransitie ? (vervolg)

NEMO KENNISLINK: Energie kan opgeslagen liggen (potentiële energie) of in een beweging zitten (kinetische energie). In principe kan iedere vorm van energie (al dan niet volledig) in een andere worden omgezet.



2. Wat is een energietransitie ? (vervolg 2 en slot)

VOORBEELDEN UIT ONS DAGELIJKS LEVEN

- Energie komt voor in meerdere hoedanigheden. Vormen van energie die we in ons dagelijks leven veel tegenkomen zijn elektriciteit (elektrische energie), warmte (thermische energie) en (mechanische) bewegingsenergie. Deze bewegingsenergie is vaak het gevolg van één of meerdere energie omzettingen. Momenteel hebben alle personenauto's chemische energie (accu of batterij, benzine, LPG, CNG, LNG, dieselolie, kerosine, petroleum) als energiebron. Uw elektrische auto rijdt op chemische energie (accu pakket) die in elektrische energie wordt omgezet om vervolgens nogmaals te worden omgezet naar (mechanische) bewegingsenergie (elektromotoren). Of: de potentiële energie van de accu's wordt omgezet in de kinetische energie van de personenauto.

3. Enkele begrippen en definities

15 VOORBEELDEN VAN VORMEN VAN ENERGIE

Chemische energie

Elastische energie

Elektrische energie

Elektromagnetische energie

Geluidsenergie

Gravitatie-energie (energieverandering in een gravitatieveld)

Potentiële energie (opgeslagen energie)

Kernenergie (nucleaire energie)

Kinetische energie (bewegingsenergie)

Lichtenergie

Mechanische energie

Magnetische energie

Massa ($E=mc^2$)

Straling

Warmte (thermische energie)

3. Enkele begrippen en definities (vervolg)

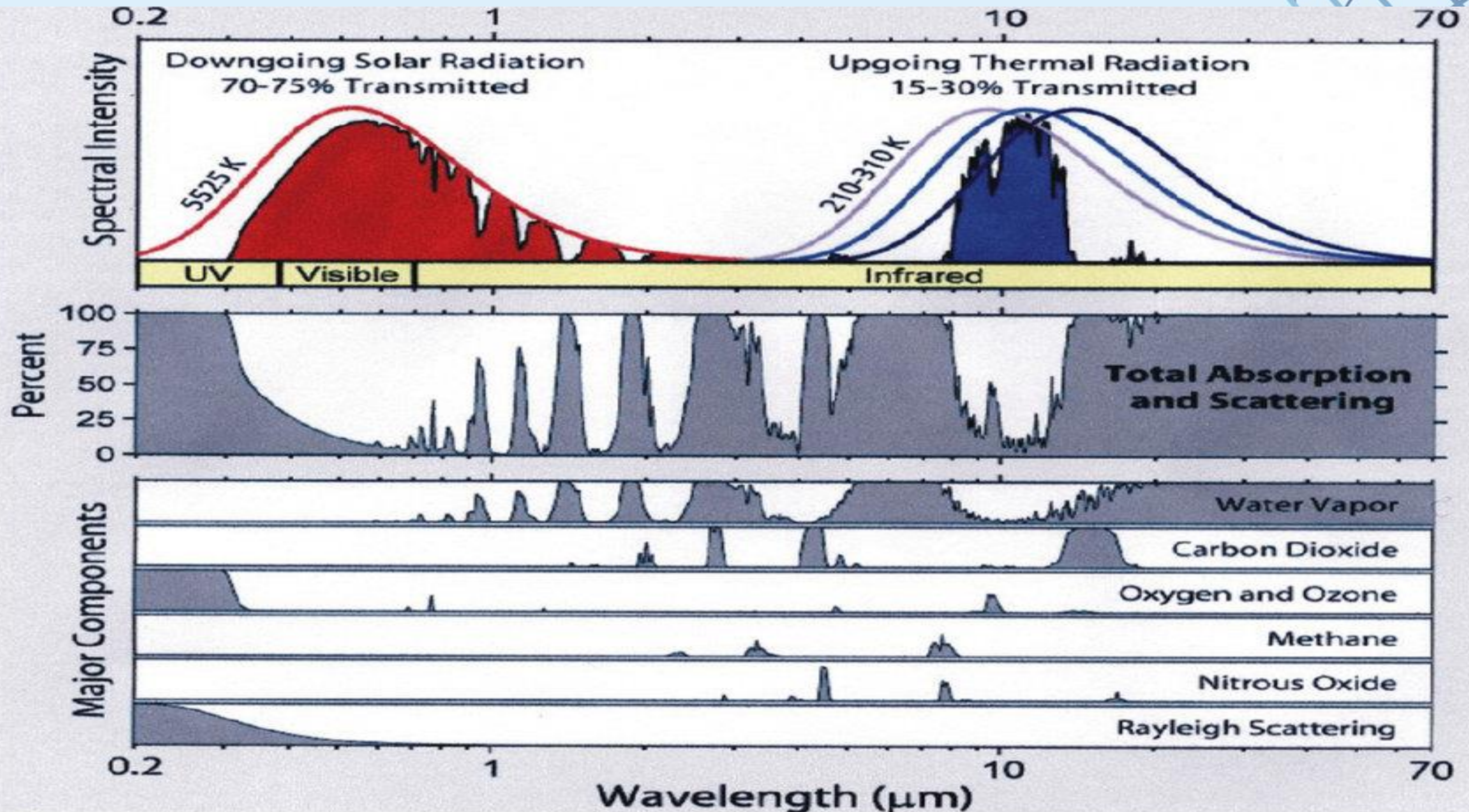
- De gemiddelde samenstelling van onze atmosfeer:
 - Stikstof (N_2) : 78.08 %
 - Zuurstof (O_2) : 20.95 %
 - Argon (Ar) : 0.93 %
 - Waterdamp (H_2O) : 0.40 %
 - Kooldioxide (CO_2) : 0.043 % (430 ppm eind 2025)
 - Ne, He, CH_4 , Kr, e.a. : 0.003 %
-
- De som is groter dan 100 % omdat waterdamp niet meegerekend wordt in de droge atmosfeersamenstelling.
 - Met uitzondering van waterdamp, kooldioxide en methaan absorberen deze gasen geen infrarood straling zodat zij niet bijdragen aan het broeikaseffect.
 - N.B. Ook zwaveldioxide (SO_2), ammoniak (NH_3) en stikstofoxiden (NO_x), met uitzondering van lachgas (N_2O) dragen (zonder reactie met water) niet bij aan het broeikaseffect.

3. Enkele begrippen en definities (vervolg)

- De geschatte bijdragen aan het broeikaseffect van de 5 belangrijkste in de zuivere aardatmosfeer en natuur voorkomende gassen zijn respectievelijk:
- Waterdamp (H_2O) : 36–70% (wolken niet meegeteld)
- Kooldioxide (CO_2) : 9–26%
- Methaan (CH_4) : 4–9%
- Ozon (O_3) : 3–7%
- Lachgas (N_2O) : 0–7%
- De absorptie- en emissiespectra in het infrarode (IR) gebied van bovengenoemde gassen overlappen elkaar. De invloed van wolkenvelden is groot en leidt (ook lokaal) tot aanzienlijke fluctuaties. Waterdamp bestaat gemiddeld 7 dagen en kooldioxide meer dan 20 jaar in de atmosfeer. Alhoewel waterdamp veel sterker infrarood straling absorbeert dan kooldioxide, absorbeert kooldioxide vooral IR in het langgolfige gebied en belemmert het daardoor sterker de (met name nachtelijke) uitstraling van de aarde dan waterdamp.

3. Enkele begrippen en definities (vervolg)

ABSORPTIE- EN EMISSIE-SPECTRA VAN BROEIKASGASSEN



3. Enkele begrippen en definities (slot)

BELANGRIJKSTE “MAN-MADE” BROEIKASGASSEN

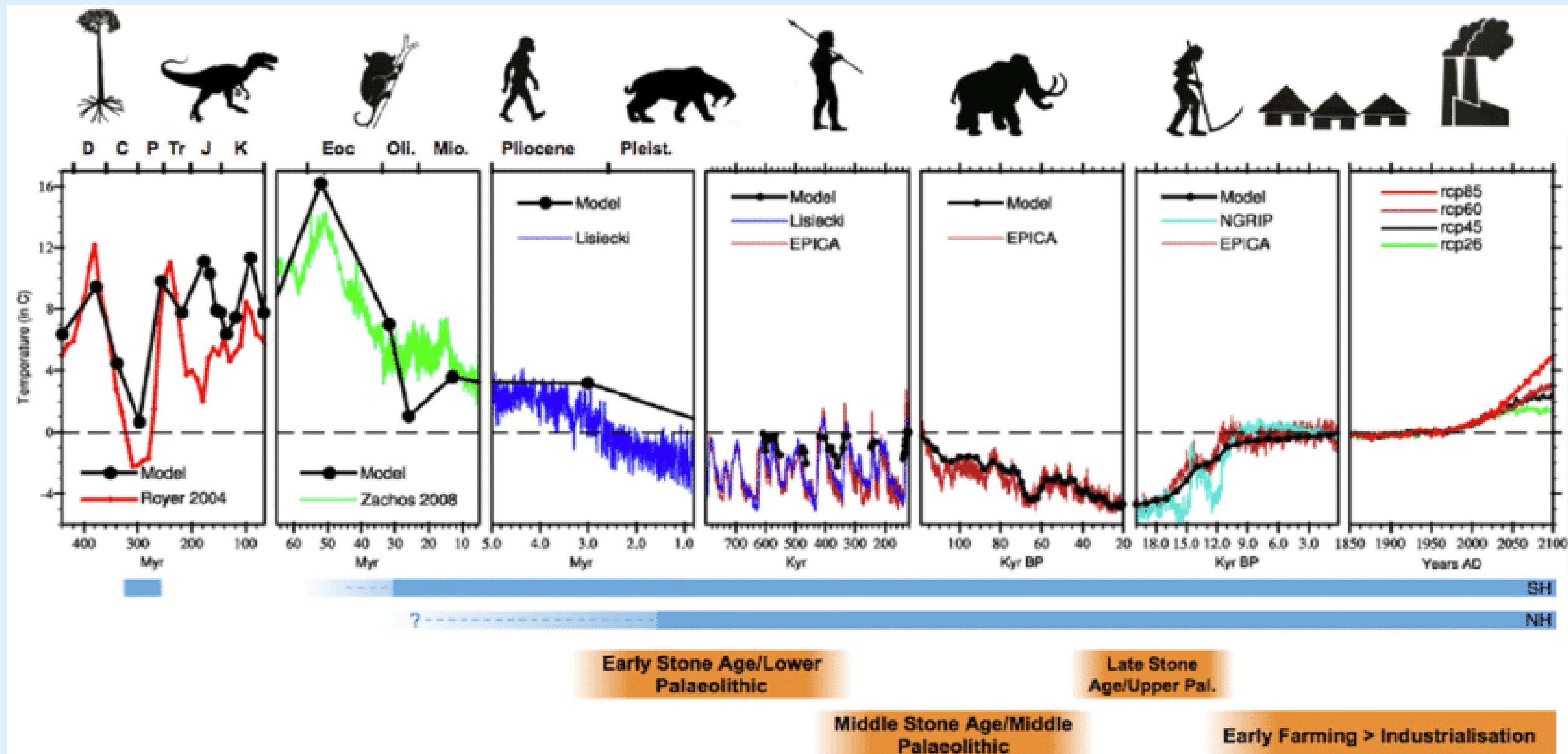
Atmospheric lifetime and Global Warming Potential relative to CO2 at different time horizon for various greenhouse gases						
Gas name	Chemical formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (Wm ⁻² ppb ⁻¹ , molar basis)	Global warming potential (GWP) for given time horizon		
				20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	(A)	1.37×10 ⁻⁵	1	1	1
Methane	CH ₄	12	3.63×10 ⁻⁴	84	28	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	121	3×10 ⁻³	264	265	153
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	10 800	10 200	5 200
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.21	5 280	1 760	549
Tetrafluoromethane	CF ₄	50 000	0.09	4 880	6 630	11 200
Hexafluoroethane	C ₂ F ₆	10 000	0.25	8 210	11 100	18 200
Sulfur hexafluoride	SF ₆	3 200	0.57	17 500	23 500	32 600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	500	0.20	12 800	16 100	20 700
(A) No single lifetime for atmospheric CO ₂ can be given.						

INHOUD - DEEL II – SAMENVATTING

- 4. De periode tot 1800: vanaf 1750 industriële revolutie**
- 5. Van 1800 tot 1880: vanaf 1870 technologische revolutie**
- 6. Van 1880 tot 1935: staal, elektriciteit, turbines, verbrandingsmotor**
- 7. Van 1935 tot 1965: aardolie, aardgas en kernenergie**
- 8. Van 1965 tot 1990: computer, communicatie en globalisatie**
- 9. Van 1990 tot 2010: digitale revolutie en smartphone (gsm)**
- 10. Van 2010 tot heden: cognitieve automatisering, robotica, AI**

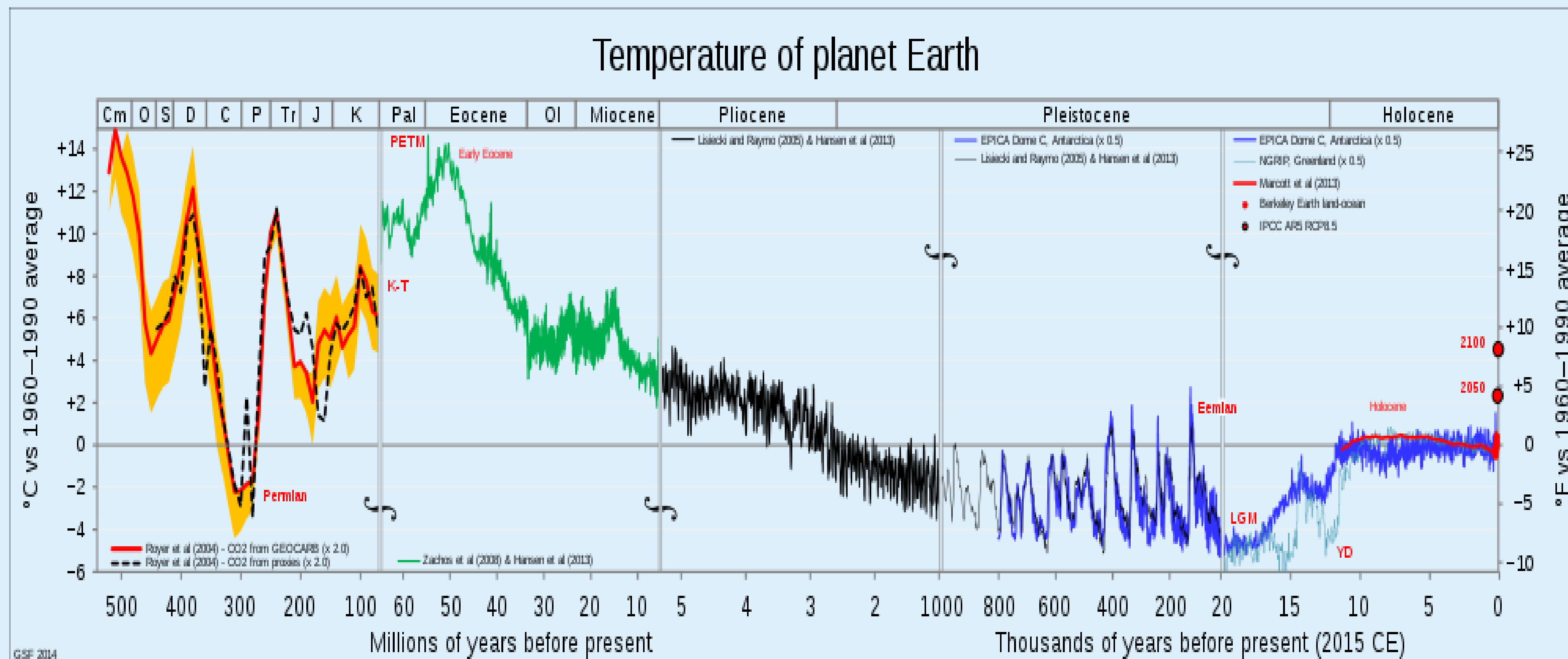
4. De periode tot 1800

Homo Erectus (vóór ca. 300 000 jaar geleden) kon al vuur maken.



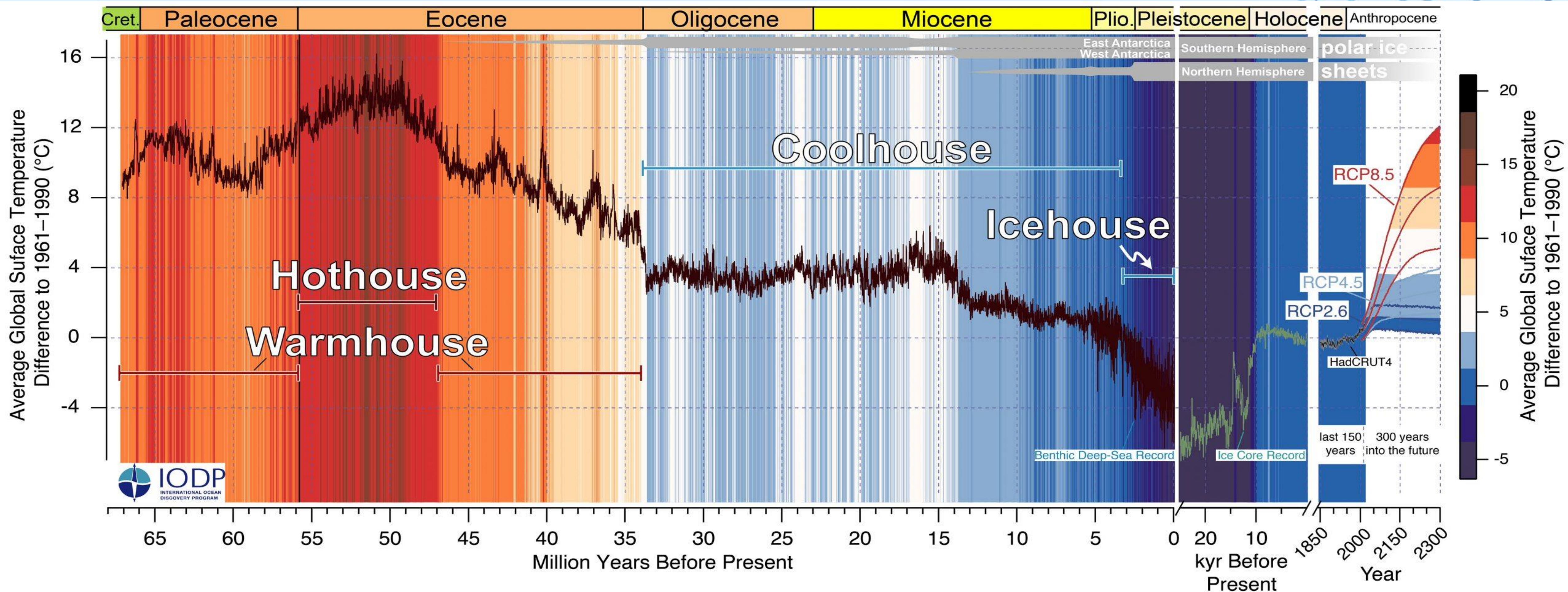
4. De periode tot 1800

Homo Erectus (vóór ca. 300 000 jaar geleden) kon al vuur maken.



4. De periode tot 1800

Homo Erectus (vóór ca. 300 000 jaar geleden) kon al vuur maken.



5. De periode van 1800 tot 1880

Rond 1800 is de eerste industriële revolutie (die omstreeks 1750 in Engeland was begonnen) bijna voltooid met de uitvinding (en vrijwel onmiddellijke) toepassing van de moderne stoommachine met condensor en het gebruik van gietijzer en steenkool dat zich over een groot deel van Europa en Noord Amerika heeft uitgebreid en leidt tot een exponentiële groei van fabrieksmatige productie en de daarmee gepaard gaande ontwikkeling van nieuwe bevolkingscentra.

De energietransitie van de oude energiedragers (sprokkel)hout, (gestoken en gedroogde) turf, (dierlijke, plantaardige en minerale) oliën en vetten en allerlei afval naar gedolven steenkool en (stads)gas is inmiddels in volle gang. De ontdekking van nieuwe energiedragers staat voor de deur en zal laat in de 19^e eeuw tot een tweede industriële revolutie leiden, de zogenoemde technologische revolutie, met opnieuw een energietransitie. Koolmonoxide vergiftiging, longkanker, silicose, mijnongelukken en fabrieksdoden zijn nieuwe ongewenste gevolgen van deze eerste industriële energietransitie.

Gedurende deze periode, die tot ca. 1880 zal duren, zullen direct toepasbare ontdekkingen op het gebied van de natuur- en scheikunde worden gedaan.

5. De periode van 1800 tot 1880 (slot)

Rond 1880 zijn vrijwel alle klassieke machines en werktuigen uitgevonden en is een tweede industriële revolutie inmiddels in volle gang. Deze technologische revolutie die wordt gekenmerkt door de snelle toepassing van constructiestaal en elektriciteit (naast stadsgas) zal tot ongeveer de Eerste Wereldoorlog duren. De belangrijkste energietransitie die deze technologische revolutie kenmerkt is de snelle omschakeling op elektriciteit. De ontdekking van deze nieuwe energiedrager heeft gunstige gevolgen voor mens en milieu. Elektrocutie en brand door kortsluiting zijn nieuwe gevaren en derhalve ongewenste gevolgen van deze energietransitie. Rond 1870 begint de commerciële winning van aardolie in de USA met de oprichting van Standard Oil.

HIERMEE KOMT DE TWEEDE PERIODE TEN EINDE

De derde periode zal tot vlak voor de Tweede Wereldoorlog (ca. 1935) duren. Gedurende deze periode zullen baanbrekende ontdekkingen op het gebied van de natuur- en scheikunde verstrekkende gevolgen krijgen.

6. DE DERDE PERIODE van 1880 tot 1935 (MECHANISATIE)

De bouw van het atoom is grotendeels bekend. Automobielen, vliegtuig en de lopende band worden uitgevonden. De Eerste Wereldoorlog. Het neutron en het neutrino worden ontdekt. Kwantummechanica en relativiteitstheorie hebben wortel geschoten. Er is een energietransitie. De wereld staat aan de vooravond van de ontketening van ongekennde natuurkrachten.

7. DE VIERDE PERIODE van 1935 tot 1965 (AARDOLIE, AARDGAS, KERNENERGIE)

De Tweede Wereldoorlog leidt tot ongekennde innovaties. De in deze periode geïntroduceerde digitale wereld zal niet meer verdwijnen. De klassieke fossiele energiebronnen hebben concurrentie gekregen van aardgas, kernenergie en waterkracht. Wind- en zonne-energie zullen weldra op grote schaal worden geïntroduceerd door allerlei stimulerende maatregelen. Energietransitie.

8. DE VIJFDE PERIODE van 1965 tot 1990 (GLOBALISATIE)

Deze periode wordt gekenmerkt door wereldwijde toepassingen van de computer en alle hiermee verband houdende communicatie. Energietransitie.

9. DE ZESDE PERIODE van 1990 tot 2010 (INTERNET, GSM, DIGITALE REVOLUTIE)

10. DE ZEVENDE PERIODE van 2010 tot heden (AI en ROBOTICA)

INHOUD – DEEL III-A & III-B

11. Van heden tot het midden van deze eeuw

12. (Inter)nationale afspraken door Nederland gemaakt

13. Kansen en risico's van gemaakte en te maken keuzes

14. De beste opties volgens KIVI-RBT

15. Samenvatting en conclusies

INTRODUCTIE DEEL III-A & III-B: SAMENVATTING VAN DEEL II

Risico beschouwingen speelden een ondergeschikte rol in het verleden. De zeven te onderscheiden periodes volgen elkaar op door nieuwe ontdekkingen, technologische ontwikkelingen en oorlogen waarbij technology push en market pull elkaar afwisselen en aanvullen. Nieuwe natuurlijke hulpbronnen bevorderen schaalvergroting en leiden tot kostprijsverlaging. Het economische begrip schaarste verdwijnt op de achtergrond door het voorhanden hebben van zowel redundante als diverse energiedragers.

- 1. De periode tot 1800: vanaf 1750 industriële revolutie**
- 2. Van 1800 tot 1880: vanaf 1870 technologische revolutie**
- 3. Van 1880 tot 1935: staal, elektriciteit, turbines, verbrandingsmotor**
- 4. Van 1935 tot 1965: aardolie, aardgas en kernenergie**
- 5. Van 1965 tot 1990: computer, communicatie en globalisatie**
- 6. Van 1990 tot 2010: digitale revolutie en smartphone (gsm)**
- 7. Van 2010 tot heden: cognitieve automatisering, robotica, AI**

INTRODUCTIE DEEL III-A & III-B (vervolg)

De te onderscheiden periodes anders bezien nogmaals:

- 1. De (eerste) industriële revolutie : 1750 - 1870**
- 2. De (tweede) technologische revolutie : 1870 - 1939**
- 3. Tweede Wereldoorlog : 1939 - 1945**
- 4. De (derde) energiedrager revolutie : 1939 - 1965**
- 5. De computer revolutie : 1965 - 1990**
- 6. De digitale/smartphone revolutie : 1990 - 2010**
- 7. De cognitieve automatisering revolutie : 2010 - ????**
- 8. Gevolgen van conflict tussen Oekraïne en Rusland : 2022 - ????**

N.B. Risicobeschouwingen speelden geen rol van betekenis totdat draadloze gegevensoverdracht en opslag hun intrede deden begin deze eeuw. Immers redundantie en diversiteit van energiedragers hadden steeds weer tijdig voor oplossingen gezorgd in het verleden. De grootschalige toepassing van Smart Phones met Cloud-opslag brengt nieuwe onzekerheden. De begrippen redundantie en diversiteit verliezen hun klassieke betekenis in deze “nieuwe” digitale wereld.

INTRODUCTIE DEEL III-A & III-B (vervolg 2)

Risico beschouwingen en kostprijs beschouwingen leiden tot het zogenoemde Triple Zero principe (European Green Deal met inachtneming van het “green taxonomy label” van de EU)

ZERO EMISSIONS – ZERO WASTE – ZERO ACCIDENTS/DEATHS

Zeven energiedragers kunnen hieraan in principe voldoen:

- 1. Zon(ne-energie)**
- 2. Wind(energie)**
- 3. Waterkracht(energie)**
- 4. Aardwarmte(-energie)**
- 5. Waterstof**
- 6. Aardgas (methaan)**
- 7. Nucleair(e energie=kernenergie)**

N.B. Kooldioxide gas is hierbij niet te beschouwen als waste, maar wel als een broeikasgas, evenals stoom (waterdamp) en moerasgas (aardgas). Radioactief (kern)afval is een apart geval in die zin dat het op één locatie verzameld, gescheiden, bewerkt en opgeslagen wordt in Nederland.

11. Van heden tot het midden van deze eeuw

12. (Inter)nationale afspraken door Nederland gemaakt

- = Overzicht aardgaswinning in Nederland**
- = De achtergronden van de huidige energietransitie**
- = De snelle groei van de wereldbevolking sinds 1800**
- = Kyoto Protocol (1997) en Paris Agreement (2015)**
- = Toename broeikasgassen tot 2100 volgens 4 scenario's**
- = Door Nederland aangegane wettige verplichtingen**
- = Zelfvoorzienendheid van Nederland**
- = Gevolgen van internationale sancties**

De Voorzitter van de Tweede Kamer
der Staten-Generaal
Binnenhof 4
2513 AA DEN HAAG

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Datum 30 mei 2018
Betreft Gaswinning uit de kleine velden in de energietransitie

Directoraat-generaal
Energie, Telecom & Mededinging
Directie Energie en Omgeving
Ons kenmerk DGETM-EO / 18031167

Geachte Voorzitter,

Door de aardbevingsproblematiek in Groningen is de afgelopen tijd bij veel burgers en decentrale overheden het beeld ontstaan dat we maar beter zo snel mogelijk kunnen stoppen met alle gaswinning in Nederland. **Ik heb uw Kamer eind maart een brief gestuurd over de afbouw van de gaswinning uit het Groningen-veld, waarin ik aangeef deze gaswinning zo snel mogelijk op een verantwoorde wijze terug te brengen tot nul.**

Ik besef dat gaswinning in Nederland, ook uit de kleine velden, voor veel partijen gevoelig ligt. De veiligheid en de wijze van schadeafhandeling krijgen veel aandacht in het publieke debat. Daarmee is ook het kleineveldenbeleid toe aan een herijking – daarover gaat deze brief. Veiligheid is dominant in mijn afwegingen over mijnbouw. **Daarbij wil ik wel een onderscheid maken tussen veiligheid en de veiligheidsbeleving. Beide zijn belangrijk, maar ze worden wel anders gewogen.**

.....

Tot slot

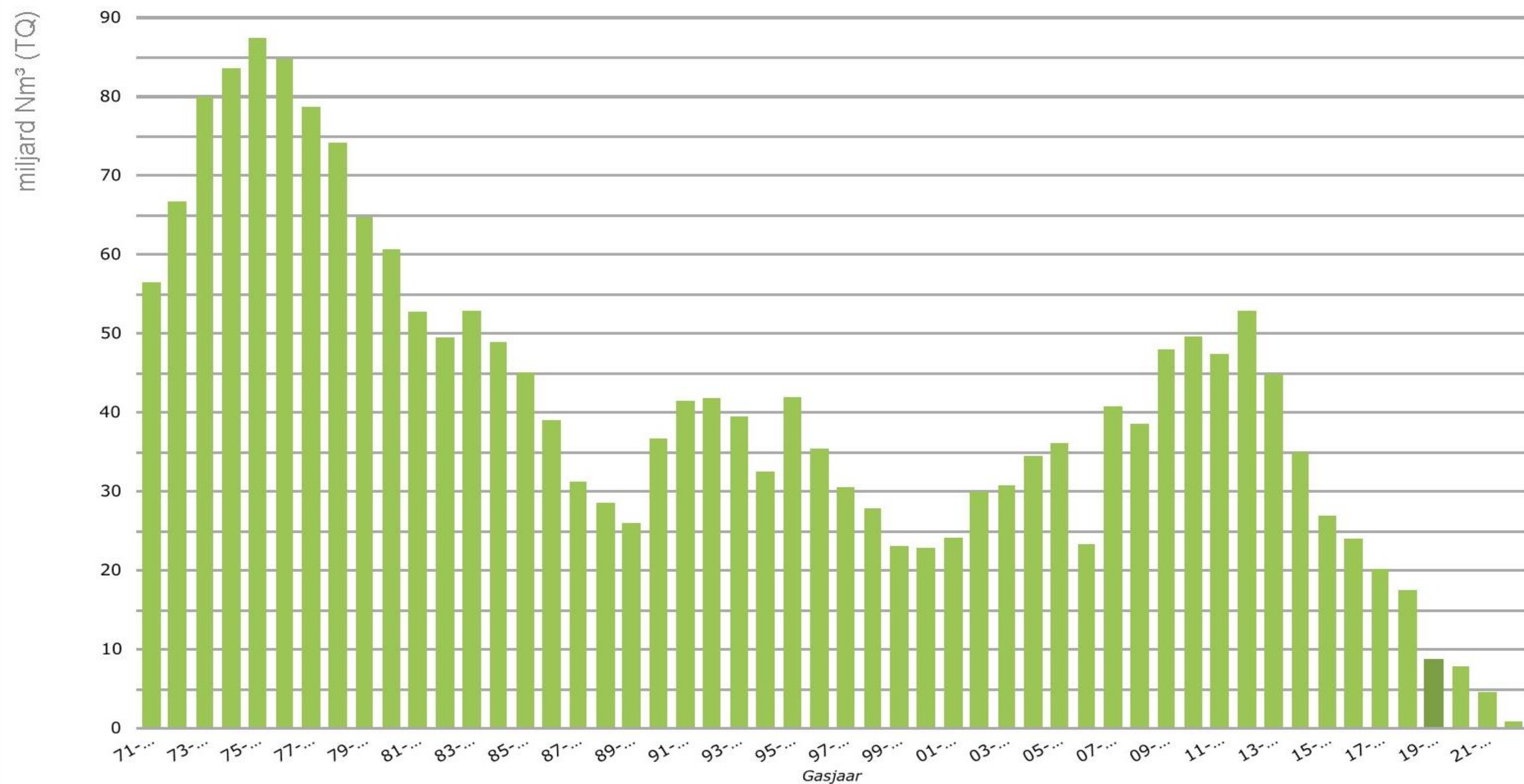
Het veelgehoorde streven om “zo snel mogelijk van het aardgas af te gaan” onderschrijf ik. Dit kabinet zet zich tot het uiterste in om de aardgasvraag zo snel mogelijk te verminderen en om, liefst spoedig en grootschalig, alternatieve energiebronnen te realiseren. Deze inspanningen zullen na een periode van gestage afbouw leiden tot een moment waarop we ‘van het aardgas af’ kunnen. Het realiseren hiervan vergt echter een uiterste krachtsinspanning van de gehele Nederlandse samenleving.





Totaal uit Groningen-gasveld gewonnen gas

Van gasjaar 1971-72 t/m gasjaar 2022-23

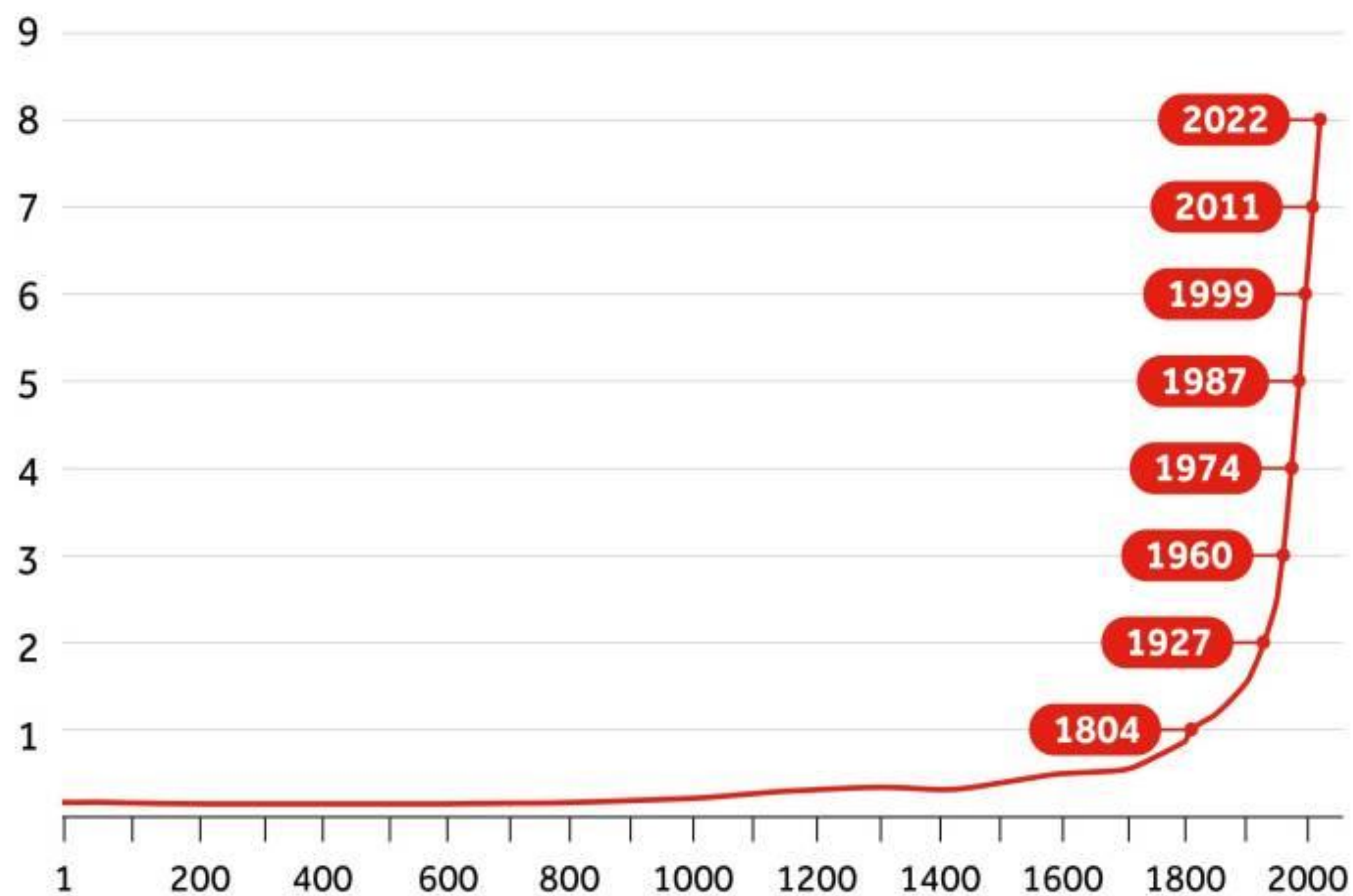


Bron: NAM

Generatiedatum grafiek: 20 maart 2023

Wereldbevolking in 2022 al naar 8 miljard

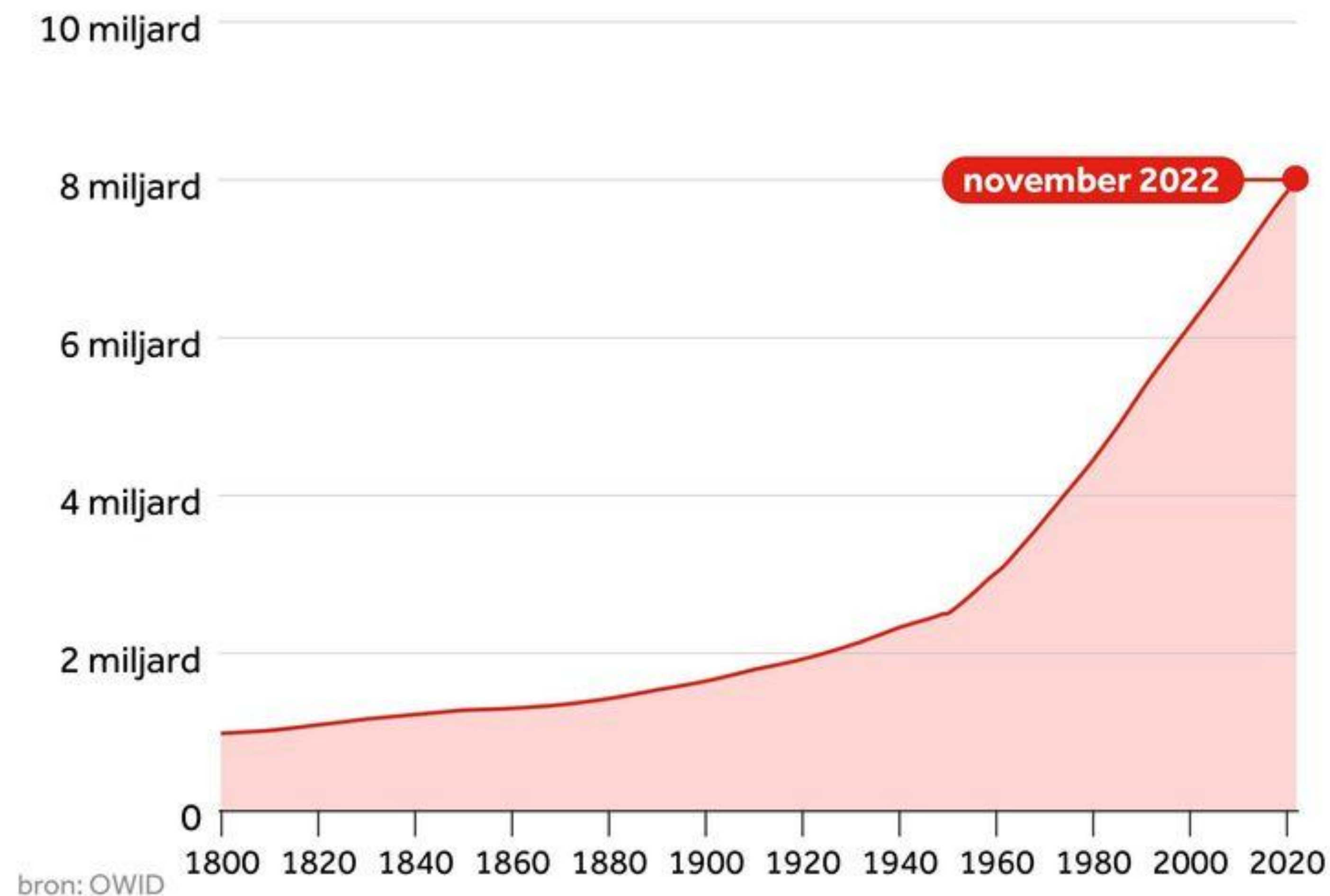
Toename wereldbevolking (x miljard mensen)



bron: Population Connection

Voor het eerst 8 miljard mensen op de wereld

Totale wereldbevolking vanaf 1800



TOENAME VAN 4 BROEIKASGASSEN SINDS 1750

Gas	Pre-1750 <u>tropospheric</u> concentration	Recent <u>tropospheric</u> concentration	Absolute increase since 1750	Percentage increase since 1750	Increased radiative forcing (W/m ²)
<u>Carbon dioxide</u> (CO ₂)	280 <u>ppm</u>	411 ppm / 431 ppm	131 ppm / 151 ppm	46.8% / 53.9%	2.05
<u>Methane</u> (CH ₄)	700 ppb	1893 ppb / 1762 ppb	1193 ppb / 1062 ppb	170.4% / 151.7%	0.49
<u>Nitrous oxide</u> (N ₂ O)	270 ppb	326 ppb / 324 ppb	56 ppb / 54 ppb	20.7% / 20.0%	0.17
<u>Tropospheric ozone</u> (O ₃)	237 ppb	337 ppb	100 ppb	42%	0.4

KYOTO PROTOCOL & PARIS AGREEMENT I

- **The Kyoto Protocol** (COP 3, Kyoto, 11.12.1997) implemented the objective of the **United Nations Framework Convention on Climate Change** (UNFCCC) to reduce the onset of global warming by reducing greenhouse gas concentrations in the atmosphere to "a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system". The Kyoto Protocol applied to seven greenhouse gases: **carbon dioxide (CO₂)**, **methane (CH₄)**, **nitrous oxide (N₂O)**, hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), **sulfur hexafluoride (SF₆)** and nitrogen trifluoride (NF₃). Nitrogen trifluoride was added for the second compliance period during the Doha Round in 2012. There were 192 parties to the Protocol in 2020, the end date of the protocol. On 8 December 2012, at the end of the **2012 United Nations Climate Change Conference** in Doha, an agreement was reached to extend the Protocol to 2020 and to set a date of 2015 for the development of a successor document, to be implemented from 2020. The next climate summit (COP 21) was held **in Paris in 2015**, out of which emerged the **Paris Agreement**, the successor to the Kyoto Protocol.

KYOTO PROTOCOL & PARIS AGREEMENT II

- The Paris Agreement's long-term temperature goal is to keep the rise in mean global temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels, and preferably limit the increase to 1.5 °C, recognizing that this would substantially reduce the impacts of climate change. Emissions should be reduced as soon as possible and reach net-zero by the middle of the 21st century. As of March 2021, 194 states and the European Union have signed the Agreement. The 2021 United Nations Climate Change Conference, also known as COP 26, is the 26th United Nations Climate Change conference. It was held in Glasgow, Scotland, United Kingdom, between 31 October and 12 November 2021. The conference was the 26th Conference of the Parties (COP) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the third meeting of the parties to the Paris Agreement. The postponed 27th Conference of the Parties (COP 27) was held in Sharm-el-Sheikh, Egypt from 6 November to 20 November 2022. COP 28 was held in Dubai, United Arab Emirates, from 30 November to 13 December 2023, COP 29 was held from November 11 – 22, 2024 in Baku, Azerbaijan and COP 30 was held in Bélem, Brazil from November 10 – 21, 2025. COP 31 will be held in Antalya, Turkey in 2026. [COP 1 was held in Berlin in 1995.]

Annual global greenhouse gas emissions in gigatonnes of carbon dioxide-equivalents

150 Gt

100 Gt

50 Gt

Greenhouse gas emissions
up to the present

0

No climate policies

4.1 – 4.8 °C

→ expected emissions in a baseline scenario
if countries had not implemented climate
reduction policies.

Current policies

2.7 – 3.1 °C

→ emissions with current climate policies in
place result in warming of 2.7 to 3.1°C by 2100.

Pledges & targets (2.4 °C)

→ emissions if all countries delivered on reduction
pledges result in warming of 2.4°C by 2100.

2°C pathways

1.5°C pathways

1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100

12. (Inter) Nationale Afspraken van Nederland

- **Internationale Klimaatdoelen 2030 en 2050:**

- In 2016 heeft de Europese Unie **mede namens Nederland** het Paris Agreement (Klimaatakkoord van Parijs) ondertekend. Doel van het akkoord is om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder 2 graden Celsius. Met een duidelijk zicht op 1,5 graden Celsius.

- Om de doelen van het Klimaatakkoord van Parijs te halen zijn afspraken in Europa gemaakt. De EU-lidstaten hebben met elkaar afgesproken dat de EU in 2030 minimaal 55% minder moet uitstoten. In 2050 wil de Europese Unie klimaatneutraal zijn. Dat betekent dat er dan netto geen broeikasgassen meer worden uitgestoten.

- **In het (oude) Coalitieakkoord 2021-2025 zijn de volgende afspraken gemaakt:**

- Om uiterlijk in 2050 klimaatneutraal te zijn, scherpt het kabinet het doel voor 2030 aan tot ten minste 55% CO₂-reductie. Om dit doel zeker te halen, richt het kabinet het beleid op 60% in 2030.

- Er komt een klimaat-en transitiefonds van €35 miljard voor de komende 10 jaar.

- Er komt een **minister voor Klimaat en Energie (thans Klimaat en Groene Groei)** die regie voert over het beleid en het klimaatfonds.

- Er komt een langjarig Nationaal Isolatieprogramma met commitment en middelen tot ten minste 2030.

- **De Nederlandse klimaatdoelen zijn vastgelegd in de nationale Klimaatwet:**

- Deze wet biedt een kader voor de ontwikkeling van beleid gericht op het onomkeerbaar en stapsgewijs terugdringen van de emissies van broeikasgassen in Nederland, tot een niveau dat 95% lager ligt in 2050 dan in 1990, teneinde wereldwijde opwarming van de aarde en de verandering van het klimaat te beperken.

- Teneinde deze doelstelling voor 2050 te bereiken streven Onze Ministers die het aangaat naar een reductie van de emissies van broeikasgassen van 49% in 2030 en een volledige CO₂-neutrale elektriciteitsproductie in 2050.

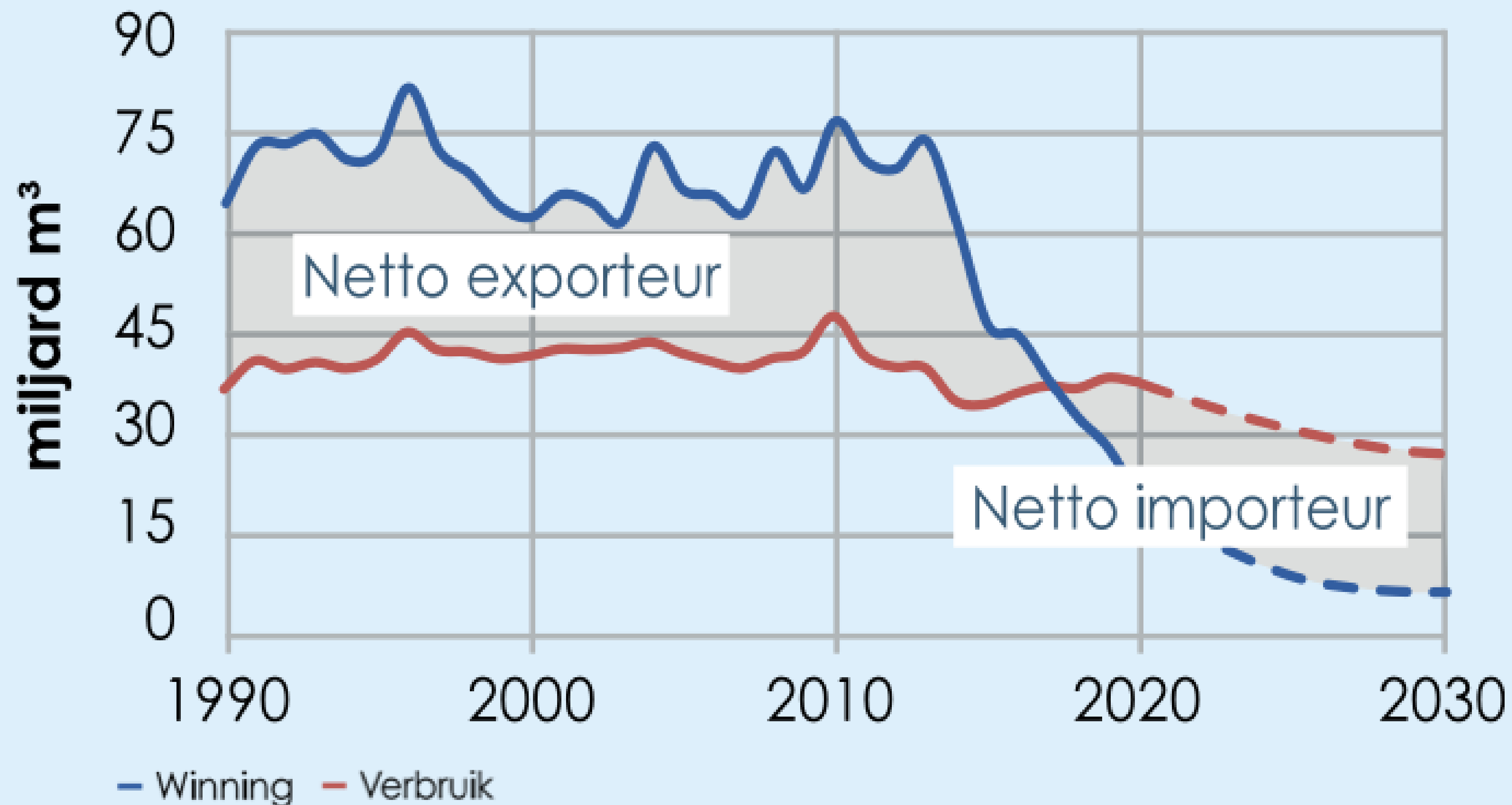
11. Van heden tot het midden van deze eeuw

12. (Inter)nationale afspraken door Nederland gemaakt

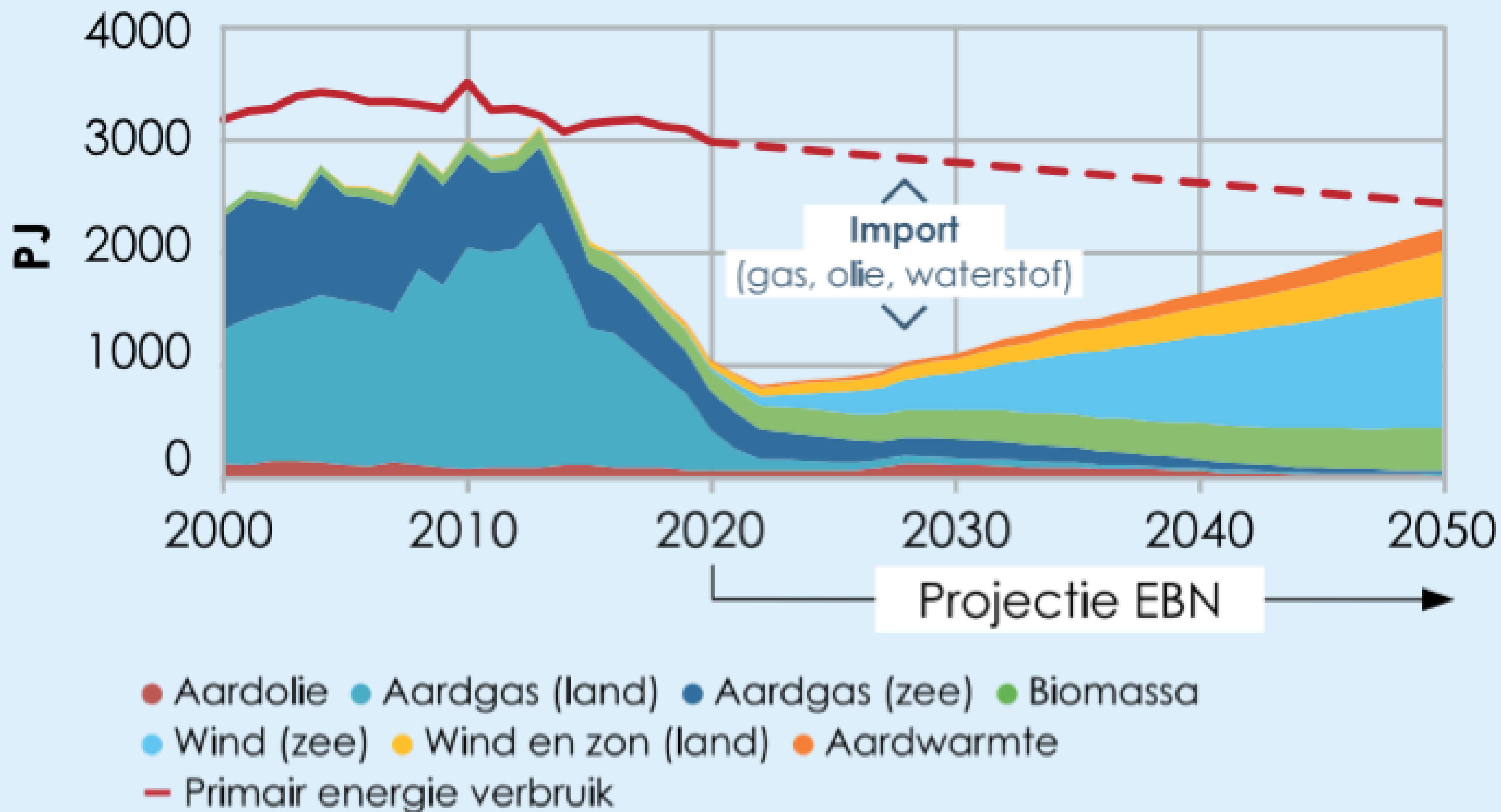
BINNENLANDSE ENERGIEPRODUCTIE: HOE ZELFVOORZIENEND IS NEDERLAND ?

- Tot 2018 produceerden we in Nederland het aardgas, de eerste grote bron van fossiele energie, dat we jaarlijks nodig hebben zelf en waren we netto exporteur. In dat jaar kwam door het terugdraaien van de gaswinning uit het Groningen aardgasveld de omslag: we werden netto importeur van gas. We zijn in korte tijd een stuk afhankelijker geworden van het buitenland. Op 1 oktober 2023 werd de aardgaswinning in Slochteren definitief beëindigd.
- Voor de tweede grote bron van fossiele energie, aardolie, gold altijd al dat we sterk van import afhankelijk zijn. In de komende decennia willen we zo snel mogelijk de fossiele bronnen gaan vervangen door duurzamere bronnen.
- Zelfs in een zeer ambitieus scenario voor de ontwikkeling van hernieuwbare binnenlandse bronnen duurt het even voor we net zoveel energie kunnen produceren als we vroeger met aardgas deden.
- We zullen dus de komende 20 jaar veel energie moeten importeren, in welke vorm dan ook.
- In maart 2025 produceerden we zelf in totaal uit alle velden nog 846 miljoen m³ aardgas terwijl we 2814 miljoen m³ aardgas verbruikten. De invoer uit Rusland bedroeg 255 miljoen m³ aardgas.
- Eind 2025 is in Europees verband besloten alle invoer van aardgas en aardolie uit Rusland in 2026 definitief af te bouwen.

De ontwikkeling van het aardgasverbruik en de aardgaswinning in Nederland. Bron: CBS, 2020



De energieproductie van Nederland van de afgelopen tien jaar en een prognose naar 2050 op basis van voorgenomen beleid vanaf 2020. Bron: EBN, 2021



TOTAAL BINNENLANDS GEBRUIK ENERGIEDRAGERS (2021)

- **Aardgas** 1256 PJ (41.53%)
- **Elektriciteit** 3 PJ (0.09%)
- **Hernieuwbaar** 341 PJ (11.29%)
 - Aardwarmte 6 PJ (1.82%)
 - Biomassa 212 PJ (62.17%)
 - Omgevingswarmte 16 PJ (4.66%)
 - Water 0 PJ (0.09%)
 - Wind 65 PJ (18.96%)
 - Zon 42 PJ (12.31%)
- **Kernenergie** 37 PJ (1.23%)
- **Kolen** 235 PJ (7.79%)
- **Olie** 1102 PJ (36.44%)
- **Overig** 50 PJ (1.64%)

TOTALE BINNENLANDSE PRODUCTIE ENERGIEDRAGERS (2021)

- **Aardgas** 649 PJ (57.71%)
- **Hernieuwbaar** 328 PJ (29.15%)
 - Aardwarmte 6 PJ (1.89%)
 - Biomassa 199 PJ (60.64%)
 - Omgevingswarmte 16 PJ (4.85%)
 - Water 0 PJ (0.09%)
 - Wind 65 PJ (19.73%)
 - Zon 42 PJ (12.8%)
- **Kernenergie** 37 PJ (3.31%)
- **Olie** 64 PJ (5.72%)
- **Overig** 46 PJ (4.11%)

WATERSTOF IS KLEURRIJK

Grijs = uit aardgas

Blauw = grijs met CO₂ - opslag

Zilverblauw = kraken van methaan

Bruin = uit biomassa

Goud = bruin met CO₂ - opslag

Zwart = uit kolenstroom

Paars = uit atoomstroom

Groen = uit hernieuwbare elektriciteit

Oranje = groen uit NL

Groen+ = uit overschotten hernieuwbare elektriciteit

N.B. Waterstof kan zonder noemenswaardig risico in het bestaande aardgasnet worden bijgemengd tot een gehalte van ongeveer 15 procent.

13. Kansen en risico's van gemaakte en te maken keuzes

14. De beste opties volgens KIVI-RBT

15. Samenvatting en conclusies

Diversiteit en redundantie van energiedragers dienen nooit uit het oog te worden verloren om leveringszekerheid onder alle omstandigheden te garanderen. Volledige elektrificatie of volledig overschakelen op waterstof brengt onbekende risico's die vermijdbaar zijn door nu al risicomijdende keuzes te maken.

De decarbonisatie zal nooit volledig kunnen zijn gezien de eisen van de procesindustrie. Opslagen (in welke vorm dan ook) van elektriciteit, waterstof en aardgas zijn noodzakelijk.

Een snel toenemende inzet van wind- en zonne-energie en aardwarmte wordt voorzien in Nederland. Het risico van geothermische wateronttrekking op grote schaal is niet bekend.

De inzet van biomassa in Nederland dient heroverwogen te worden.

13. Kansen en risico's van gemaakte en te maken keuzes

14. De beste opties volgens KIVI-RBT

15. Samenvatting en conclusies [vervolg]

De bouw van twee kernenergiecentrales (3 GW) vergroot de basislast capaciteit van het Nederlandse elektriciteitsnet met 30%. Op basis van de huidige wereldemissie van broeikasgassen zal rond 2030 de 1.5 °C grens van het Paris Agreement bereikt worden. Een voor de mens blijvend bewoonbare aarde stelt een bovengrens aan de opwarming van de aarde van ongeveer 4 tot 5 °C.

De meest effectieve manier om de Kyoto Protocol doelstellingen te bereiken is het stoppen van ontbossingen en het sterk beperken van de bevolkingsgroei van de wereld naast het recyclen van al het afval dat mens en machine produceren en het stimuleren van nieuwe aanplant wereldwijd.

Omdat alle modellen incompleet zijn, zijn alle voorspellingen onderhevig aan grote onzekerheidsmarges.

13. Kansen en risico's van gemaakte en te maken keuzes

14. De beste opties volgens KIVI-RBT

15. Samenvatting en conclusies [vervolg 2]

De energiedragerinzet in 2023 in Nederland:

Binnenlands verbruik: 2621 PJ Binnenlandse productie: 881 PJ

Waarvan:

Aardgas: 935 PJ (35.4%)

Hernieuwbaar: 378 PJ (14.3%)

Kernenergie: 39 PJ (1.5%)

Kolen: 158 PJ (6.0%)

Aardolie: 1089 PJ (41.2%)

Overig: 42 PJ (1.6%)

Waarvan:

Aardgas: 355 PJ (40.3%)

Hernieuwbaar: 405 PJ (46.0%)

Kernenergie: 39 PJ (4.4%)

Kolen: nihil

Aardolie: 44 PJ (5.0%)

Overig: 38 PJ (4.3%)

N.B. Deze percentages zijn op jaarbasis. Ten gevolge van seizoen-, weer- en klimaatverandering zijn fluctuaties gedurende elk kalenderjaar mogelijk. In 2025 is ruim 50% van de binnenlandse energieopwekking gebaseerd op hernieuwbare energiedragers.

13. Kansen en risico's van gemaakte en te maken keuzes

14. De beste opties volgens KIVI-RBT

15. Samenvatting en conclusies [vervolg 3 en slot]

De door KIVI-RBT voorgestelde risicomijdende energiedragerinzet in 2050 in Nederland:

- **20 – 60 % Totaal wind op zee + wind op land**
- **20 – 60 % Totaal zonne-energie**
- **10 – 20 % Totaal aardgas + waterstof**
- **10 – 20 % Totaal nucleair**
- **5 – 10 % Totaal uit opgeslagen energie (in welke vorm dan ook)**
- **2 – 5 % Totaal nieuwe energiedragers (ook geothermisch)**
- **1 – 5 % Totaal biomassa (in wezen niet CO₂ neutraal)**

N.B. Deze percentages zijn op jaarbasis. Ten gevolge van klimaatverandering zijn fluctuaties mogelijk binnen de vermelde grenzen. Het op te stellen generatievermogen (op jaarbasis, niet op etmaalbasis!) is hierbij (minimaal) de som der maxima.