CO2 opslag

**1**

De CO2 concentratie wordt gemeten in **ppmv** = **P**arts **P**er **M**illion **V**olume.

🡪delen CO2 per miljoen delen lucht

Van ppmv naar volumeprocenten = #ppmv/10000

In Vostok in Antartica doet men metingen voor de CO2 concentraties.

De golfbeweging van de grafiek ontstaat door seizoensfluctaties. Rond aug/okt is de CO2 concentratie minder dan rond apr/mei.

De gemiddelde CO2 concentratie neemt toe, waardoor de temperatuur op aarde stijgt(ook broeikaseffect) en deze wordt veroorzaakt de hogere hoeveelheid CO2 uitstoot door (vooral) verbranding van fossiele brandstoffen.

De mens is de hoofdoorzaak van de CO2 stijging sinds de industriële revolutie:

*De stijging van de CO2 concentratie in de atmosfeer:*
1. gaat gelijk op met het gebruik van fossiele brandstoffen.
2. gaat gepaard met een daling van het zuurstofgehalte in de atmosfeer.
3. gaat gepaard met een verandering in de isotopen samenstelling van  CO2.
4. ijlt op het Zuidelijk Halfrond na op die op het Noordelijk Halfrond.
5. leidt tot meer opslag van CO2 in oceanen en veroorzaakt verzuring.

1992 Rio de Janeiro : Klimaatverdrag van VN.

*‘het stabiliseren van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer op een zodanig niveau, dat een gevaarlijke menselijke invloed op het klimaat moet worden voorkomen.’*

🡪broeikasgassen moeten met 40-50% zijn afgenomen vergeleken met 1990.

1997 **Kyoto-protocol**: afspraken over het terugbrengen van de emissie van broeikasgassen.

-ten minste 55 landen moesten goedkeuren die samen in 1990 min. 55% van totale CO2 -emissie van alle industrielanden veroorzaakten.

-VS wou niet meewerken, Rusland uiteindelijk wel 🡪protocol van start.

-VS stoot nu 180 ton CO2 uit **per miljoen dollar BBP**.

VS heeft 4% van de wereldbevolking en zorgt voor 25% van totale CO2 uitstoot.

Bush wil de emissie van broeikasgassen reduceren door de totale emissie met 18% te laten dalen in 10 jaar. Dit is 18% t.o.v. de economische groei, dus als de Amerikaanse economie doorgroeit, groeit de totale CO2 emissie mee.

**BBP**: totaal van wat in een land wordt geproduceerd aan goederen en diensten.

BBP is belangrijke maatstaf voor economische presentaties van een land.

-reduceren broeikasgassen met gemm. 5,2% t.o.v. 1990 (CO2, CH4, N2O, HFK, PFK, SF6)

-2005: in 141 landen het Kyotoprotocol opgelegd.

Voor de EU reductie van totaal 8% en in NL 6%.

-elk land kiest welk equivalent(soort broeikasgas) het reduceert, in NL is dit 40 Mton

 🡪door reductie in NL en via handel in CO2 -emissierechten: bedrijven of landen zijn verplicht de extra verlaging te verkopen aan bedrijven of landen die meer moeite hebben.

CO2 reductie in Nederland:

* Grootschalig inzet duurzame energie
* Tegengaan energieverlies
* Afvangen van CO2 bij energieproductie 🡪langdurige opslag
* Fossiele brandstoffen ontkolen voordat ze verbrandt worden.

🡪 CO2 en H2 vrij 🡪 opslaan ondergrond.

**MISR proces:**

Binnenbuis: palladium houdend membraan die H2 doorlaat in dubbele buis

🡪evenwicht

Methaan + stoom 🡪 koolstofdioxide + waterstof

CH4 + H20 🡪 CO2  + 2 H2

In de binnenbuis wordt H2 naar de buitenbuis doorgelaten en door de druk wordt het CO2 in de binnenbuis vloeibaar. Je kunt dan de vloeibare CO2laten wegstromen waardoor je het mengsel hebt gescheiden.

H2 wat je overhoudt wordt gebruikt om bij te mengen met aardgas.

🡪Beïnvloeden Calorische waarde: energetische waarde of hoeveelheid energie er vrijkomt bij volledige verbranding van gas. Deze waarde geeft aan hoe snel een brandstof, een kilo water bij atmosfeerdruk van 14,5 naar 15,5 graden Celsius kan verwarmen. Dit wordt uitgedrukt in de hoeveelheid MJ (megajoule) per m3 (kubieke meter).

*Opslagmogelijkheden* CO2*:*

* Bovengrondse opslag: bebossing en landbouw(woestijnen)
* Ondergrondse opslag: in gas- en olievelden, steenkoollagen, aquifers.
* Opslag in water: in oceaanbodem, algen

Wereldwijde CO2 opname door planten neemt af door grootschalige houtkap in tropische regenwoud.

**2**

**Fossiele brandstoffen**: energiebronnen die in het verleden gevormd werden zoals turf, bruinkool, steenkool, aardolie en aardgas en zijn afkomstig van oude planten- en dierenresten.

**Fotosynthese**🡪 C-atomen in organische verbindingen in planten🡪 voedselketens🡪 dieren🡪 organismen in bodem gekomen🡪 miljoenen jaren🡪 aardolie, aardgas, steenkool.

CO2 die vrijkomt uit verbranding fossiele brandstoffen hangt af van zuurgraaf of pH.

*CO2 in water:*

CO2 + H2O ↔ H2CO3 (koolzuur)

H2CO3 ↔ H+ + HCO3-

Kz = [H+][HCO3-] = [H+]2

 [H2CO3] [CO2]

Verwering kalk- en silicaatgesteente neemt (door water) CO2 uit atmosfeer op. 🡪gevormde koolzuur lost op in water tot CO2 en H2O.

*kalkgesteente*

Ca2+CO32- + CO2 + H2O 🡪 Ca2+ + 2HCO3-

*Mineralen zoals silicaten*

Ca2+SiO32- + H2O + CO2 🡪 Ca2+ + 2HCO3- + SiO2

*CO2 gevormd bij pH daling of stijging T*

Ca2+ + 2HCO3- 🡪 Ca2+CO32- + CO2 + H2O

CO2 wordt ook gevormd door kleine kalkalgen die sterven en kalksedimenten vormen en koralen die uit calciumcarbonaat koraal opbouwen. Boven koraalriffen is CO2-concentratie hoger dan op andere plaatsen in de oceaan.

**Fotosynthese**: omzetten van CO2 en water in koolhydraten en zuurstof door planten onder invloed van licht.

**Chlorofyl**: groene pigment uit de bladeren die de stralingsenergie (licht) absorbeert.

Per jaar wordt 120 Gt C in organische stoffen vastgelegd en 116 Gt C komt vrij door rotting en verbranding.

Gt = Gigaton

Het **gat in de koolstofcyclus** komt doordat op bepaalde plaatsen op het vasteland van het noordelijk halfrond buiten verwachting CO2 wordt omgezet.

Dichtheid van CO2> dichtheid lucht, dus CO2 zal dalen in open lucht. Hier merk je niet veel van, want CO2 wordt opgenomen door planten en bomen.

Algemene gaswet:

**pV = nRT**

druk\*Volume = hoeveelheid mol stof \* gasconstante(=8,31 Jmol-1K-1)\*T (K)

Luchtdruk is de som van de **partiële drukken**: drukken van afzonderlijke gassen waaruit lucht bestaat.

*Droge lucht:*

-stikstof N2

-zuurstof O2

-Argon Ar

-Koolstofdioxide CO2

**Kritieke temperatuur**: de stof is boven deze temperatuur niet meer vloeibaar te maken🡪 gas.

Onder kritieke temperatuur: de stof is bij samenpersen wel vloeibaar te maken

🡪 damp.

CO2 is bij kamertemperatuur vloeibaar te maken, want de Tc > Tkamer

**Superkritische toestand**: stof krijgt zowel gas- als vloeistofeigenschappen. Dichtbij (Tc,pc) zijn de dichtheden van gas en vloeistof even groot.

**Verzadigingsdruk**: de damp in de afgesloten cilinder is verzadigd en de dampdruk heeft een vaste waarde. Er verdwijnen evenveel dampmoleculen door condensatie als er bij komen door verdamping van de vloeistof.

🡪**alleen** afhankelijk van temperatuur.

Alle vloeistof verdampt voordat kritieke temperatuur Tc bereikt is🡪 verdere temperatuurstijging🡪 damp niet meer verzadigd

Voldoende vloeistof🡪 Tc bereikt🡪 onderscheid vloeistof en damp verdwijnt🡪 superkritische toestand.

Vloeistof en verzadigde damp onder beweegbare zuiger.

Vaste temperatuur🡪 zuiger naar beneden laten bewegen🡪 waterdamp condenseren🡪 evenwicht.

De verzadigingsdamp blijft hierbij gelijk.

Bewegen zuiger naar beneden🡪alle waterdamp gecondenseerd🡪 de zuiger het wateropp. raken.

Zuiger naar boven🡪 vloeistof verdampt meer🡪 damp blijft verzadigd🡪 vloeistof op🡪 dichtheid p = dichtheid verzadigde damp.

Bij hogere temperatuur, verzadingsdruk & dampdichtheid neemt toe en dichtheid van de vloeistof zal door uitzetting minder worden.

Bij de kritieke temperatuur komen de 2 lijnen in de diagram bij elkaar=superkr. toest.

🡪dichtheid damp = dichtheid vloeistof.

De luchtdruk wordt veroorzaakt door de gassen die drukken boven op ons, omdat de Fz van de aarde ze aantrekt.

Diep onder water of onder de grond is de druk veel groter dan de luchtdruk aan het aardoppervlak, door het gewicht van bovenliggende massa’s. CO2 is dan vloeibaar in de oceaan en superkritisch in onderaardse olie- en gasvelden.

De fase van CO2 hangt af van druk en temperatuur.

Vast CO2 = **koolzuursneeuw/droogijs.**

Bij verwarming: **sublimeren**: de stof gaat direct over van de vaste fase in de dampfase zonder eerst vloeibaar te worden.

Bij hogere temperaturen neem de oplosbaarheid van CO2 in water af. Als de gemiddelde temperatuur op aarde toeneemt, komt er meer CO2 uit water in de lucht🡪 broeikaseffect toenemen🡪 temperatuur meer stijgen etc.. (positieve terugkoppeling)

**3**

**‘Gewone’ broeikaseffect**: ontstaat door aanwezigheid van broeikasgassen in de atmosfeer die ervoor zorgen dat de temperatuur van het aardoppervlak hoger ligt dan wat van de combinatie van warmte-instraling van de zon en interne aardwarmte verwacht kan worden.

Zonder broeikaseffect zou de temp -18°C zijn. Door het broeikaseffect is de temperatuur gemiddeld 15°C.

*De aarde wordt opgewarmd door:*

* Straling van zon die niet indirect wordt teruggekaatst
* Aardwarmte

*Aarde koelt af door:*

* Uitstraling

*Opwarming door zonlicht en afname van warmte door uitstraling afhankelijk van:*

* **Albedo-effect**: ijs en sneeuw verminderen hoeveelheid geabsorbeerde zonnestraling door weerkaatsing ervan
* Lage en hoge wolken: kaatsen zonlicht terug, verhinderen uitstraling
* Aërosolen: weerkaatsen zichtbaar licht, verminderen zo de opwarming door de zon en laten wolken ontstaan.

De inkomende straling van de zon bestaat grotendeels uit zichtbaar licht dat door kleinere golflengte een grotere energie-inhoud heeft dan de uitstraling.

Uitstraling van aardopp. bestaat vooral **uit infrarode straling**= **thermisch infrarood**: grotere golflengte dan de nabije infrarood dat vlakbij het rode zichtbare licht ligt.

**Versterkend broeikaseffect**: broeikasgassen absorberen nauwelijks straling, maar absorberen vooral door het aardopp. uitgestraalde infrarode straling en kaatsen deze terug.

Broeikaseffect vooral veroorzaakt door:

* **Koolstofdioxide**: energieopwekking
* **Methaan CH4**: landbouw, veeteelt, winning en distributie van aardgas.
* **Distikstofoxide N2O(lachgas)**: verbranding fossiele brandstof, gebruik mest, productie salpeterzuur.
* **Fluorverbindingen**: HKF, PFK, SF6 als vervangers van Cfk’s: komen vrij bij reiniging elektronica en productie isolatieschuim, koelvloeistoffen, airco’s, brandblusapparatuur.
* **Waterdamp**: waterdamp sterker broeikasgas dan CO2 maar watermoleculen blijven ca. week in de atmosfeer en CO2 ca. 100 jaar. Waterdamp condenseert snel waardoor het langer in de atmosfeer blijft en de invloed groter wordt.

Vergeleken met vroeger, is er meer CO2 op niet natuurlijke wijze vrijgemaakt, zijn meer vluchtige organische stoffen in de lucht gekomen en is de hoeveelheid ozon in de onderste 10 km atmosfeer(troposfeer) verdubbeld.

Broeikasgassen absorberen allemaal infrarode straling, waardoor warmte terug wordt gekaatst en vastgehouden wordt in de atmosfeer.

*Broeikaseffect door:*

* Automotoren: rijden steeds schoner, maar steeds meer auto’s.
* Luchtvaart: veel energie
* Landbouw en veeteelt: methaan uit dierlijk mest.
* Huishoudens en bedrijven: verbruik energie
* Afvalsector: afbreken organisch afval🡪 methaan

Een molecuul methaan absorbeert veel meer warmte dan een molecuul CO2.

**CO2-equivalent**: 1 kg stof heeft even groot opwarmend vermogen als # kg CO2(gemeten over 100 jaar).

|  |  |
| --- | --- |
| Broeikasgas | CO2-equivalent |
| CO2 | 1 |
| CH4 | 23 |
| N2O | 296 |
| HFK’s (fluorkoolwaterstoffen) | 150- 12 000 |
| PFK’s (vooral CF4 en C2F6) | 5 700 – 11 900 |
| SF6 | 22 200 |

**4**

Per jaar wordt 90 Petagram C tussen de oceaan en de atmosfeer uitgewisseld.

De tropische wateren zijn oververzadigd met CO2 vergeleken met de lucht. Diepe stromen komen aan het opp. en geven bij de evenaar die 90 Petagram C af. De polaire wateren koelen in de winter erg af (-1°C of lager), raken onderverzadigd vergeleken met de lucht en nemen jaarlijks 90 Pg koolstof op.

Petagram = 1015 gram

*Organismen zorgen voor* CO2 *wisselingen:*

* **Fotosynthese**: C vastgelegd in organische bindingen
* Ademhaling(**dissimilatie**)
* Afbraak dode organismen: C weer vrij als CO2.

**Koolstofkringloop**: alle stromen samen die lang in evenwicht is geweest. Sinds de industriële revolutie heeft de mens teveel CO2 geproduceerd waardoor de evenwichten in een ander punt komen te liggen en de hoeveelheid CO2 in de lucht toeneemt.

**Terrestrisch**: CO2 kringloop op het landgedeelte.

**Marien**: CO2 kringloop in het oceaangedeelte.

**5**

Stijgen door de CO2 concentratie door zonneactiviteit.

**Zonneactiviteit**: activiteit van de zon beïnvloed de hoeveelheid kosmische straling die de aarde bereikt. Deze straling bevordert de aardse atmosfeer wolkvorming🡪 zonnestraling gereflecteerd🡪 aarde warmt minder op🡪 temperatuur veranderd.

**Kosmische straling**: ontstaat in de kosmos als sterren aan het eind van hun leven als supernova met een enorme knal uiteenspatten. Er komt elektromagnetische straling(gamma-fotonen) en hoogenergetische geladen deeltjes(protonen en He-kernen) vrij.

*Niet alle kosmische straling richting de aarde door:*

* **Magnetische veld van aarde**: afbuigende kracht van geladen kosmische deeltjes. Bij de polen is de invloed van de kosmische straling groter dan bij de evenaar.
* **Dampkring**: effectieve afscherming. Alleen meest energierijke deeltjes(muonen) tot het aardopp. muonen: zware elektronen die ontstaat uit botsingen van kosmische deeltjes in de bovenste lagen van de dampkring.
* **Zonnewind**: stroom geladen deeltjes uitgestoten door de zon. Deze vormt een schild tegen kosmische straling om ons zonnestelsel heen.

De sterkte van zonnewind varieert periodiek met de zonneactiviteit en is er doordat er periodiek meer of minder kosmische straling de aarde bereikt.

Zonneactiviteit gekoppeld aan zonnevlekkencyclus: periode van ong. 11 jaar.

**Zonnevlekken**: donkere vlekken op het zonsoppervlak die minder heet zijn dan hun omgeving. Lokale magneetvelden zijn hierbij belangrijk.

In **zonnevlekkencyclus** neemt aantal zonnevlekken eerst toe en dan af. tijdens zonnevlekkenminimum soms geen zonnevlekken.

Als er veel zonnevlekken zijn dan is de zonneactiviteit hoog🡪 direct effect temperatuur op aarde.

*Indirecte effect van zonneactiviteit*

**Zonnewind**: geladen deeltjes die de zon uitzendt als er hoge zonneactiviteit is.

**Heliosfee**r: door de zonnewind veroorzaakt, gebied van elektronen, atoomkernen en bijbehorend magnetische velden die zich als een schild om het zonnestelsel bevindt.

Als de kosmische straling hoog is, dan is de zonneactiviteit laag.

**7**

Benzine is een mengsel maar is te noteren als C8H18.

**Superbenzine**: 2,2,4-trimethylpentaan (C8H18)

Volledige verbranding van benzine:

2 C8H18 + 25 O2 🡪 16CO2 + 18 H2O

*Voornaamste schadelijke en milieuvervuilende stoffen die ontstaan bij verbranding van benzine:*

* **Koolmonoxide** (CO)
* **Stikstofoxiden**(NOx)

Stikstofmonoxide NO bij hoge verbrandingstemperaturen en stikstofdioxide NO2 prikkelt ademhalingsorganen. Dragen bij aan de vorming van smog en zure regen en ze veroorzaken irritaties bij de menselijke slijmvliezen.

* **Koolwaterstoffen**(CnHm): enkele prikkelend en kankerverwekkend.

In dieselmotoren:

* **Zwaveldioxide** SO2
* **Zwaveltrioxide** SO3

Deze stoffen ontstaan minder in benzine motoren omdat benzine een laag zwavelgehalte heeft.

**Katalysator**: de hoeveelheid schadelijke verbrandingsproducten in een auto worden verminderd met ca. 90%. Koolstofmonoxide en koolwaterstoffen worden omgezet in onschadelijke verbindingen CO2 en H2O.

2CO + O2 🡪 2CO2

4 CmHm + (4n+m) O2 🡪 4n CO2 + 2m H2O

Stikstofoxiden NOx gereduceerd tot stikstof N2.

2 NO + 2 CO 🡪 2 CO2 + N2

Voor verbranding van 1 kg benzine volledig te verbranden is 14 kg lucht(ca. 11 m3) nodig.

**Katalysatoren**: stoffen die bepaalde chemische reacties sneller kunnen laten verlopen zonder dat ze daarbij zelf veranderen. Ze doen dit door de activeringsenergie te verlagen die nodig is om een reactie te laten verlopen. Afhankelijk van hun werking, kun je een onderscheid maken tussen “homogene” en “heterogene” katalysatoren.

**Luchtovermaat**=**lambdagetal** = hoeveelheid lucht die theoretisch voor de verbranding nodig is.

λ= werkelijke lucht/ brandstof verhouding\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 stoechiometrische lucht/ brandstofverhouding

λ = 1: hoeveelheid lucht toegevoerd waarbij verbranding optimaal is.

0,9<λ<1 : verbrandingsmotor levert hoogste vermogen.

**Lambdasone**: hoeveelheid zuurstof in uitlaatgassen gemeten en bepaalde verhouding toegevoerde lucht/brandstof aangepast.

*Tijdens APK keuring* ***viergasmeting****:*

* CO ( % van totale V): CO komt van onvolledige verbranding.
* CO2 (%van totale V): resultaat van volledige verbranding.
* CmHn(ppm): giftige onverbrande mengseldelen.
* O2(% van totale V): nodig om verbranding te starten en gaande te houden.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Merk | Type | # gram CO2 per km |  |
| [**Toyota Yaris 1.5 Full Hybrid**](http://www.anwb.nl/auto/tests/autotests/autotest/TOYOTA/YARIS/1576) | benzineauto | 79  | 1:28,6 |
| [**Hyundai i20 1.1 CRDi**](http://www.anwb.nl/auto/tests/autotests/autotest/HYUNDAI/I20/1565) | dieselauto | 84 | 1:31,3 |
| BMW 3-touring (5-deurs) 320i  | benzine | 149 | 8,7L / 100 km |
| BMW 3-touring (5-deurs) 316d  | diesel | 119 | 5,8 L/ 100 km |
| **Ferrari F12berlinetta**  | Benzine | 350 | 15L/100 km |
| **Lamborghini Aventador LP 700-4** | benzine | 398 | 27.3 l/100 km |
| **Nissan Leaf** | Elektriciteit | 0 | - |
| **Toyota prius** | Elektriciteit | 49 | 1000 km |

**Fluor-Daniel-systeem**: een systeem die CO2 uit een gasmengsel verwijdert.

Men gebruikt als absorbens het amine MEA, **ethanolamine**.

HO-CH2-CH2-NH2 + CO2 + H2O 🡪 HO-CH2-CH2-NH3+ + HCO3-

Er wordt een H+ afgegeven aan de ethanolamine en aan het CO2 van de H2O.

🡪zuur-base reactie.

**9**

**Steenkool** = **kaustobioliet**: steen die uit oorspronkelijk levend materiaal is gevormd en die je kunt verbranden.

*Ontstaan steenkool:*

1)resten afgestorven planten in moerassig gebied hoopt zich onder water op. In het zuurstofarme water kan geen afbraak plaatsvinden.

2)ontstaan **veenlaag**: dikke laag plantaardige resten

3)steeds nieuwe laag sedimenten bovenop

4)in miljoenen jaren stijgt druk en temperatuur in de veenlaag

 🡪steeds meer gassen en water eruit geperst

5)chemische samenstelling en structuur van verbindingen veranderd.

 **inkoling**: veenlaag in turf🡪bruinkool🡪 steenkool

hoe langer inkoling plaatsvindt, hoe hoger het C-gehalte in het overblijvende product wordt.

Hoeveel gas geproduceerd wordt hangt af van de temperatuur en de druk bij de inkoling.

Hoe hoger het C-gehalte, hoe meer energie er vrijkomt bij verbranding.

🡪betere brandstof.

**Enhanced Coalbed Methane process**: CO2 wordt opgeslagen in steenkoollagen in de bodem en methaan CH4 wordt gewonnen.

🡪CO2 wordt geïnjecteerd in steenkoollagen in de bodem.

CO2 hecht zich aan steenkool(**adsorptie**) en maakt zuiver methaan vrij.

Methaan is belangrijkste bestanddeel van aardgas.

Als CO2 door de steenkoollaag wordt geperst, verdringt het CH4 die aan de steenkool is gebonden, want CO2 heeft een sterkere binding met de C-deeltjes.

Verbranding van methaan:

CH4 + 2 O2 🡪 CO2 + 2 H2O

Maar bij gelijke druk en temperatuur absorbeert steenkool ca. 2 keer zoveel CO2 als CH4.

Opslag CO2 in steenkoollagen is voordelig omdat het CO2 dan zijn gasvorm verliest als het absorbeert, waardoor het afdekken van de toplaag voor het weglekken van gas niet nodig is.

**11**

Opslaan CO2 in niet interessante **gasvelden**: poreuze steenlagen die onder een dikke, buigzame en goed afsluitende laag steenzout liggen.

Hierdoor wordt bodemdaling door winnen van aardgas tegengegaan. De druk van het opgesloten CO2 = druk eerder opgesloten aardgas.

Er kan toch bodemdaling optreden doordat kalk oplost in CO2 houdend water in een kalkhoudende en waterrijke omgeving. Dit is echter heel duur.

*Aardgasverwerking:*

- Aardgasgestookte energiecentrales: verbranden gewonnen aardgas en pompen ontstane CO2 terug de grond in.

- omzetten van aardgas in CO2 ne H2.

De CO2 opslag drukt de aardgas uit de bodem.

🡪**drijfgas**: CO2

De vermenging van aardgas en CO2 moet worden voorkomen.

Doordat de aardvelden de aardgas duizenden jaren hebben vastgehouden, zijn de wanden gasdicht en kan er CO2 worden opgeslagen.

**CATO-project**(CO2-Afvang, Transport, Opslag): onderzoeken wat de fysische-chemische interactie zal zijn tussen de opgeslagen CO2 en reservoirgesteente.

De injectie van CO2 in olievelden is vergelijkbaar met die in aardgasvelden. Door injectie van CO2 wordt de olieproductie verhoogd. De menging van CO2 met ruwe olie vermindert de stugheid van olie🡪olie mobieler🡪 makkelijker produceerbaar.

**Aquifers**: zoutwaterhoudende lagen die diep onder het aardoppervlak liggen.

De zoutwaterhoudende lagen worden gevormd door zout water in de poriën van gesteentelagen.

CO2 in aquifers🡪 gedeeltelijk oplossen in zoute water

**Fixatie**: gedeelte van CO2 in aquifers reageert met silicaat en er ontstaan carbonaten en bicarbonaten die miljoenen jaren vastzitten.

Aquifer afgedekt door kleipakket dat ondoorlaatbaar is voor gassen🡪 CO2 in die laag. De opslagmogelijkheden in aquifers is veel groter dan die in gas- en olievelden.

**12**

**Zonnewind**: zon produceert continu een stroom van elektrische geladen deeltjes.

Actieve zon produceert korte explosies van energie waarbij extra veel geladen deeltjes vrijkomen in een bepaalde richting.

**Poollicht**: veroorzaakt door de extra geladen deeltjes die de aardse atmosfeer indringen 🡪 botsen met stikstof- en zuurstofmoleculen🡪 atomen in aangeslagen toestand🡪 atomen terugvallen naar grondtoestand🡪 poollicht.

De kans op poollicht is groter in jaren met veel zonneactiviteit.

De zon is een dynamisch geheel met een ingewikkeld patroon van continu bewegende magnetische veldlijnen. Door verstoringen in dit patroon ontstaan uitbarstingen waarbij energie en geladen deeltjes in het heelal komen.

Deze materie richting de aarde kan zorgen voor:

-noorderlicht

-elektriciteitscentrales en radiozenders tijdelijk uitvallen

-satelliet verstoord door zonnewind

Uitbarstingen op de zon zijn niet te voorspellen.

**Ompolen**: gemm. om de 11 jaar wisselen de magnetische polen van de zon van plaats, kort na een zonnevlekkenminimum.