



Duurzaam hergebruiken van CO₂

Prof. Dr. Marlies K. Van Bael



Gevolgen van klimaatopwarming



Steffen Oisen/Danish Meteorological Inst./June 13 Greenland

CLIMATE CHANGE IN ACTION
SCIENTIST CAPTURES GREENLAND'S MELTING ICE SHEET
CNN



Waarom dit verhaal?



https://climate.nasa.gov/climate_resources/300/video-climate-spiral/


https://climate.nasa.gov/climate_resources/139/video-global-warming-from-1880-to-2022/

Bron: NASA Climate Change



Gevolgen van klimaatopwarming


Hoe ver komt de zeespiegel als de aarde twee graden opwarmt?



NEDERLAND

BELGIË

Brussel



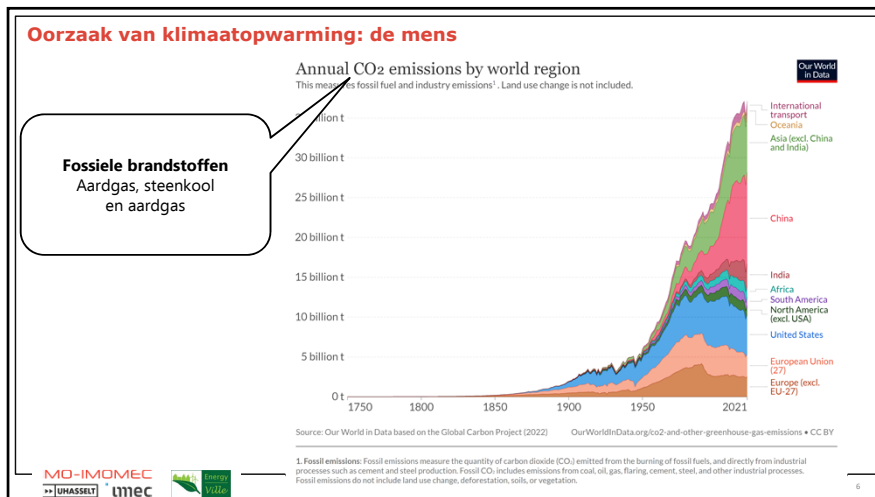
Oorzaak van klimaatopwarming: de mens

Biologicaldiversity.org
Trends.kriack.be
transport&mobilityLeuven
Demorgen.be

MO-IMOMEC
UHASSELT tmecc EnergyVille

Wat is CO₂ ?
koolstofdioxide

MO-IMOMEC
UHASSELT tmecc EnergyVille



Koolstofdioxide

CO₂

product van onze ademhaling

Kleurloos
Geurloos gas

product van verbranding van organisch materiaal

Koolzuurgas in bruisdranken

MO-IMOMEC
UHASSELT tmecc EnergyVille

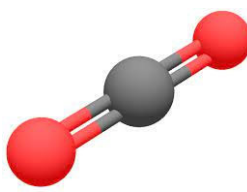
Koolstofdioxide

Koolstof
C

Bouwsteen van

menselijk lichaam 23%
levende organismen
fossiele brandstoffen,
chemicaliën, plastics,
diamant

CO₂



Zuurstof
O

Bouwsteen van

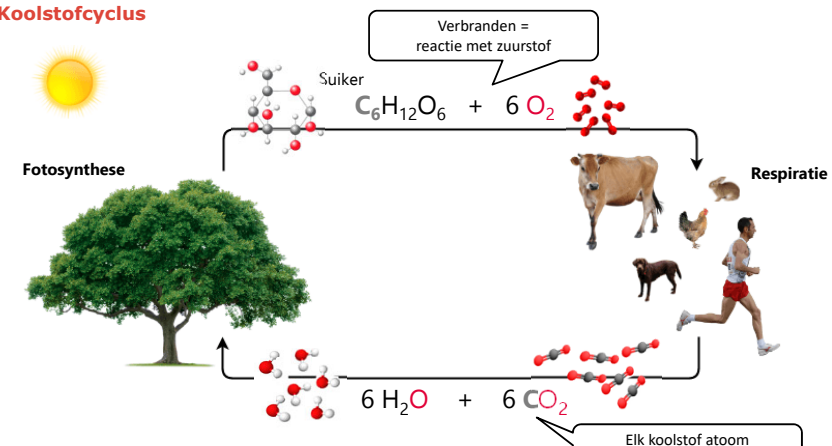
De atmosfeer 21%
Water (H₂O)
menselijk lichaam 61%
mineralen

MO-IMOMEC
UHASSELT tmecc

Energy
Vrije

9

Koolstofcyclus



Suiker $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$

Fotosynthese

Respiratie

$6 H_2O + 6 CO_2$

Elk koolstof atoom wordt omgezet in CO₂


MO-IMOMEC
UHASSELT tmecc

Energy
Vrije


11

Koolstofmonoxide

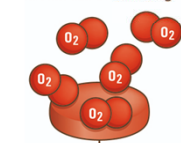
CO



Verdringt O₂ in het bloed

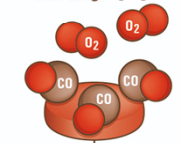


Normale ademhaling



rode bloedcel

CO-vergiftiging



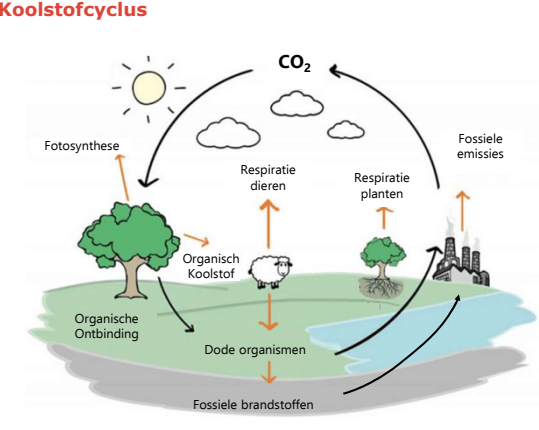
rode bloedcel

MO-IMOMEC
UHASSELT tmecc

Energy
Vrije

10

Koolstofcyclus



CO₂

Fotosynthese

Respiratie dieren

Respiratie planten

Fossiele emissies

Organisch Koolstof

Dode organismen

Fossiele brandstoffen

Organische Ontbinding

Vanaf industriële revolutie

Uit balans

Hoeveelheid uitgestoten CO₂
Meer dan
Hoeveelheid geabsorbeerd CO₂

MO-IMOMEC
UHASSELT tmecc

Energy
Vrije

12

CO₂ uitstoot neemt toe door verbranden van fossiele brandstoffen

Wat is het verband tussen CO₂ en opwarming van de aarde?

Broeikasgassen

IR straling

IR straling wordt geabsorbeerd om te trillen: houdt warmte bij

Zonder broeikasgassen -20°C
Dankzij broeikasgassen 15°C

Atmosfeer

Warmte

Oceaan

Aarde

obv weeronline

Broeikaseffect

Zon levert energie aan de aarde

Het schadelijkste deel wordt door de atmosfeer tegengehouden

Oceaan buffert 90% van de warmte

De aarde absorbeert de energie van de zon

De aarde straalt energie terug als warmte = IR straling

De atmosfeer houdt deel van de teruggekaatste warmte tegen

Atmosfeer

Warmte

Oceaan

Aarde

obv weeronline

Fossiele brandstoffen

Verbranden = reactie met zuurstof

Elk koolstof atoom wordt omgezet in CO₂

Aardgas Methaan: CH₄ + 2 O₂ → 2 H₂O + CO₂ + energie

Het verbranden van 1 kg (± 1,4 m³) methaan gas levert ongeveer 15 kWh aan energie maar stoot 2,75 kg CO₂ uit

Fossiele brandstoffen


Verbranden = reactie met **zuurstof**

Elk koolstof atoom wordt omgezet in CO₂

Aardgas methaan
 $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
 1 kg (~1,4 m³) → 2,75 kg CO₂ + 15 kWh

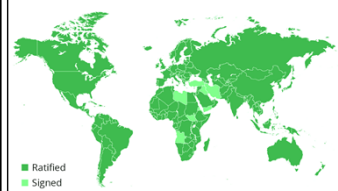
Benzine octaan
 $\text{C}_8\text{H}_{18} + 12,5 \text{O}_2 \rightarrow 9 \text{H}_2\text{O} + 8 \text{CO}_2$
 1 kg (~1,3 l) → 2,85 kg CO₂ + 12 kWh

Steenkool koolstof
 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
 1 kg → 2,85 kg CO₂ + 8 kWh



Klimaatakkoord van Parijs (2015)

The State of the Paris Agreement
 Countries by their participation in the Paris Agreement (as of April 21, 2021)




Source: UNFCCC

statista


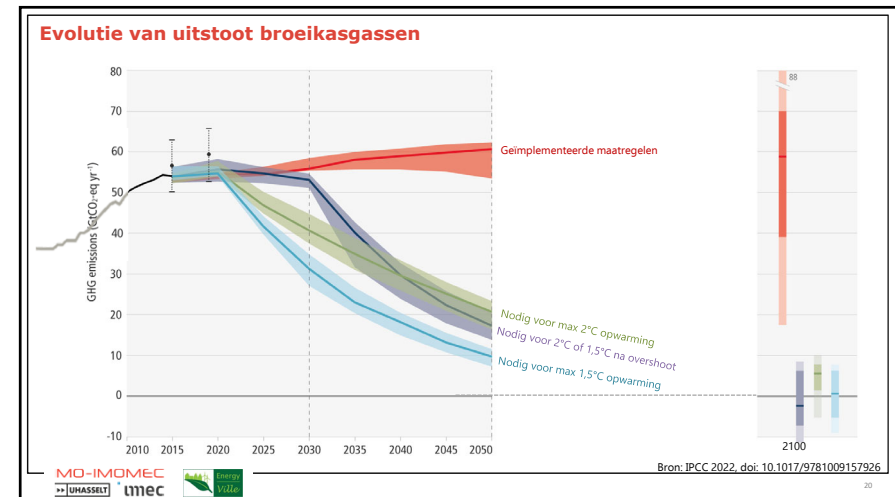
2.0°C/1.5°C
 Gemiddelde temperatuur stijging blijft < 2°C t.o.v. pre-industriële waarde en liefst < 1,5°C

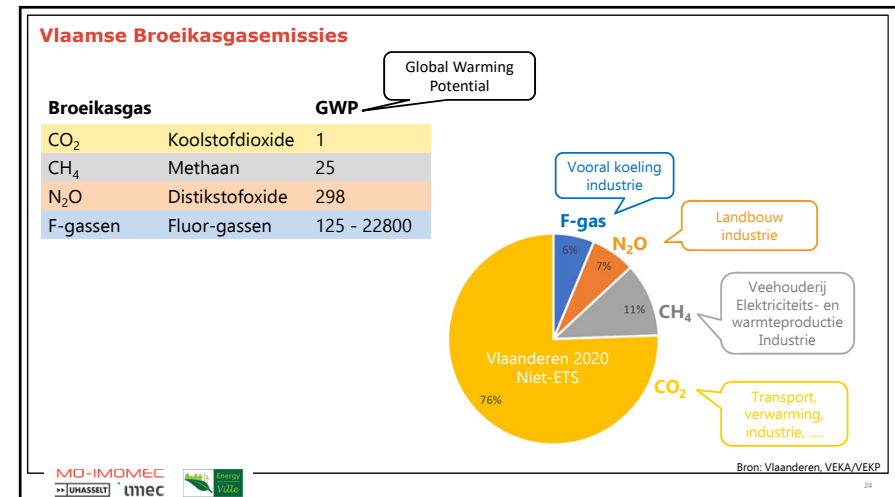
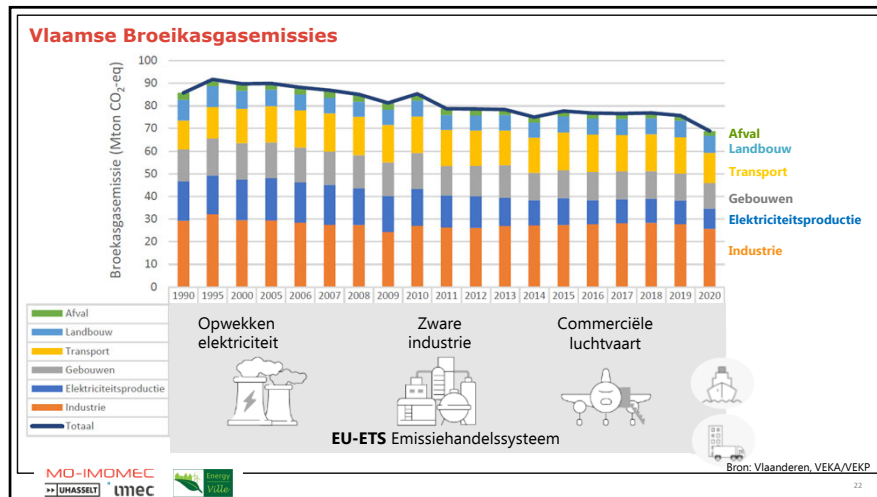
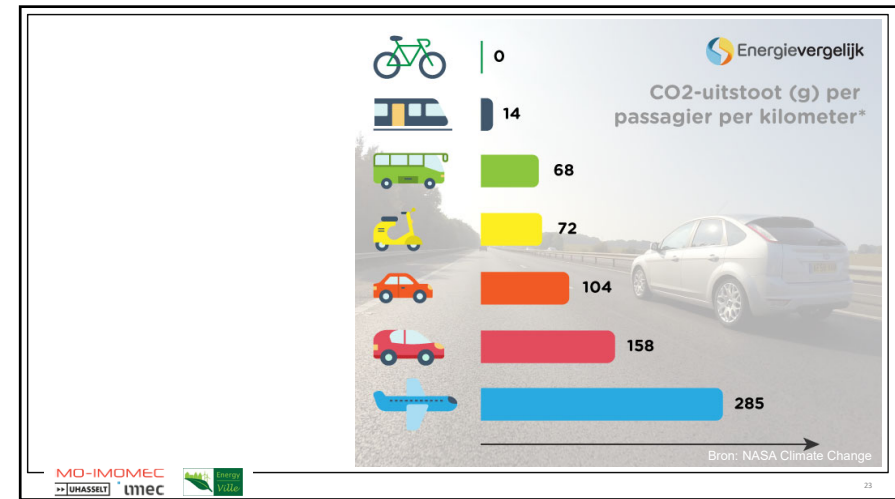
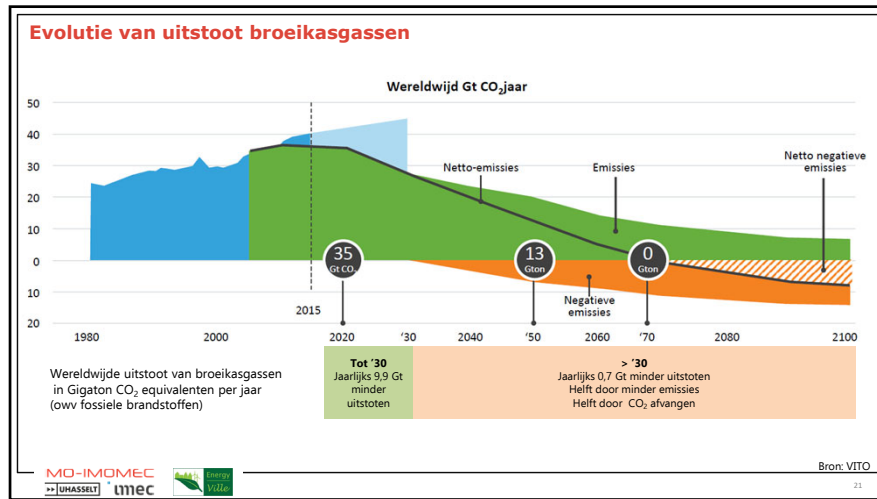
2050
 Emissies moeten zo snel mogelijk beginnen dalen en tegen 2050 netto nul bedragen.

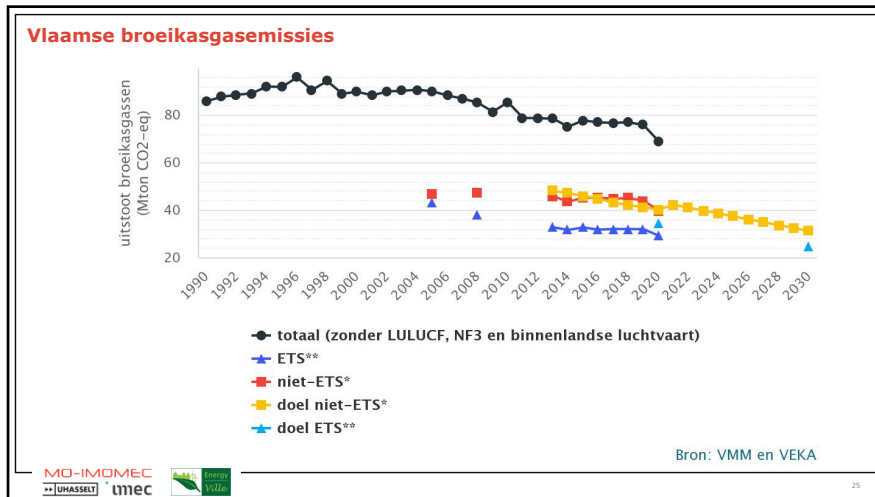
\$100 bln
 Financiering gebeurt op een faire manier waarbij vermogende landen meer bijdragen. Transparante en regelmatige rapportering en updates.



Om de opwarming van de aarde tegen te gaan moeten we de CO₂ uitstoot drastisch verminderen





CO₂ uitstoot verminderen

De duurzaamste energie is deze die NIET gebruikt wordt

Hernieuwbare energiebronnen vb. wind of zon heeft consequenties

Leveren vooral elektriciteit i.p.v. warmte
 Industriële processen moeten worden herzien
 'elektrificatie van de chemische industrie'

Wind en zon leveren niet steeds energie op het moment dat je het nodig hebt
 Opslag nodig

In batterijen in moleculen

Time-shift benefits of energy storage

https://www.renewableenergyworld.com

MO-IMOMEC UHASSELT imec EnergyVille

**Om de klimaatdoelstellingen te halen
 moeten we de CO₂ uitstoot drastisch verminderen
 ze moet zelfs negatief worden!**

MO-IMOMEC UHASSELT imec EnergyVille

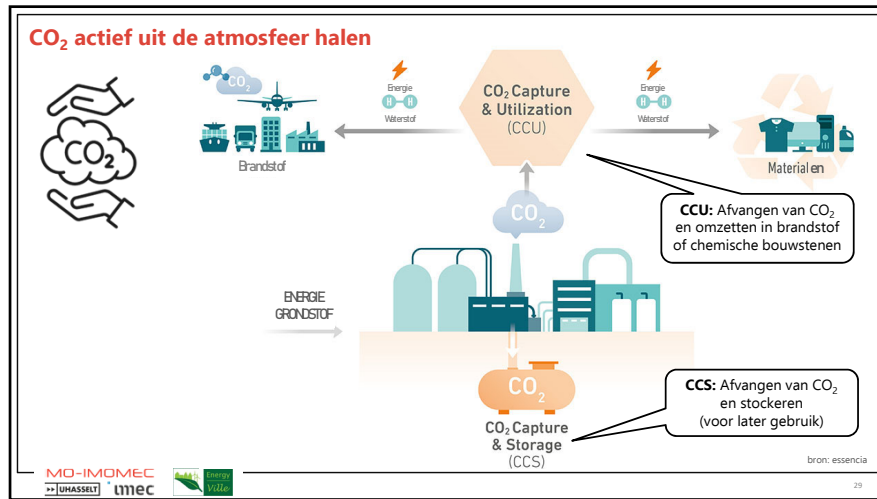
CO₂ actief uit de atmosfeer halen

Fotosynthese

$6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$

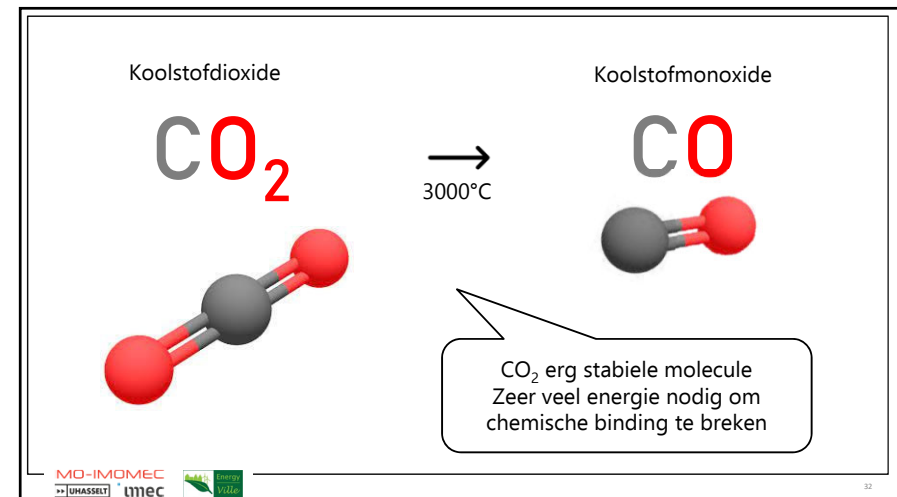
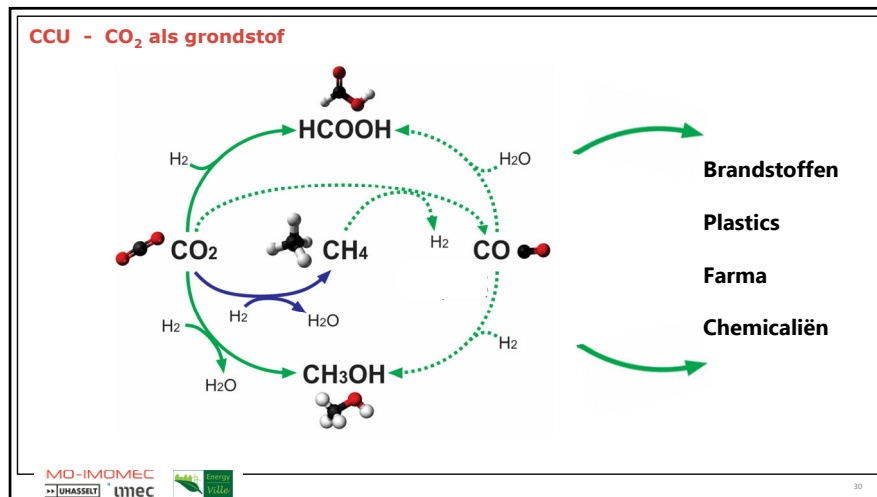
! Bomen planten helpt maar is ruim onvoldoende;
 • We kunnen wel de natuur nabootsen

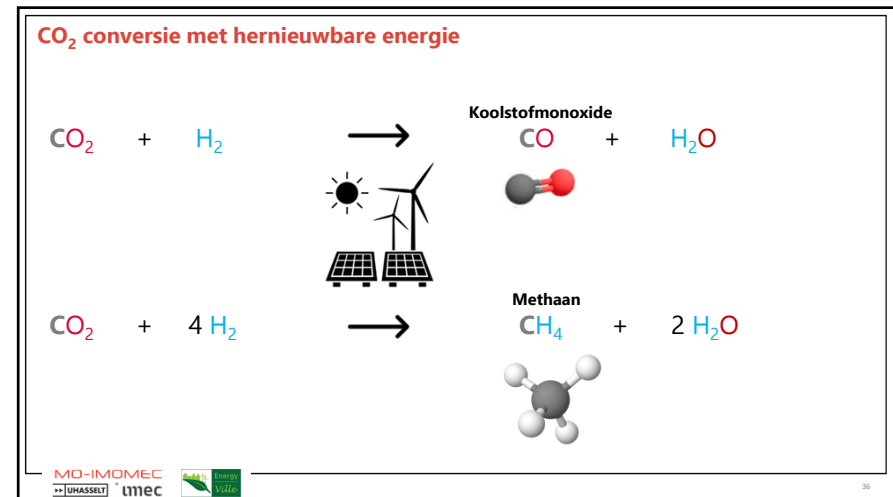
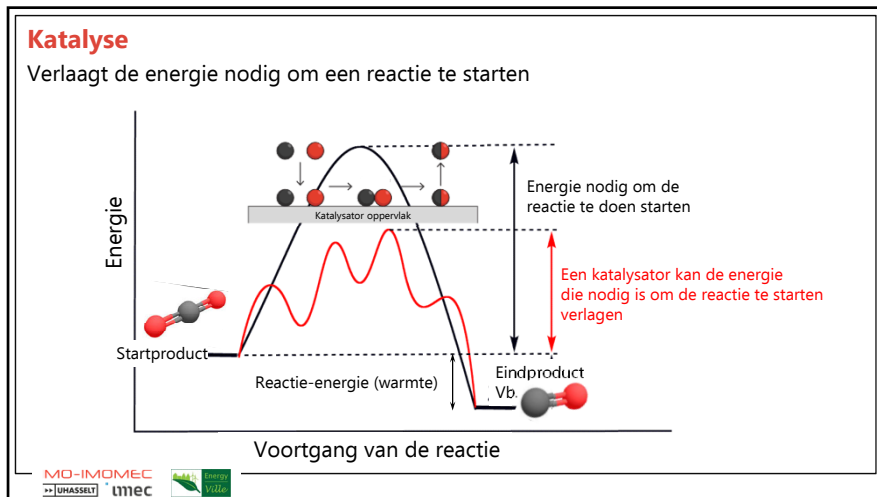
MO-IMOMEC UHASSELT imec EnergyVille



Hoe kunnen we CO₂ omzetten in nuttige moleculen?

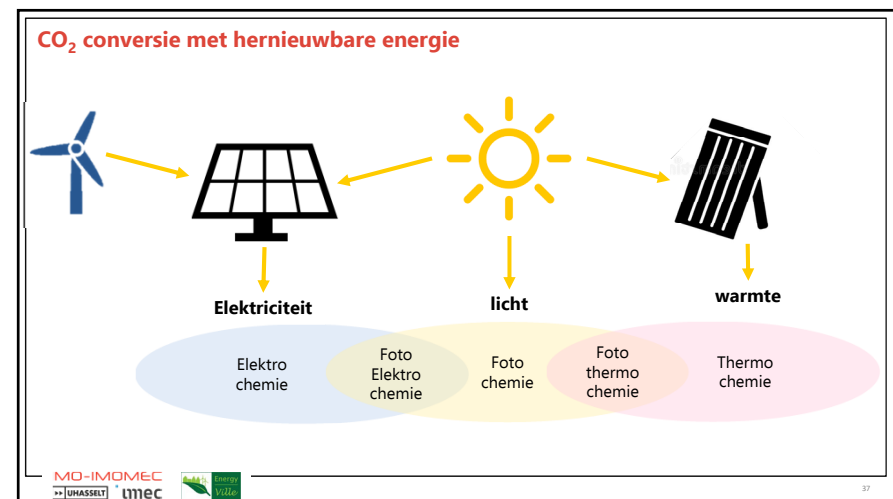
MO-IMOMEC UHASSELT tmecc Energy Value

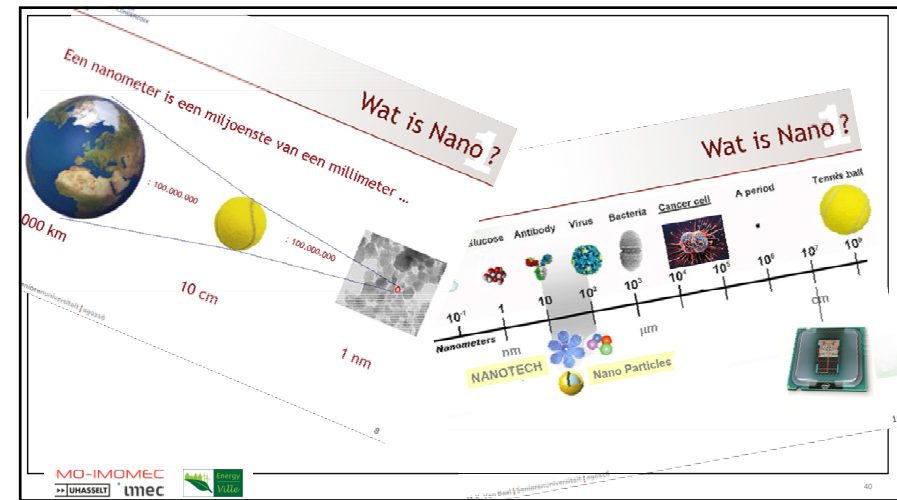
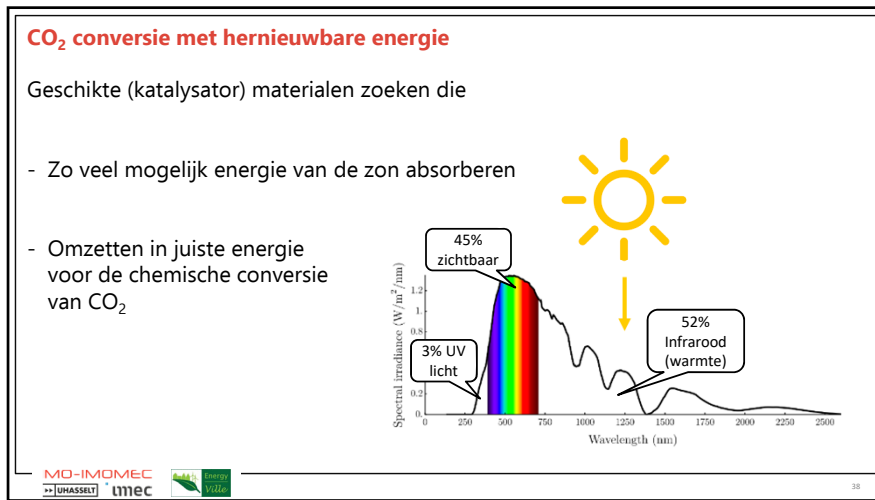




Hoe kunnen we CO₂ omzetten in nuttige moleculen met hernieuwbare energie?

MO-IMOMEC UHASSELT imec EnergyVille





Seniorenuniversiteit

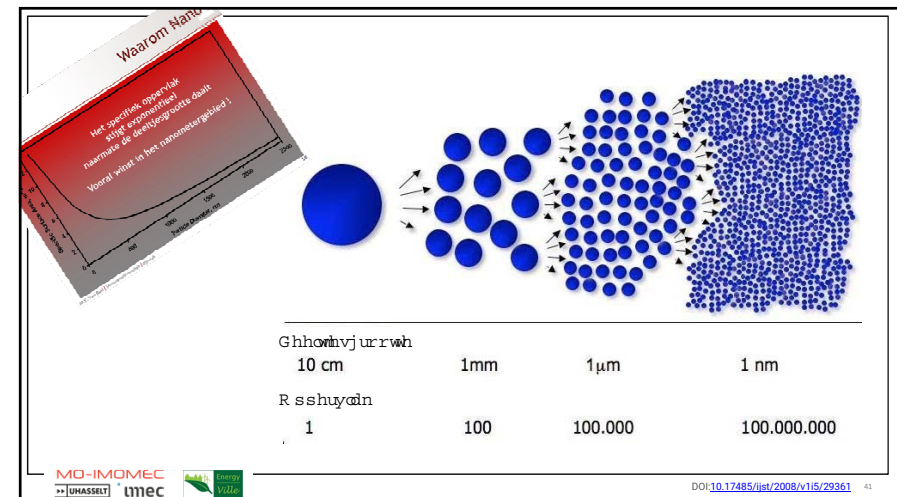
Klein, met een grote toekomst ?

Marlies K. Van Bael

Universiteit Hasselt
IMO Instituut voor Materiaalonderzoek
Anorganische en Fysische Chemie
IMECvzw div.IMOMEC, Belgium

M.K. Van Bael | Seniorenuniversiteit | 090216

MO-IMOMEC UHASSELT imec Energy Vision



Waarom Nano?

Geheel nieuwe eigenschappen
quantumeffecten

Goud nanodeeltjes
verschillende kleuren
naargelang hun grootte

M.K. Van Bael | Seniorenuniversiteit | 090216

MO-IMOMEC UHASSELT tmeec Energy Value

CO₂ conversie met hernieuwbare energie

Plasmon katalyse

Oppervlakte plasmon resonantie (SPR)
Van metaal nanodeeltjes

Aard van het metaal
Grootte van de nanodeeltjes
Vorm van de nanodeeltjes
Drager waarop nanodeeltjes liggen
Afstand tussen nanodeeltjes

Oppervlakte plasmon resonantie SPR
genereert lokaal

- Warmte
- Energetische elektronen
- Optische effecten

te gebruiken voor chemische reacties

Hoe meer energie (golflengtegebied) uit het zonlicht kan geabsorbeerd worden, hoe meer er kan omgezet worden voor chemische reacties.

45% zichtbaar
3% UV licht
52% Infrarood (warmte)

Wavelength (nm)

MO-IMOMEC UHASSELT tmeec Energy Value

CO₂ conversie met hernieuwbare energie

Plasmon katalyse

Oppervlakte plasmon resonantie (SPR)
Van metaal nanodeeltjes

Licht met bepaalde golflengte

Metaal nanodeeltje, vb. goud

Elektronen in metaal resoneren

Oppervlakte plasmon resonantie SPR
genereert lokaal

- Warmte
- Energetische elektronen
- Optische effecten

te gebruiken voor chemische reacties

Colloïdaal goud (goud nanodeeltjes) vertoont een rode tot paarse kleur door oppervlakte plasmon resonantie of SPR.

Goud ¹⁹⁷Au Ruthenium ⁴⁴Ru ...

MO-IMOMEC UHASSELT tmeec Energy Value

CO₂ conversie met hernieuwbare energie

Plasmon katalyse

Oppervlakte plasmon resonantie (SPR)
Van metaal nanodeeltjes

ACS OMEGA

Sunlight-Fueled, Low-Temperature Ru-Catalyzed Conversion of CO₂ and H₂ to CH₄ with a High Photon-to-Methane Efficiency

Francesca Sastre,¹ Caroline Verschuif,¹ Nicole Meulendijks,¹ Jessica Rodriguez-Fernandez,² Jorgen Sweelssen,¹ Ken Elen,^{3,4} Marlies K. Van Bael,^{1,5} Tim den Hartog,^{1,6} Marcel A. Verheijen,^{1,4} and Pascal Buskens^{1,7,8,9}

¹The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), High Tech Campus 25, 5656AD Eindhoven, The Netherlands
²Institute for Materials Research, Inorganic and Physical Chemistry, Hasselt University, Agoralaan Building D, B-3590 Dierenpeek, Belgium
³IMEC vzw, IMOMEC Associated Laboratory, Wetenschapspark 1, B-3590 Dierenpeek, Belgium
⁴Zayed University of Applied Sciences, New Town 300, 6400AN Heerlen, The Netherlands
⁵Philips Innovation Labs, High Tech Campus 11, 5656AB Eindhoven, The Netherlands
⁶Department of Applied Physics, Eindhoven University of Technology, 5600MB Eindhoven, The Netherlands

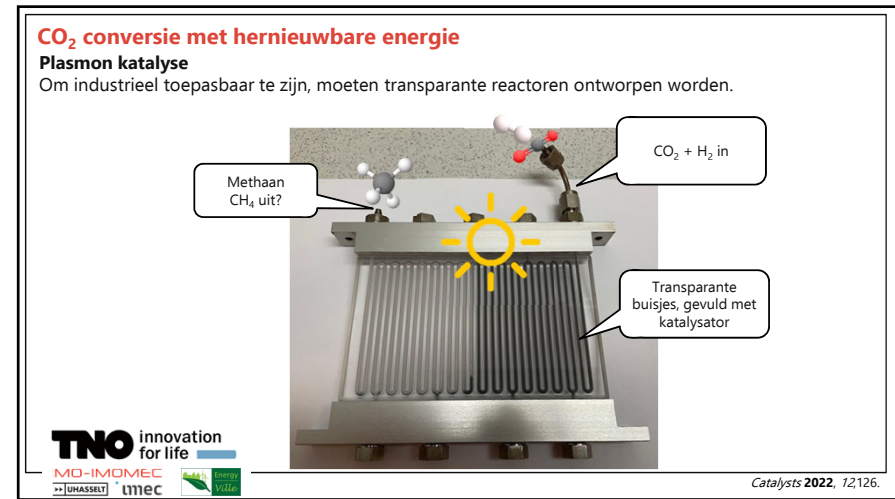
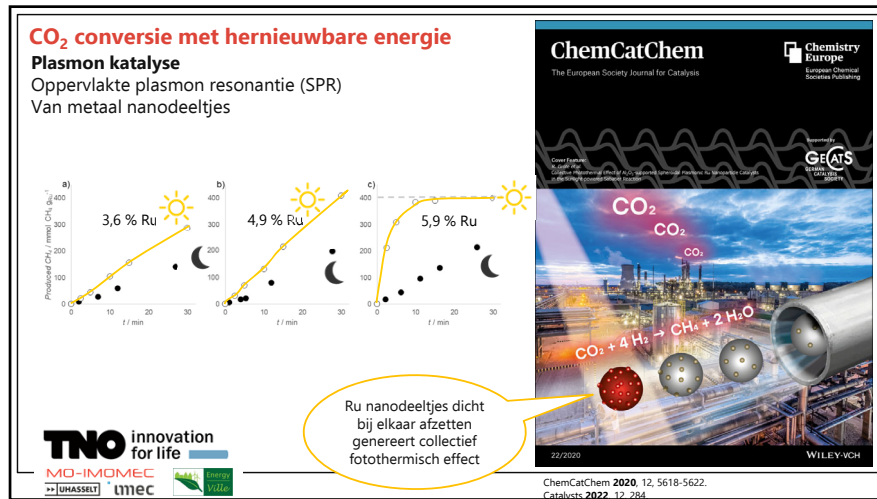
Supporting Information

ABSTRACT: Methane, which has a high energy storage density and is safely stored and transported in our existing infrastructure, can be produced through conversion of the end-use energy carrier H₂ with CO₂. Methane production with standard transition metal catalysts requires high-temperature activation (300–500 °C). Alternatively, semiconductor metal oxide photocatalysis can be used, but they require high-intensity UV light. Here, we report a Ru metal catalyst that facilitates methanation below 250 °C using sunlight as an energy source. Although at low solar intensity (1 sun) the activity of the Ru catalyst is mainly attributed to thermal effects, we identified a large intermetallic coordination as a slightly elevated temperature (27 and 8.2 sun) resulting in a high photon-to-methane efficiency of up to 55% over the visible solar spectrum. We attribute the excellent sunlight-harvesting ability of the catalyst and the high photon-to-methane efficiency to its UV-vis-NIR plasmonic absorptions. Our highly efficient conversion of H₂ to methane is a promising technology to simultaneously accelerate the energy transition and reduce CO₂ emissions.

INTRODUCTION
To secure our future energy supply,¹ it will be necessary to build up storage capacities for extremely large amounts of energy. Such storage facilities are required for temporal matching of demand and supply as the energy generated from renewable sources, e.g., solar and wind, inherently fluctuates. To limit land use, energy should be stored in materials with a high gravimetric storage density, i.e., chemical bonds.² Hydrogen (H₂) seems attractive due to its high storage (300–500 °C), and the use of semiconductor photocatalysis,³ which can harvest only the short wavelength

Ru plasmon katalysator (op Alumina) die aan record efficiëntie 55% CO₂ omzet in CH₄ (lage T en normale p en)

MO-IMOMEC UHASSELT tmeec Energy Value



CO₂ conversie met hernieuwbare energie
Groene waterstof maken

H₂

$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2$

Elektrolyse: Anode, Cathode

Foto Elektrolyse: Foto-anode Halfgeleider, Elektrolyt, Kathode Metaal

Foto katalyse: Drager met katalysator

MO-IMOMEC UHASSSELT tmecc

Nieuw @ UHasselt Master in Materiomics

Interdisciplinaire master die opleidt tot materiaalwetenschappers voor de toekomst

VANAF 2022

UHASSSELT KNOWLEDGE IN ACTION

Materiaalonderzoek is essentieel

duurzame grondstoffen
duurzame synthese
duurzame processen

Interdisciplinaire aanpak

MO-IMOMEC UHASSSELT tmecc

DANK U

An Hardy
Pascal Buskens
Ken Elen
Dries De Sloovere
Bjorn Joos
Thomas Vranken
Team DESINE UHasselt
Team TNO
Team UA

fwo PHOTONICS²¹
FLANDERS INDUSTRY INNOVATION MOONSHOT Interreg Vlaanderen-Nederland
provincie Limburg ECOSYNTH umicore
CHIMATRIX BOREALIS BrightLands
vito-TNO DLR