

Data analyse

April 2023

CO2-emissie voorspellers, CO2 vooruitgang en niet-fossiele energietechnologie

(I) CO2-emissie: voorspellers

Probleembeschrijving

De te beantwoorden vraag binnen deze analyse is: wat is de grootste voorspeller van een grote CO2-emissie per hoofd van de bevolking van een land? Hierbij kunnen we denken aan de invloed van het BNP (eng: GDP) per hoofd van de bevolking, de vleesconsumptie (en andere voedsel categorieën), populatiegrootte, energiebronnen en transport. Deze mogelijke voorspellers nemen we als uitgangspunt in onze analyse.

Data en aanpak

Op de website <https://ourworldindata.org/> is (onderzoeks)data te vinden rondom o.a. deze problematiek. De hier verzamelde data gaat over meerdere jaren heen (historische data) en omvat data van de meeste landen van de wereld. Dit zorgt ervoor dat we ons een goed beeld kunnen vormen van de verschillen in CO2-emissie over het algemeen en per land.

De bron van de belangrijkste dataset binnen deze analyse, van deze website, is 'CO2 and Greenhouse Gas Emissions'. Hierin staat data, wereldwijd verzameld vanaf 1850. De data omvat per land, per jaar, CO2 emissies en deze ook opgesplitst in de bron ervan (kolen, gas, olie, cement etc.). Ook is data aanwezig rondom BNP en populatiegrootte.

Verder bekijken we de bron 'Diet compositions', waarin per land, per jaar wordt aangegeven hoeveel kilocalorie per voedselcategorie er wordt gegeten. Deze kan tegen de CO2 lijst gezet worden om te kijken of hier een verband is te vinden. We concentreren ons eerst op de vleesconsumptie, omdat die generiek bekend staat als categorie met hoogste CO2 emissie. Daarna bekijken we ook de overige categorieën.

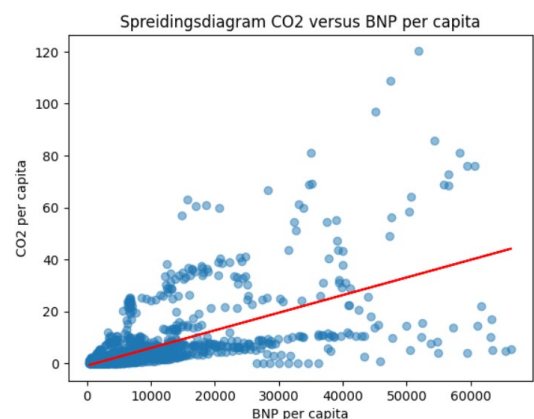
Met de data uit de bron 'Energy', kunnen we zien welke energiebron waarvoor gebruikt wordt. Ook deze dataset is uitgezet per land en jaar. Verder nemen we uit de bron 'Transport – CO2 emissions by mode of transport' ook de dataset over, om te kijken naar hoe deze sector invloed kan hebben op de CO2 emissie.

We gaan per voorspeller d.m.v. correlatiecoëfficiënten, spreidingsdiagrammen en vergelijkende lijngrafiekken, bekijken of er een mogelijke relatie is met de CO2 emissie. Bij het berekenen van correlatiecoëfficiënten verwijderen we de data zonder waarden voor de betreffende variabelen (NaN). Een enkele, extreme uitschieter wordt ook verwijderd bij het maken van een spreidingsdiagram.

Resultaat van analyse per mogelijke voorspeller

BNP (bruto nationaal product)

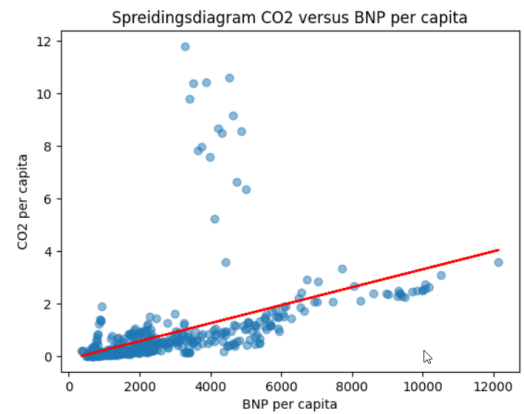
Allereerst is gekeken naar de BNP per hoofd van de bevolking t.o.v. de CO2. Niet alle data in de dataset is geschikt. Waar de CO2 waarde per capita NaN of 0.0 was, bleek ook de rest van de data niet gevuld te zijn. Deze waarden zijn verwijderd uit de dataset. Voor deze analyse zijn ook de waarden waar voor de GDP (ned: BNP) een NaN waarde stond, niet meegenomen.



Figuur 1: spreidingsdiagram CO2 tov BNP

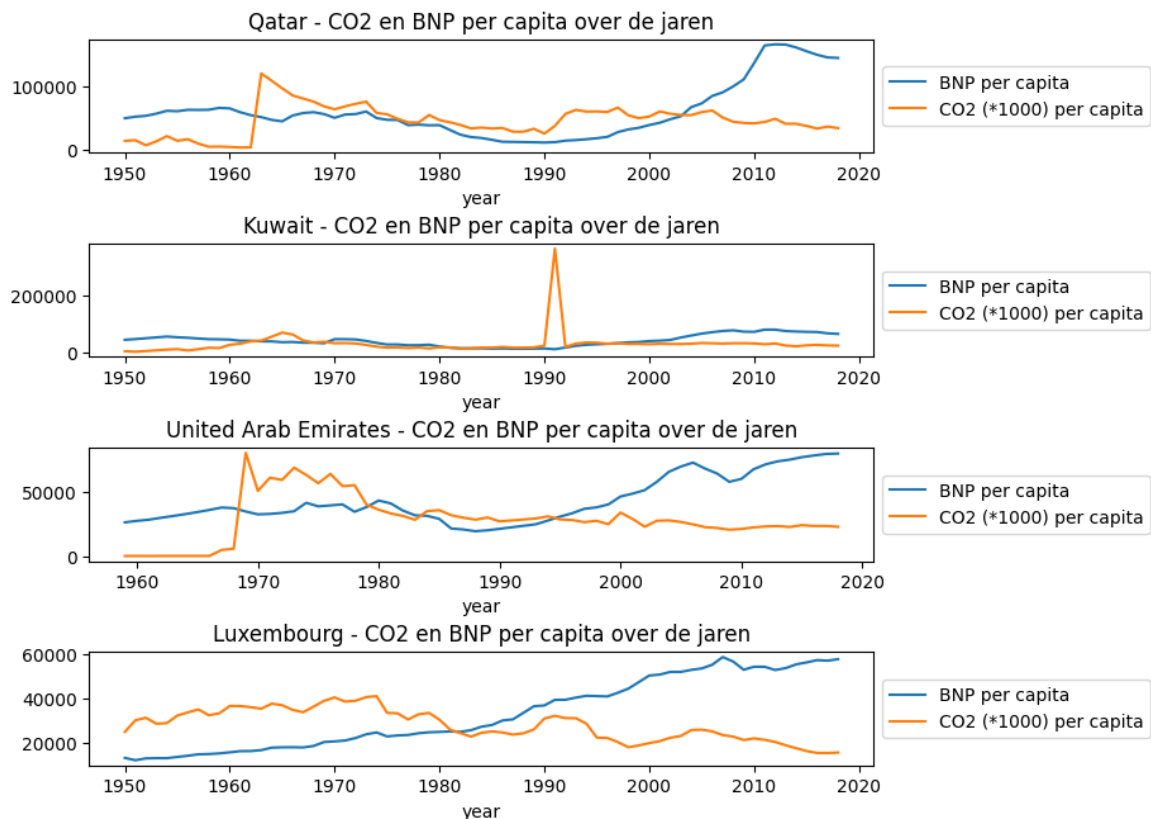
Een eerste analyse, waarin ik in een spreidingsdiagram (Figuur 1) alle BNP waarden per capita tegenover alle CO2 waarden heb gezet, levert geen eenduidig beeld. De lineaire regressielijn zorgt voor te hoge varianties om van een duidelijke relatie te spreken. De outliers (extreme waarden) die in de dataset voorkomen heb ik voor dit diagram eruit gefilterd.

Als ik inzoom op de kleinere BNP's (totaal $\leq 1.0e+9$), valt misschien een mogelijke lineaire regressielijn te zien (Figuur 2). Maar omdat dit alleen voorkomt bij de lagere BNP's is extra analyse nodig.



Figuur 2: spreidingsdiagram CO2 tov BNP (lagere BNP waarden)

Als ik voor de 10 landen met de hoogst gemiddelde co2 emissies, de BNP per capita en de CO2 per capita tegen elkaar uit teken (waarin ik $CO_2 \cdot 1000$ heb gedaan om de trend in de grafiek inzichtelijk te maken), dan zie je geen verband ontstaan. De top 4 landen laten dit ook al duidelijk zien in Figuur 3.



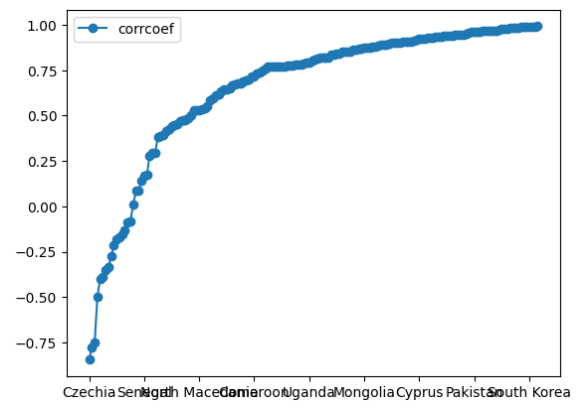
Figuur 3: co2 per capita tov gdp per capita

Als we dan ook de correlatie coëfficiënt berekenen tussen deze waarden, dan is deze over alle data genomen: 0.6018162. Dit is redelijk. Maar als we de correlatie coëfficiënten per land bekijken (alleen de landen met meer dan 25 datapunten voor een betrouwbare uitkomst), levert dit in grafiekvorm Figuur 4 op. Een hele wijde spreiding dus, van bijna -1 tot bijna +1.

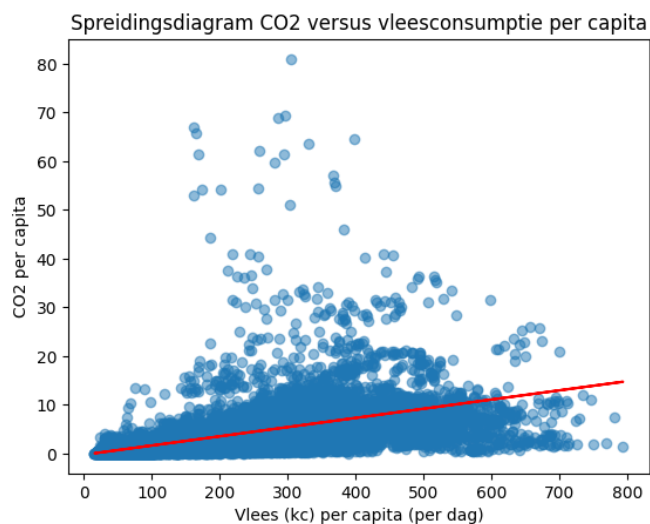
Een duidelijk verband tussen de BNP per capita en de CO2 per capita is dan ook vooralsnog niet aangetoond.

Vlees (en andere voedselcategorieën)

Nadat de data vanuit de Diet compositions' dataset is gekoppeld aan de 'CO2 and Greenhouse Gas Emissions' dataset op basis van land en jaar, zetten we de datapunten betreffende vlees en co2 in een spreidingsdiagram.



Figuur 4: correlatiecoëfficiënten per land



Figuur 5: spreidingsdiagram CO2 versus vleesconsumptie

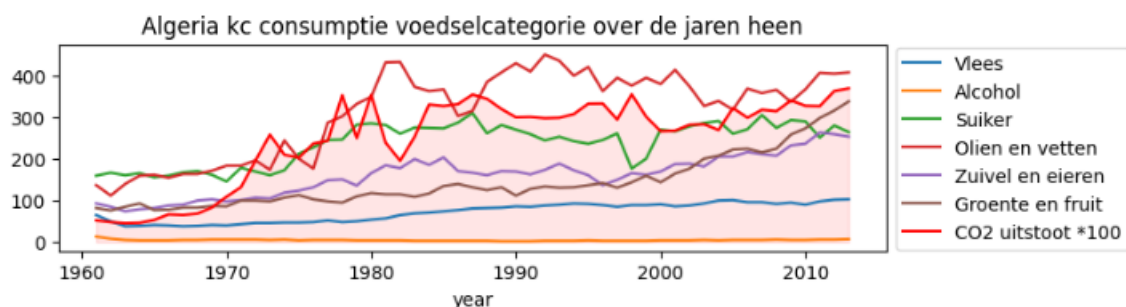
Het spreidingsdiagram in Figuur 5 laat nog geen hele duidelijke relatie zien. Als we het correlatiecoëfficiënt berekenen, krijgen we de waarde: 0.40897028.

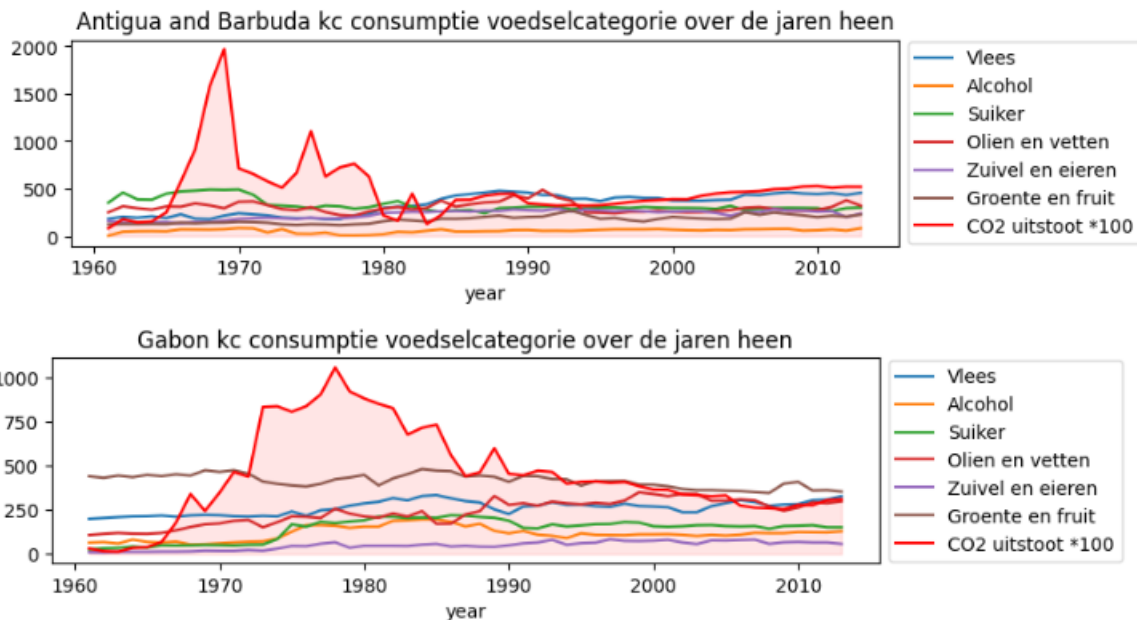
Het spreidingsdiagram en de correlatiecoëfficiënt geven geen aanleiding tot verdere analyse of hoge/lage vleesconsumptie een belangrijke CO2-emissie voorspeller is.

Omdat ook zuivel en eieren een voedselcategorie is die te maken heeft met veehouderij (een categorie waarvan gedacht wordt een hoge CO2 emissie te veroorzaken), heb ik de dataset gebruikt om ook hier een correlatiecoëfficiënt te berekenen. Maar met een 0.41474171 waarde is ook deze categorie uitgesloten

om een grote voorspeller te zijn voor de CO2-emissie per hoofd van de bevolking in een land.

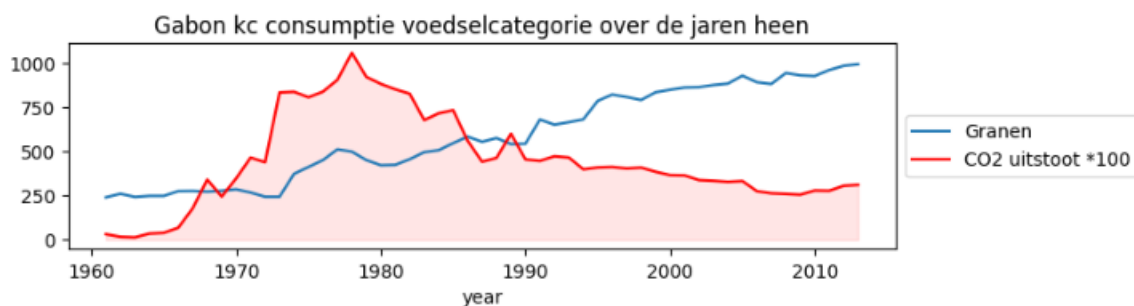
Als laatste hebben we de overige voedselcategorieën (consumptie p.p. in kc) in een grafiek gezet met ook de CO2 emissies voor verschillende landen over de jaren heen. Voor deze grafiek hebben we in eerste instantie 'graan' buiten beschouwing gelaten, omdat deze voedselcategorie een zoveel hogere consumptie had dan de rest, dat de grafiek niet meer leesbaar was voor de andere categorieën. De CO2 emissies per capita hebben we *100 gedaan om de loop ervan goed inzichtelijk te krijgen in de grafiek. In Figuur 6 zie je de grafieken van 3 willekeurige landen. Je kunt goed zien dat het verloop van de CO2 emissie, geheel verschilt van alle getekende voedselconsumpties.





Figuur 6: voedselconsumptie en CO2 emissie door de jaren

Ook voor de voedselcategorie 'Granen' zijn deze grafieken gemaakt. Ook hier is geen verband te ontdekken. Als voorbeeld nemen we Gabon in Figuur 7.

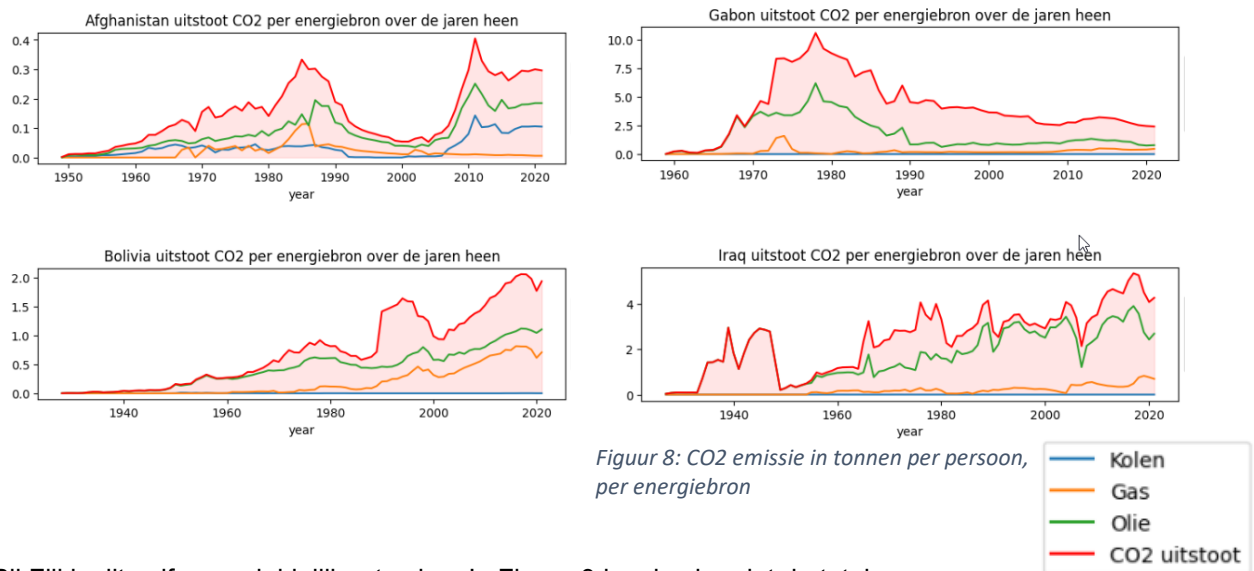


Figuur 7: Granen consumptie en CO2 emissie door de jaren

Een duidelijk verband tussen voedselconsumptie (ongeacht welke categorie) per capita en de CO2 per capita kan niet worden aangetoond.

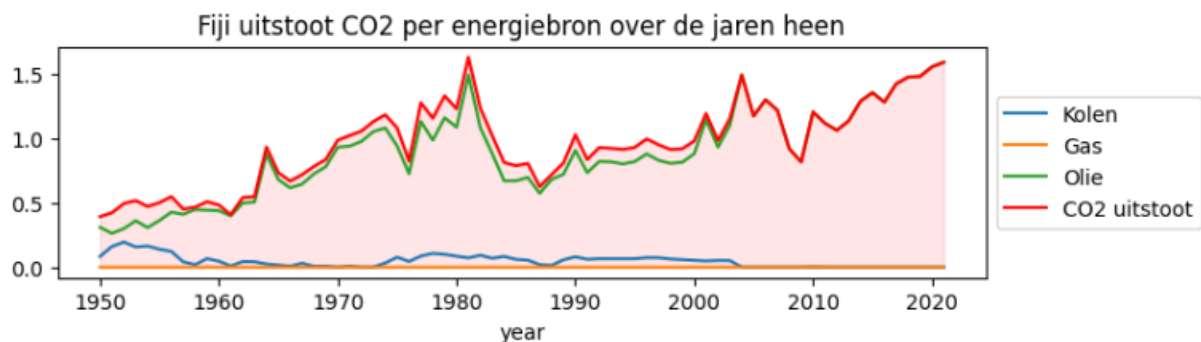
Energiebronnen

We gaan eerst kijken naar de gehele CO2 emissies en die per energiebron per hoofd van de bevolking. In Figuur 8 is voor 4 willekeurige landen dit verloop te zien. Duidelijk is hieruit op te maken dat olieproductie de grootste bijdrage levert aan de gehele CO2 emissie.



Figuur 8: CO2 emissie in tonnen per persoon, per energiebron

Bij Fiji is dit zelfs nog duidelijker te zien. In Figuur 9 kun je zien dat de totale CO2 emissie van Fiji bijna gelijk loopt met de CO2 emissie van alleen olie.



Figuur 9: CO2 emissie per energiebron Fiji

Als je meerdere landen bekijkt, zie je dit beeld vaker. Ook bij de Bahamas, Ecuador, Barbados en bij meer landen, zie je hetzelfde beeld.

Als we van alle energiebronnen de correlatiecoëfficiënt uitrekenen met de CO2 emissie, levert dit de volgende cijfers op:

- Kolen – 0.14744765
- Gas – 0.22869294
- Olie – 0.96313799

De correlatiecoëfficiënt van CO2 uit olie (productie gebaseerd) en de totale CO2 emissie is heel hoog. Dit geeft een bevestiging van de visuele conclusie: **CO2 emissie uit olie is de belangrijkste bron van de totale CO2 emissie**. Als we de consumptie gebaseerde CO2 emissie t.o.v. de CO2 uit olie bekijken, wordt de correlatiecoëfficiënt 0.39649494. We richten ons dus op de productie gebaseerde CO2 emissie uit olie.

Populatiegrootte

De landen met de hoogste (productie gebaseerde) CO2 emissie (per hoofd van de bevolking in tonnen) zijn Sint Maarten, Curaçao, Qatar, US, Koeweit en Brunei. Zetten we daar de (gesommeerd over de jaren) gehele CO2 emissie (in miljoen ton) tegenover, dan zien we andere cijfers (zie Tabel 1).

Land	co2_per_capita (ton)	co2 (miljoen ton)	Populatie
Sint Maarten (Dutch part)	11.484.173	70.289	19.885
Curaçao	3.630.047	575.619	148.804
Qatar	3.276.307	2.155.059	680.328
United States	2.225.155	421.906.853	118.358.955
Kuwait	2.148.332	3.488.382	1.654.589
Brunei	2.087.191	371.261	200.166
Luxembourg	1.984.845	761.952	397.243
United Arab Emirates	1.804.239	5.101.479	3.190.589
Bahrain	1.733.786	972.278	491.341
United Kingdom	1.696.130	78.508.722	40.564.750

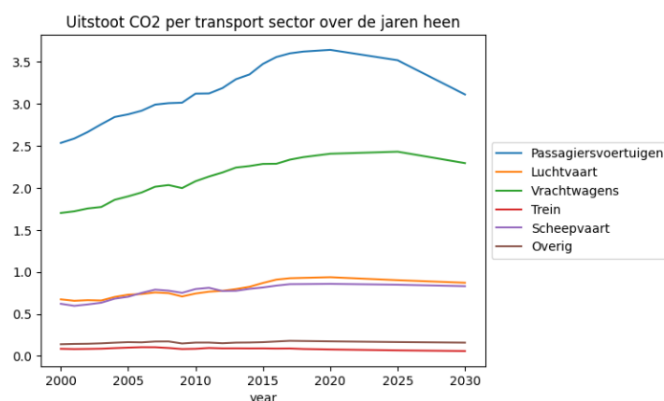
Tabel 1: co2 per capita (in ton) en totaal (opgeteld over de jaren heen – in miljoen ton) met gemiddelde populatiegrootte van de afgelopen jaren

Opvallend in deze tabel is dat de **populatiegrootte** van groot belang is voor de berekening van deze top 10. De totale CO2 van deze landen verschilt enorm, maar door de populatiegrootte zitten toch enkele landen met een totale lagere CO2 uitstoot in deze lijst.

We gaan in de verdere analyse inzoomen op deze top 10. Omdat olie een belangrijke speler is en ook veel gebruikt wordt in de transport sector (brandstof), wordt de transport dataset hierna bekeken. Verder wordt olie veel in de industrie gebruikt (o.a. elektriciteit opwekken), dit wordt na de transport data bekeken.

Transport

De dataset 'Transport – CO2 emissions by mode of transport' geeft informatie over de CO2 emissies, wereldwijd, per transportsector. Het is dus niet per land uitgezet, maar geeft ons een goed beeld van de sectoren binnen de transport die het meest bijdragen aan de CO2 emissie.



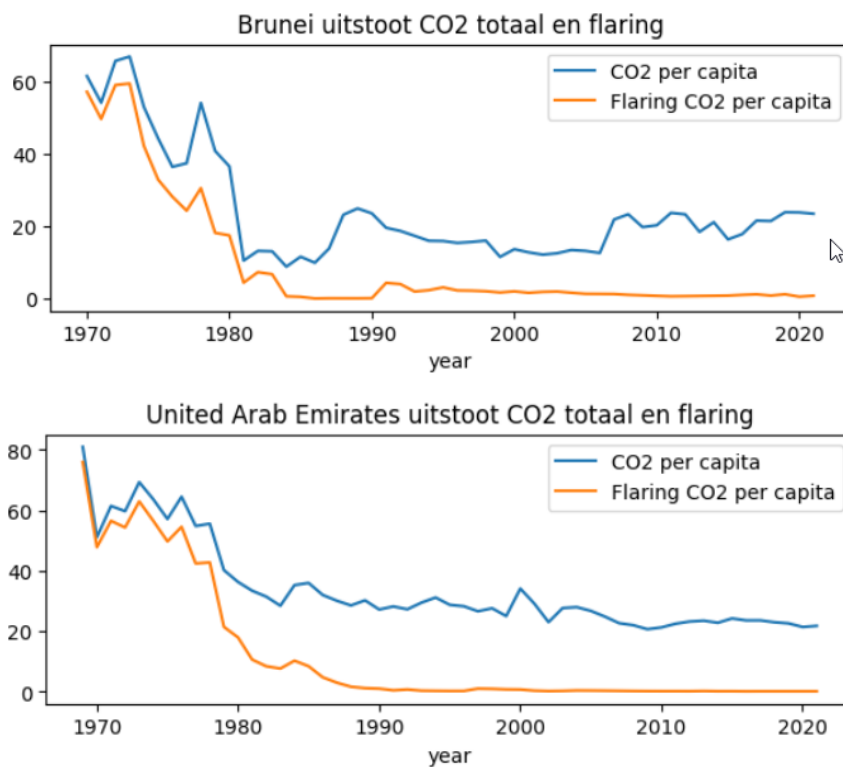
Figuur 10: CO2 emissie per transportsector

In Figuur 10 is duidelijk te zien dat de bijdrage aan de CO2 emissie het hoogste is in de passagiersvoertuigen sector (auto's, taxi's, motoren, bussen).

In Tabel 1 zagen we echter dat voor de landen met de hoogste CO2 per capita de populatiegrootte ook heel klein kan zijn (b.v. Sint Maarten, Curaçao en Brunei). Populatiegrootte en hoeveelheid passagiersvoertuigen zijn logischerwijs met elkaar verbonden. Dat dit type transport gaat zorgen voor de grootste CO2 emissie in een land lijkt onaannemelijk. Vooralsnog richten we ons daarom op de industrie.

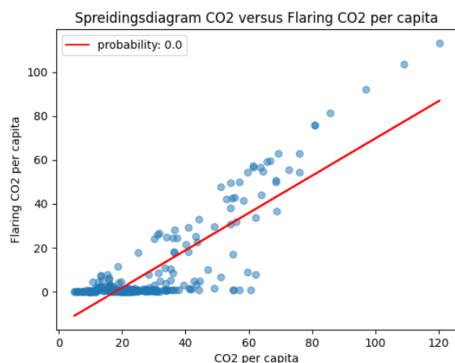
Olie industrie (affakkelen)

Omdat we te maken hebben met een grote invloed van olie op de CO2 emissie, beginnen we met het kijken naar de invloed van affakkelen (eng: flaring). In onderstaande grafiek is de 'Flaring CO2 per capita', de CO2 die vrijkomt bij het verbranden van de bij aardgaswinning, aardolieproductie en olieraffinage vrijkomende gassen in combinatie met de totale CO2 per capita te zien. We hebben de top 10 landen uit Tabel 1 bekeken. Voor twee van deze landen zie je het resultaat in Figuur 11. Hier lijkt een duidelijk verband zichtbaar.



Figuur 11: CO2 tov Flaring CO2 per land over de jaren

Als we voor de top 10 landen de totale correlatiecoëfficiënt berekenen, dan levert dit 0.61092717 op. Er lijkt een matig tot hoog verband te zijn. Voor Brunei is deze echter 0.33097684, maar voor de United Arab Emirates is deze 0.8604529. Er lijkt dus wel een verband te zijn, maar dit verband lijkt niet voor alle landen te gelden. Helaas is de data rondom de Flaring CO2 emissie niet volledig (voor veel landen mist voor vele jaren de data). Voor Sint Maarten, Curaçao en Luxemburg is zelfs geen enkele data beschikbaar.



Als we van de top 10 landen ook het spreidingsdiagram tekenen (Figuur 12), kunnen we wel ook een verband herkennen. Voorzichtige conclusie is dus dat er een verband is, maar door de missende data, is het moeilijk hier hardere en betere conclusies aan te verbinden.

De 'probability' waarde (p) van bijna 0 geeft echter wel aan dat er een statistisch significant effect op elkaar is (we kunnen de hypothese verwerpen dat er 'geen verband' is).

Figuur 12: spreidingsdiagram CO2 versus Flaring

Energie en elektriciteit

We bekijken allereerst naar de energie consumptie per capita. We zetten nu de CO2 per capita tegenover de energie per capita en berekenen de correlatiecoëfficiënt. Dit levert een redelijk hoge score op: 0.73532212. Kijken we terug naar de top 10 landen van CO2 emissie (Tabel 1), dan is de correlatiecoëfficiënt een stuk lager, namelijk 0.26426896.

Bij de landen met een grote (productie gebaseerde) CO2 emissie (per hoofd van de bevolking) lijkt deze juist niet samen te hangen met de energie consumptie binnen dit land. Reken ik de correlatiecoëfficiënt uit van alle landen, behalve de top 10, dan wordt dit coëfficiënt zelfs 0.85110592.

Verder kijkend, zien we een correlatiecoëfficiënt van 0.02960975 tussen 'energie consumptie uit olie (per hoofd van de bevolking)' en CO2 per capita voor de top 10 landen. Maar laten we de top 10 landen achterwege, dan wordt dit coefficient: 0.57322767.

Omdat olie een belangrijke factor is, kijken we ook naar de waarde voor 'elektriciteit uit olie'. Berekenen we nu de correlatiecoëfficiënt met de CO2 emissie (over alle jaren en landen (per hoofd van de bevolking)), dan levert dit 0.24487047 op. Geen waarde die aanleiding geeft om verder te kijken naar deze relatie.

Conclusie

Een belangrijke voorspeller voor een hoge CO2 emissie in een land, is de aanwezigheid van olie productie in een land. Dit heeft waarschijnlijk te maken met affakkelen, maar door te weinig data is dit niet met zekerheid aan te tonen. Verder zien we, dat het hebben van een lage populatie, ook van belang is. **De belangrijkste voorspeller voor een hoge CO2 emissie per hoofd van de bevolking is dus: de aanwezigheid van olie productie in combinatie met een lage populatiegrootte van een land.**

Heeft een land geen/een minder hoge CO2 emissie per hoofd van de bevolking, dan hangt de CO2 emissie samen met de energie consumptie. Energie consumptie is dus geen voorspeller voor een hoge emissie.

Bijlage: Co2Emissions.ipynb

(II) CO2-emissie: grootste vooruitgang

Probleembeschrijving

De te beantwoorden vraag binnen deze analyse is: welke landen boeken de grootste vooruitgang in het terugdringen van de CO2-emissie? We kijken naar de relatieve CO2-output voor elk land, rekening houdend met een groeiende en krimpende bevolking.

Data en aanpak

Op de website <https://ourworldindata.org/> is (onderzoeks)data te vinden rondom o.a. deze vraag. De hier verzamelde data gaat over meerdere jaren heen (historische data) en omvat data van de meeste landen van de wereld. Dit zorgt ervoor dat we ons een goed beeld kunnen vormen van de verschillen in CO2-emissie over het algemeen en per land.

De bron van de belangrijkste dataset binnen deze analyse, van deze website, is 'CO2 and Greenhouse Gas Emissions'. Hierin staat data, wereldwijd verzameld vanaf 1850. De data omvat per land, per jaar, CO2 emissies. Ook is er data aanwezig rondom populatiegrootte. Data rondom CO2 of CO2 per capita die niet aanwezig is (NaN of 0.000) laten we achterwege.

Resultaat van analyse

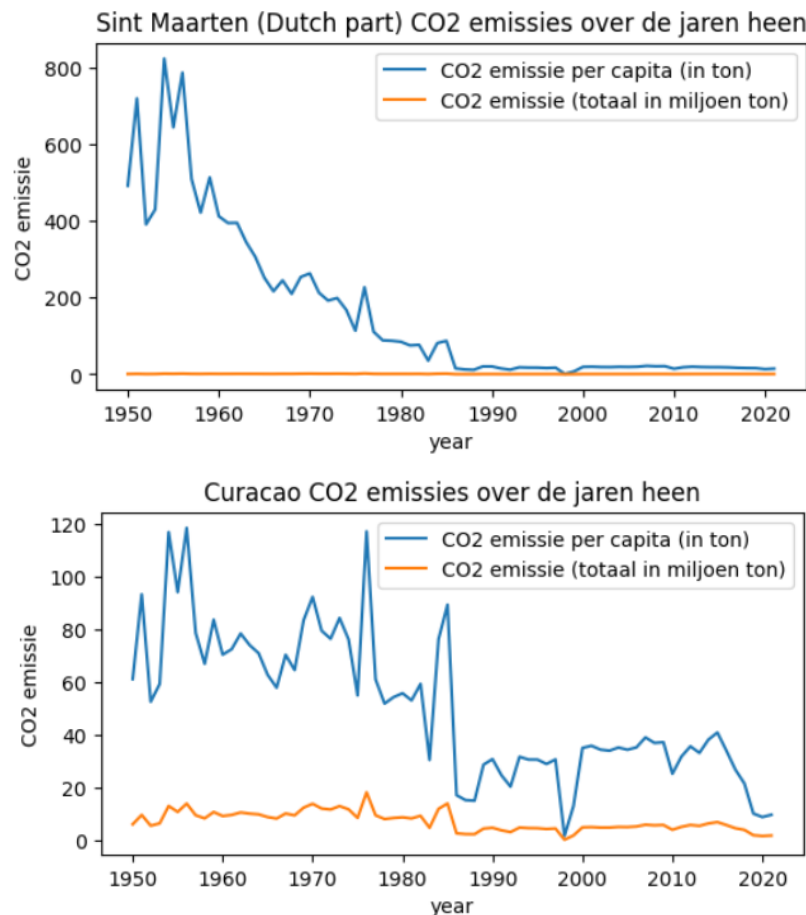
Als eerste kijken we naar de landen met het grootste verschil in CO2 per capita en CO2 totaal. We nemen van beide de top 5 landen. Drie landen komen in beide rijtjes in de top 5 voor (Sint Maarten, Curaçao en Liechtenstein). De 7 landen staan in Tabel 2.

country	co2 capita start	co2 capita eind	verschil per capita	co2 start	co2 eind	verschil co2
Sint Maarten (Dutch part)	492.573	14.705	-477.868	0.729	0.648	-0,08
Curacao	61.069	9.686	-51.383	6.112	1.844	-4,27
Bonaire Sint Eustatius and Saba	12.578	3.868	-8.709	0.088	0.103	0.015

Liechtenstein	6.911	3.865	-3.045	0.199	0.151	-0.05
Aruba	9.935	8.054	-1.881	0.135	0.858	0.723
Kosovo	4.096	3.396	-0.700	7.387	5.644	-1,74
Tuvalu	1.195	0.708	-0.487	0.011	0.008	-0.0029

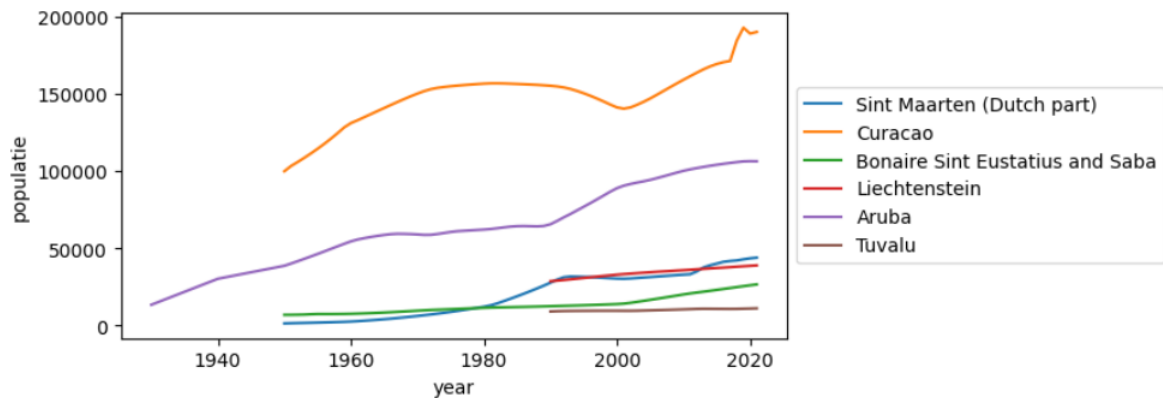
Tabel 2: top 7 landen qua CO2 reductie (co2 capita in tonnen, co2 in miljoen tonnen)

De berekening is gedaan over de eerst bekende CO2 en CO2 per capita waarde van een land, vergeleken met de laatst bekende waarde. Als we de twee hoogst scorende landen (per capita) in een grafiek (Figuur 13) uitzetten zien we, vooral bij Sint Maarten, inderdaad een enorme verbetering in CO2 emissie per capita.



Figuur 13: CO2 emissie verbetering

We halen de populatie erbij om te achterhalen of de verbetering in CO2 per capita niet alleen te wijten is aan de populatietoename. We zetten de populatie van de landen over de jaren heen in een grafiek (Kosovo sluiten we hier uit, omdat de populatie erg groot is dat de andere grafieken anders niet meer inzichtelijk zijn; Kosovo heeft ook in geen geval de beste CO2 verbetering en naar de cijfers kijkend, zien we hier een afname van de populatie, dus deze kunnen we veilig weglaten). Het resultaat is te zien in Figuur 14.



Figuur 14: populatie door de jaren heen

We zien flinke groei in populaties. In cijfers is percentuele groei (of daling) te zien in Tabel 3.

country	populatie start	populatie eind	verschil	Percentueel
Kosovo	1803379	1662022	-141357	-7,8
Tuvalu	9201	11229	2028	22,0
Liechtenstein	28789	39058	10269	35,7
Bonaire Sint Eustatius and Saba	7016	26730	19714	281,0
Sint Maarten (Dutch part)	1480	44061	42581	2877,1
Curaçao	100086	190348	90262	90,2
Aruba	13545	106543	92998	686,6

Tabel 3: populatie verschil

Sint Maarten heeft percentueel gezien een explosieve groei doorgemaakt. De daling in CO2 emissie per hoofd van de bevolking kan hier flink invloed op hebben. Toch staat Sint Maarten ook in de top 5 van hoogste emissie dalingen gezien over de totale CO2.

Conclusie

Sint Maarten en Curaçao boeken de grootste vooruitgang in het terugdringen van de CO2-emissie per hoofd van de bevolking. Sint Maarten is dit deels door de grote populatiegroei, maar tel je deze niet mee en kijk je over de totale CO2 emissie afname, dan staat hij nog steeds op de 3^e plaats. Curaçao staat op één qua totale afname. Per hoofd van de bevolking staat hij op de tweede plaats.

Bijlage: Co2Emissions2.ipynb

(III) Niet-fossiele energietechnologie: beste prijs in de toekomst

Probleembeschrijving

De te beantwoorden vraag binnen deze analyse is: welke niet-fossiele energietechnologie zal in de toekomst de beste prijs hebben? We gaan ons richten op biobrandstof, waterkracht, windenergie en zonne-energie.

Data en aanpak

Op de website <https://ourworldindata.org/> is (onderzoeks)data te vinden rondom dit vraagstuk. De hier verzamelde data gaat over meerdere jaren heen (historische data) en omvat data van de meeste landen van de wereld. Dit zorgt ervoor dat we ons een goed beeld kunnen vormen van het gebruik van de verschillende niet-fossiele energietechnologieën.

De bron van de belangrijkste dataset binnen deze analyse, van deze website, is 'Renewable Energy'. Hierin staat data, wereldwijd verzameld vanaf 1975. De data omvat per land, per jaar, het energieverbruik vanuit welke bron.

Het voordeel van de genoemde niet-fossiele energietechnologieën is, dat de 'brandstof' niet opraakt (zon, wind, water, bioafval). Dit in tegenstelling tot fossiele energiebronnen. We hoeven dus geen rekening te houden met schaarste. De technologie om de energie mee op te wekken is het belangrijkste. Ten eerste wordt deze steeds verbeterd, maar belangrijks is ook dat, net zoals bij andere technologieën: hoe meer vraag ernaar, hoe groter de productie en des te lager de prijs gaat zijn. We gaan ons dan ook eerst richten op de vraag (consumptie) van de verschillende niet-fossiele energiebronnen.

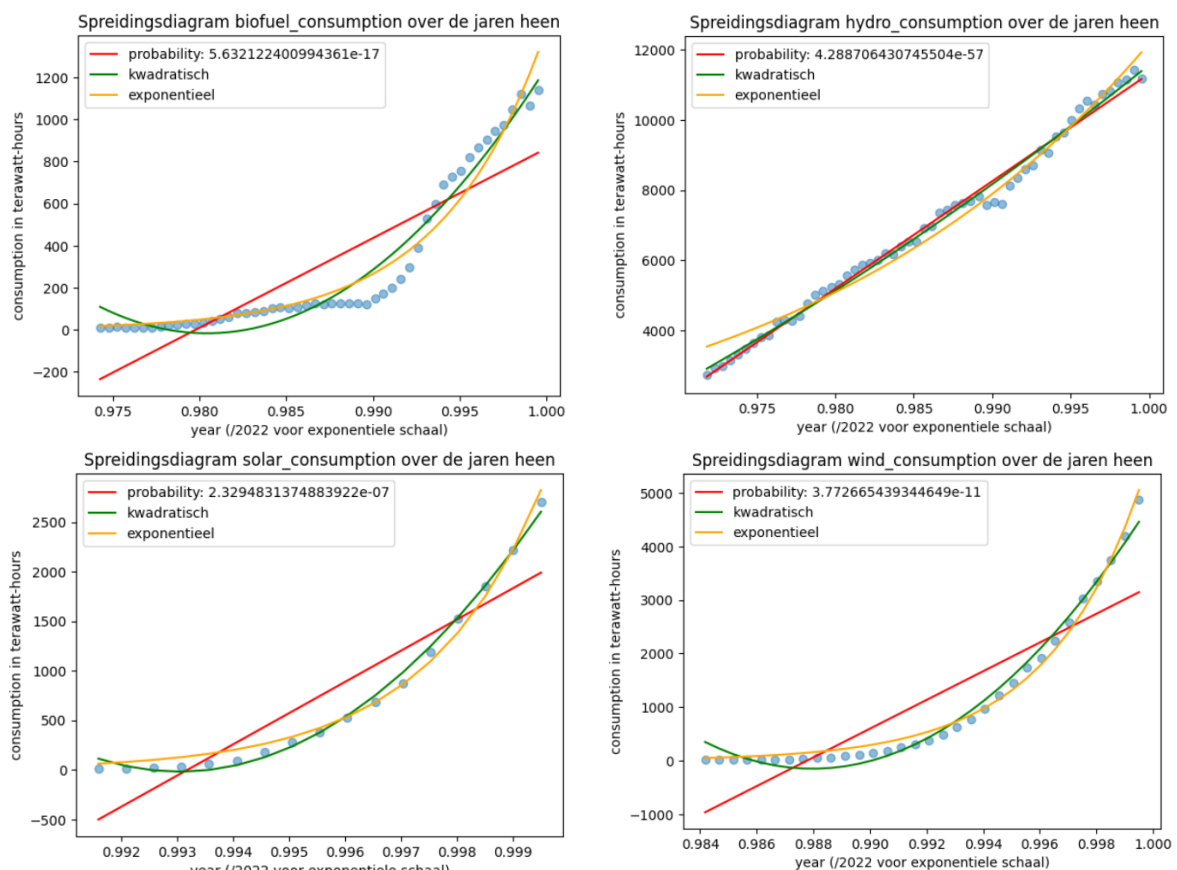
Uiteraard heeft de prijs ook te maken met de kosten. Vanuit de bron 'Levelized cost of energy by technologie' kunnen we hier inzicht in krijgen. Deze data bevat, per land, per jaar, de gemiddelde kosten per eenheid opgewekte energie gedurende de levensduur van een nieuwe energiecentrale. De gegevens zijn uitgedrukt in Amerikaanse dollars per kWh.

Voor het berekenen van correlatiecoëfficiënten of spreidingsdiagrammen tussen twee variabelen, laten we de data weg, waarvoor één of beide van de variabelen geen (NaN) waarde heeft.

Resultaat van analyse

Consumptie

We starten met het kijken naar de consumptie van de vier belangrijkste niet-fossiele energiebronnen. We nemen de totale consumptiecijfers van de wereld. In Figuur 15 zie je voor alle brandstoffen een kwadratisch of exponentieel (of lineaire bij waterkracht) verband.



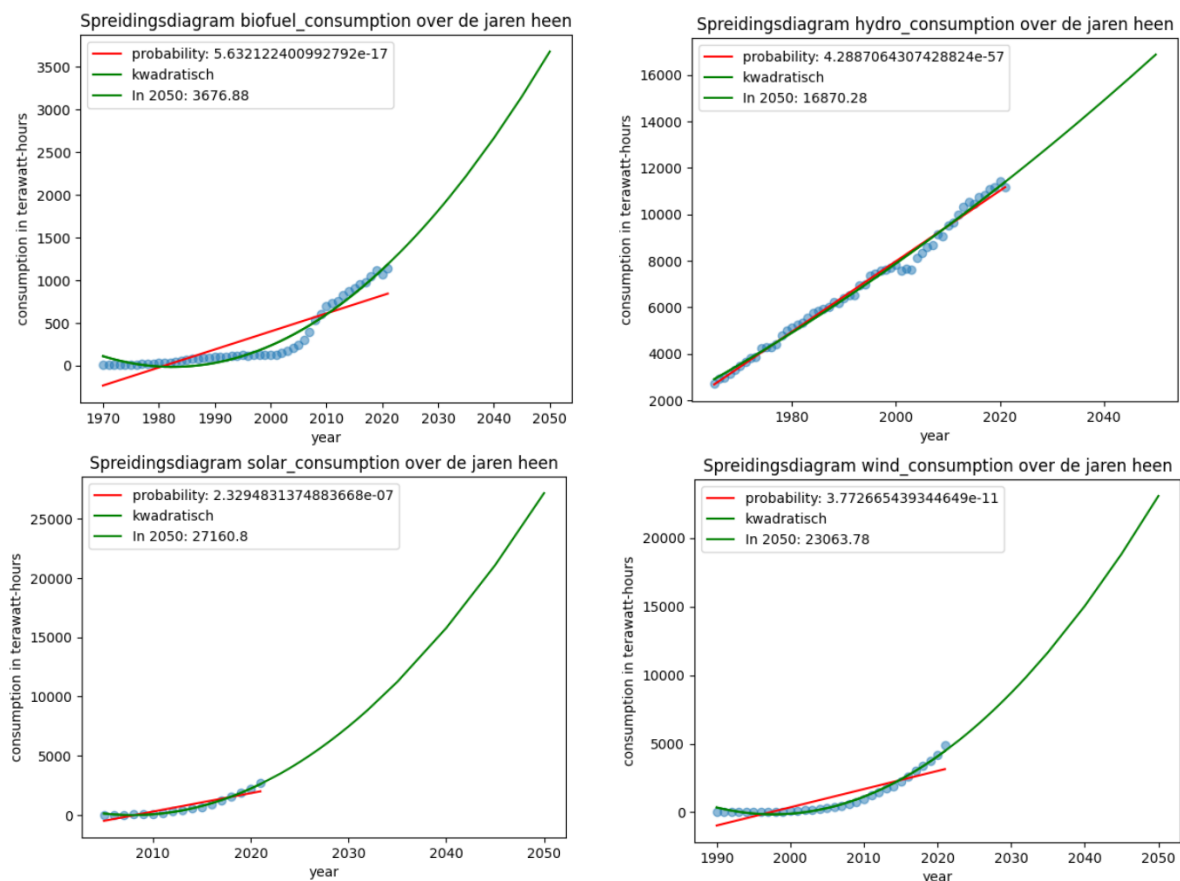
Figuur 15: spreidingsdiagrammen niet-fossiele energiebronnen over de jaren heen

De 'probability' voor alle energiebronnen is erg laag. Daardoor kunnen we concluderen dat er met redelijke zekerheid een statistisch verloop is in de grafiek. Verder hebben we ook de correlatiecoëfficiënten bepaald. Die geven eenzelfde beeld:

- Biobrandstof: 0.8700265
- Waterkracht: 0.99515273
- Zonne-energie: 0.91660548
- Windenergie: 0.87872214

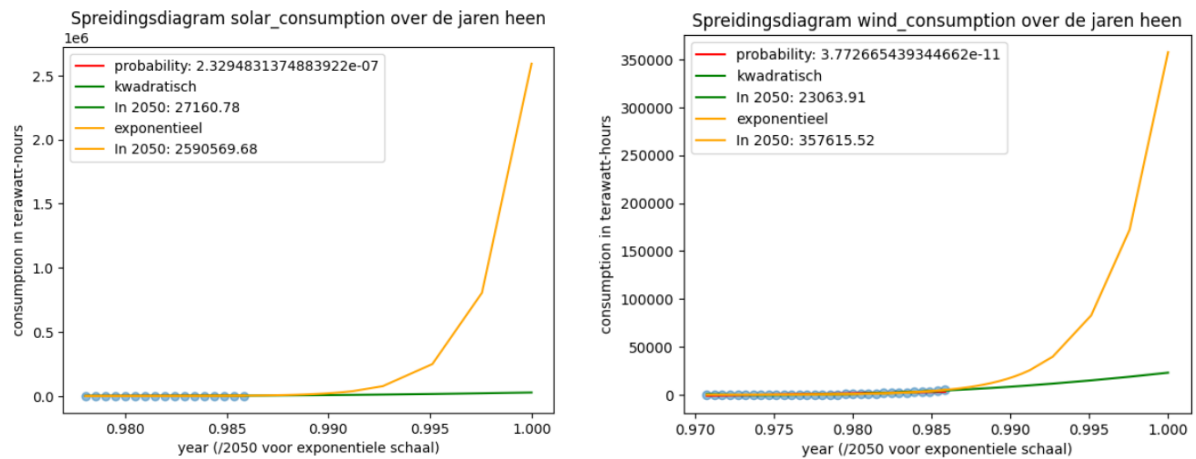
Voor de zekerheid hebben we ook de nucleaire energie bekeken. Ook deze laat een kwadratische trend zien. Echter andersom en aflopend. De verwachting is dus dat deze energiebron in de komende jaren zal afnemen/stagneren.

Als we in jaren verder kijken, richting 2050, kun je met het gevonden kwadratische verband een voorzichtig kijkje in de toekomst zien (zie Figuur 16). Voor 2050 geldt dat zonne-energie naar verwachting de energiebron met de hoogste consumptie zal zijn, op de voet gevolgd door windenergie.



Figuur 16: kwadratisch verband consumptie richting 2050

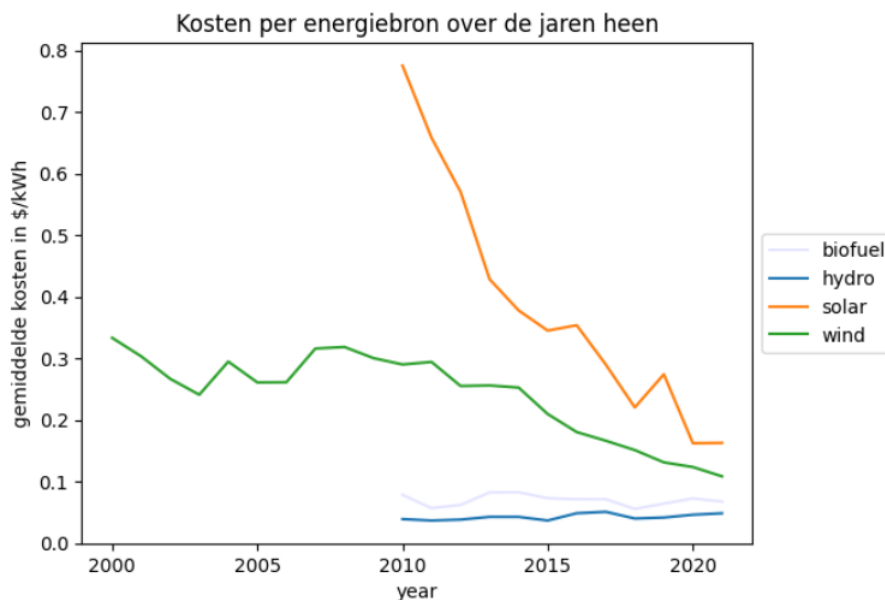
Ook hebben we het exponentiele verband bekeken en deze in de grafieken toegevoegd. Dit is te zien in Figuur 17 voor zonne- en windenergie. Dit oogt minder voor de hand liggend. Maar basis blijft dat er een statistisch verband lijkt te zijn en dat zonne-energie in 2050 de hoogste consumptie zal hebben, gevolgd door windenergie.



Figuur 17: exponentiele groei energie naar 2050

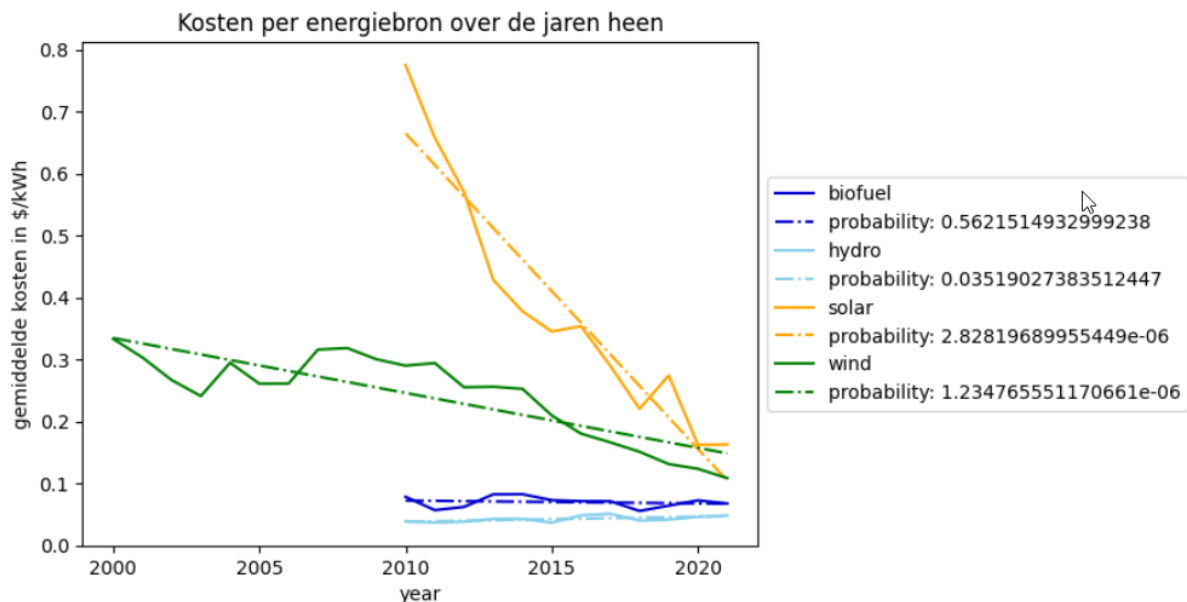
Kosten

In de dataset van 'Levelized cost of energy by technologie' zijn de kosten voor 'offshore' en 'onshore' (=aan land) windenergie apart gezet. Om de totale kosten voor windenergie te bekijken, tellen we deze op. Hetzelfde geldt voor fotovoltaïsche en geconcentreerde zonne-energie. Ook in deze set kijken we weer naar de cijfers van de wereld. Als we de kosten over de jaren heen bekijken, vormt dit Figuur 18.



Figuur 18: kosten energiebronnen over de jaren heen

We zien hier de gemiddelde kosten per eenheid opgewekte energie gedurende de levensduur van een nieuwe energiecentrale. Bij zonne-energie en windenergie is hier een flinke daling te zien. En dan met name bij zonne-energie. Als we hier de regressielijnen bij tekenen, zie je Figuur 19.



Figuur 19: kosten per energiebron incl. regressielijnen

In dit figuur zie je naast de lineaire regressielijn ook de 'probability'. Voor de twee sterk dalende lijnen (zonne-energie en windenergie) zie je dat deze heel laag is. Dit geeft aan dat we met enige zekerheid kunnen zeggen dat er een statistisch verband is (de kans is heel klein dat er geen verband is). De lijnen van zonne-energie en windenergie zijn elkaar inmiddels gekruist. De kosten van zonne-energie dalen dus sterk en zeker in meerdere mate dan windenergie. De kosten van biobrandstof en waterkracht blijven nagenoeg gelijk (of stijgen zelfs bij waterkracht).

Als we ook de correlatiecoëfficiënten erbij pakken, zien we de waarden:

- Biobrandstof: -0.18627224
- Waterkracht: 0.60999115
- Zonne-energie: -0.94767576
- Windenergie: -0.83645574

Dit bevestigt de positieve correlatie van de kosten van waterkracht in de tijd. Biobrandstof heeft een erg zwakke correlatie, maar ook de 'probability' was hiervan veel te hoog. De twee in het oog springende energietechnologieën (zon en win) laten wel een duidelijke (negatieve) correlatie zien die het statistische verband nogmaals onderstreept.

Conclusie

We kunnen met enige zekerheid vaststellen, dat **zonne-energie in de toekomst de niet-fossiele energietechnologie zal zijn met de beste prijs**. Dit heeft te maken met sterk dalende kosten per eenheid opgewekte energie (waardoor deze uiteindelijk de laagste kostprijs van alle 4 niet-fossiele energietechnologieën zal hebben), in combinatie met een stijgende consumptie die ertoe leidt dat deze bron in de toekomst de hoogste consumptie zal hebben in vergelijking tot de andere 3 niet-fossiele energietechnologieën.

Bijlage: Co2Emissions3.ipynb