

CO₂-ventilatie: van formule naar gezonde gebouwen



Low tech betekent niet volgen, maar begrijpen wat je doet. Daarmee doe je enkel dát wat nodig is en niet meer.



Low tech \neq low knowledge

Ventilatie: één van de meest bepalende installatie ontwerpkeuzes voor gezondheid én energiegebruik.

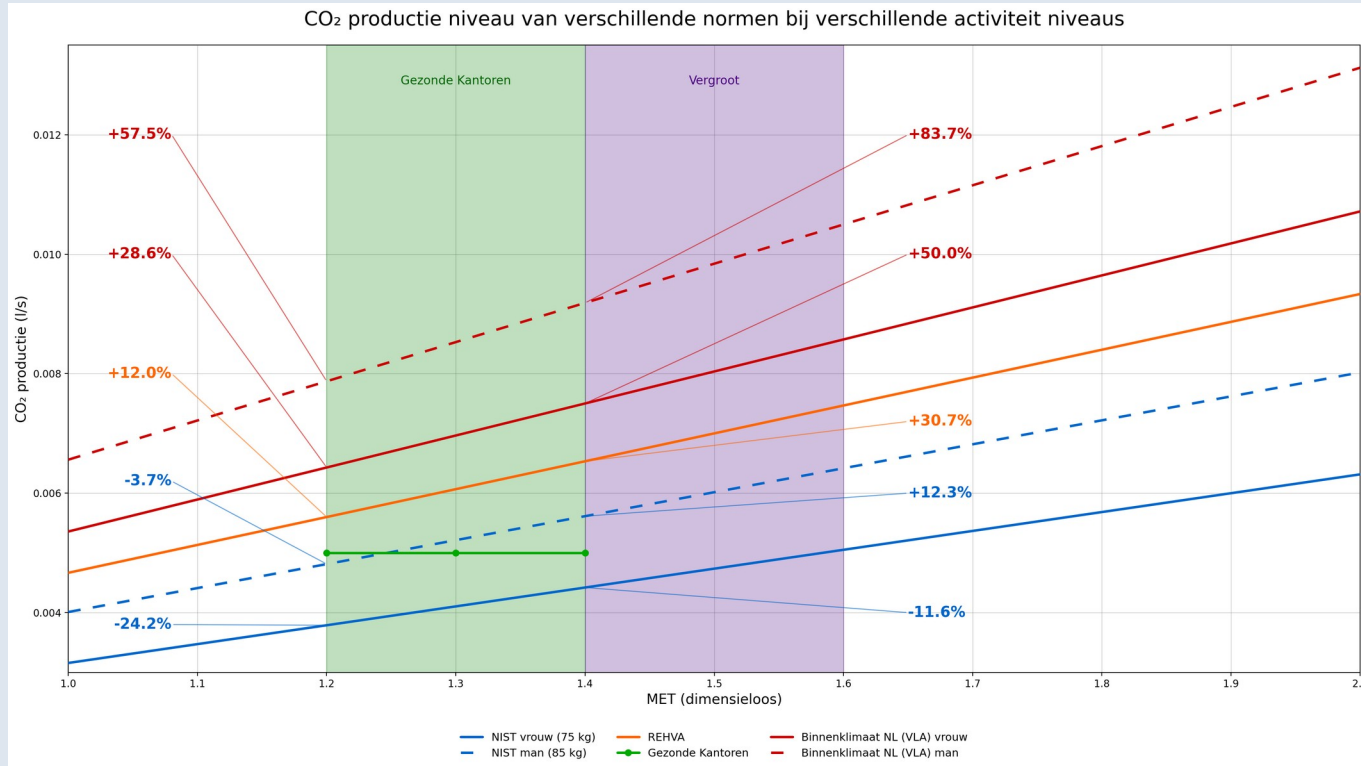




Wat ga ik vertellen

- Normen verschillen met meer dan 80% -welke waarde gebruik je?
- CO₂ is voorspelbaar: formules voor steady state en tijd.
- Gewicht + activiteit bepalen de bandbreedte.
- Harde grenzen falen bij stijgende atmosferische CO₂.
- Wat betekent dit voor jouw ontwerpproces?

Discrepantie tussen bronnen



Kernvraag:
Wat moet je nou gebruiken
om te ontwerpen?

Implicatie:
Er is geen vaste waarde, je
moet een bandbreedte
gebruiken

MET = Metabolisch Equivalent van de Taak

Formule voor CO₂ ontwikkeling

$$C(t) = \left[C_i - C_a - \frac{S}{nV} \right] e^{-nt} + \left[C_a + \frac{S}{nV} \right]$$

Kernvraag:
Is CO₂ voorspelbaar?

Antwoord: Ja

C(t)=CO₂ in de tijd
C_i=CO₂ binnen bij aanvang
C_a=CO₂ buiten
S=CO₂ productie
n=ventilatievoud
V=netto volume ruimte
V̇=volumestroom

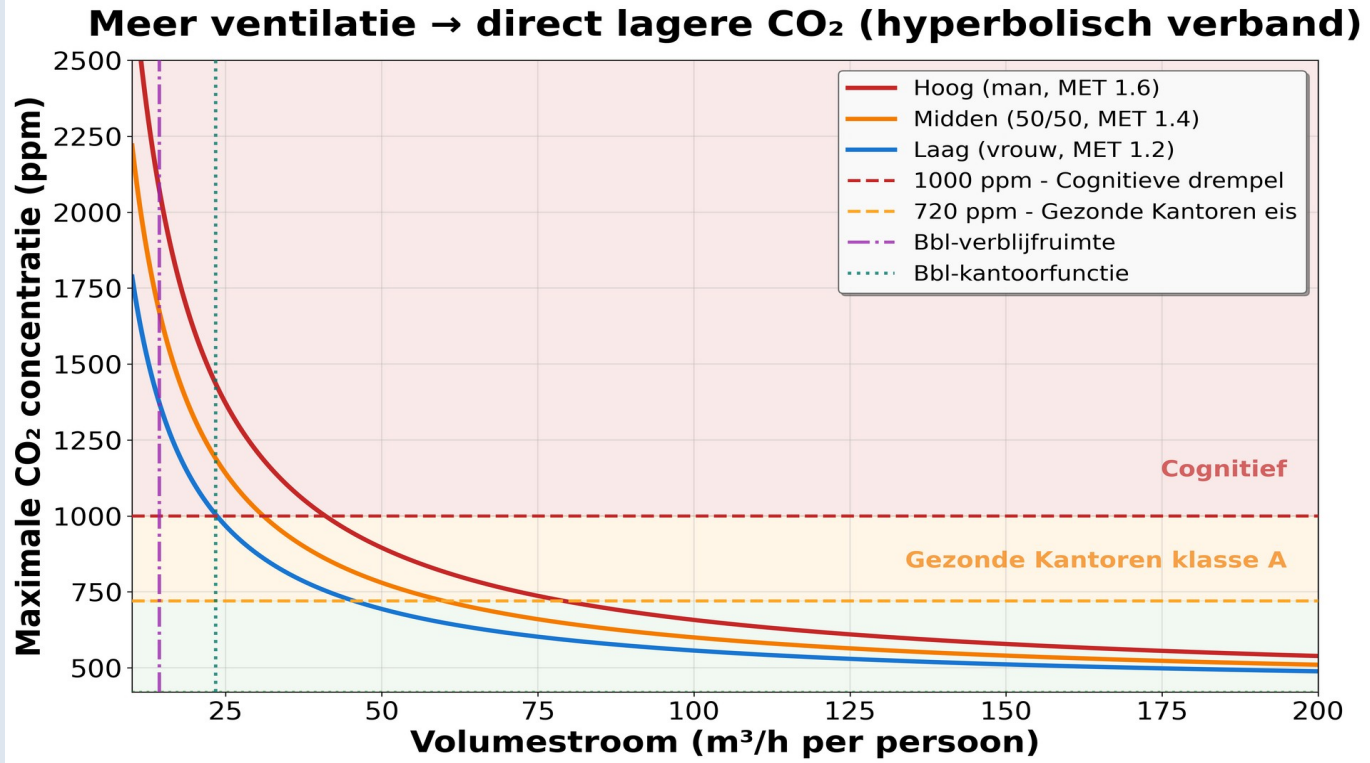
$$C(d) = \left[C_i - C_a - \frac{S}{nV} \right] e^{-nt} \quad C(\infty) = \left[C_a + \frac{S}{nV} \right] = \left[C_a + \frac{S}{\dot{V}} \right]$$

Dynamisch deel

Statisch deel

(Steady state)

CO₂ eindwaarde (steady state)



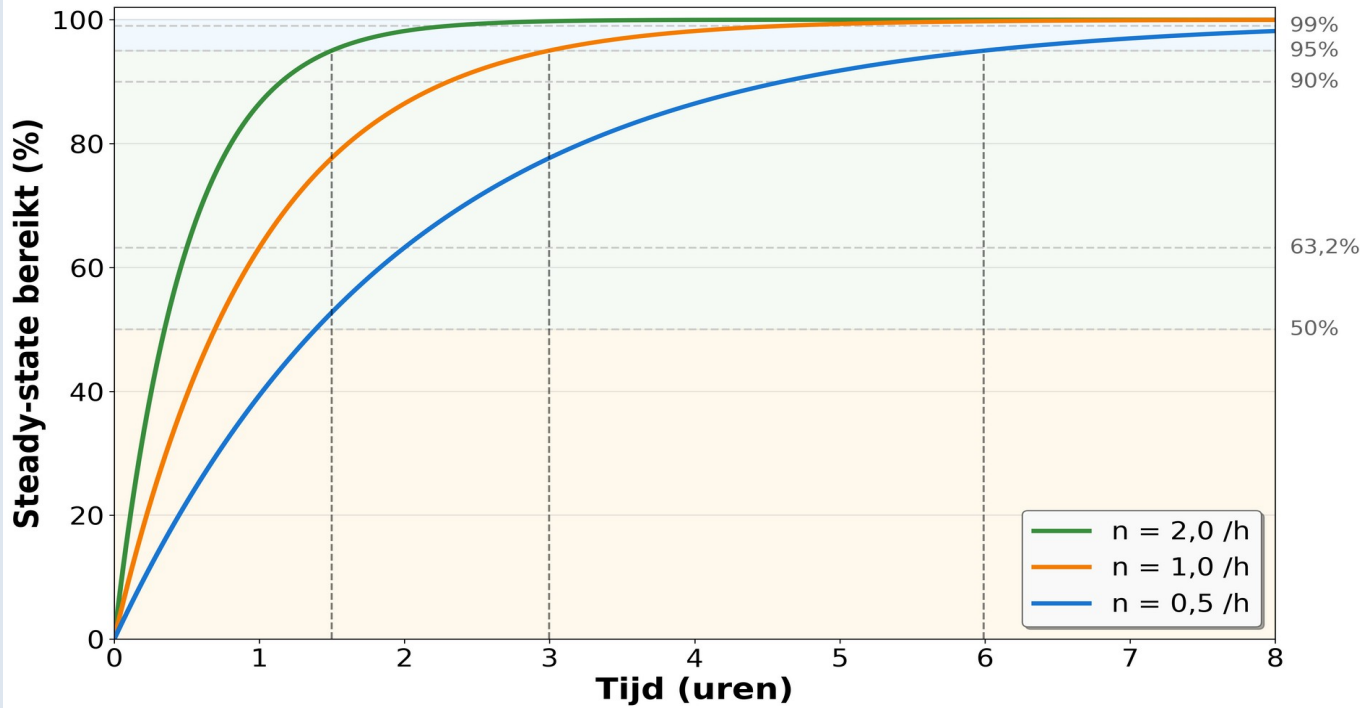
Implicatie:

1. Lage ventilatie is hoge CO₂.
2. Effect van ventileren neemt af.
3. Bbl is te laag

$$C(\infty) = \left[C_a + \frac{S}{\dot{V}} \right]$$

Tijd tot evenwicht

Tijd tot evenwicht is alleen afhankelijk van ventilatievoud



Implicatie:

Scenario's kunnen belangrijk zijn bij midden/lage ventilatie-vouden (n)

Vergeet niet:

- Lage ventilatie is hoge CO₂.
- Gedrag is niet lineair

$$t = -\frac{1}{n} * \ln(1 - p)$$

Formules voor CO₂ productie

Binnenklimaat NL (VLA)

$$BKNL_{Man} = 0,00656 * MET \text{ l/s}$$

$$BKNL_{Vrouw} = 0,00536 * MET \text{ l/s}$$

REHVA

$$REHVA = 0,00467 * MET \text{ l/s}$$

Binnenklimaattechniek (Gezonde kantoren)

$$GK = 0,005 \text{ l/s}$$

NIST paper

$$NIST = BMR * MET * \frac{T}{D} * 0,000179 \text{ l/s}$$

BMR = Basaalstofwisseling van een mens

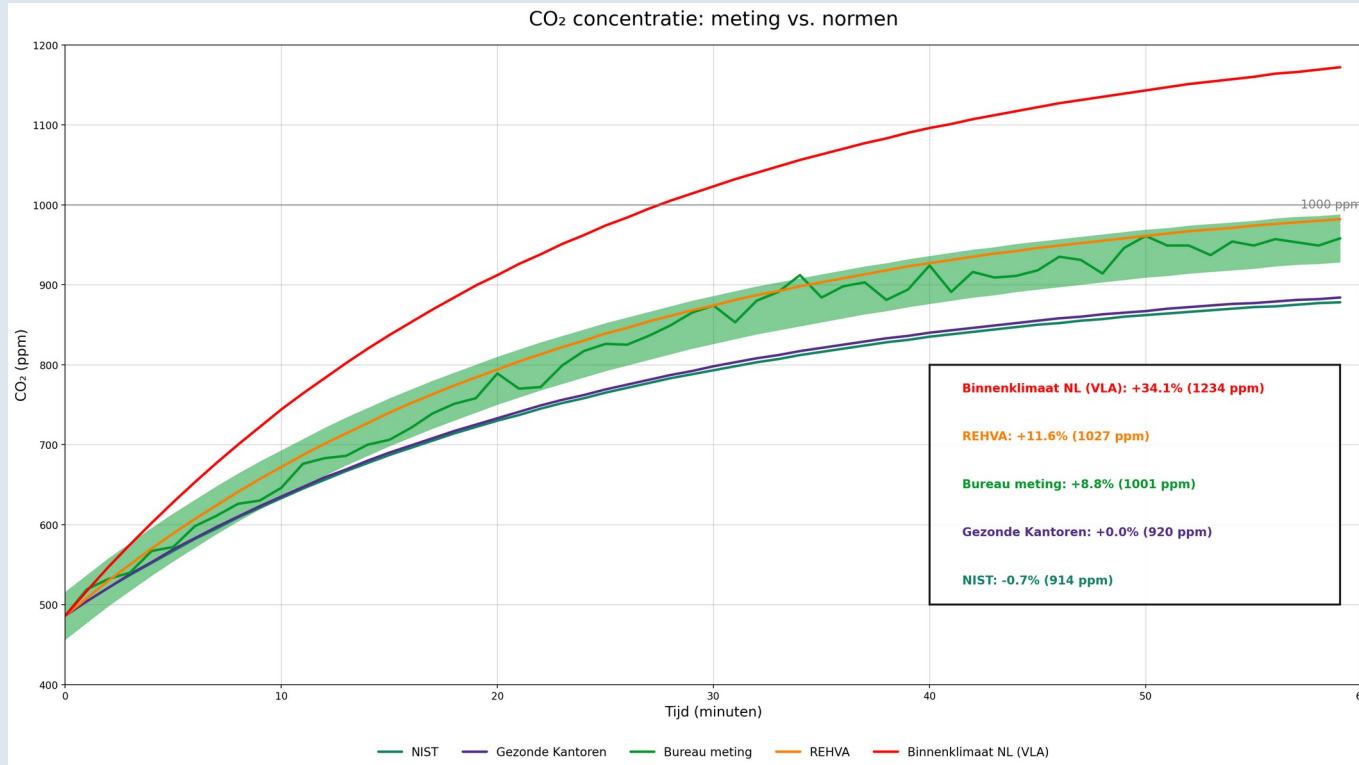
Kernvraag:

Wat zijn de variabelen?

Implicatie:

Enkel NIST geeft meerdere variabelen voor een verschil.

Meting vs norm: wat is het verschil?



Vraag:
Kunnen we het verschil
uitleggen?

$C(t)$ =berekend

C_i =gemeten

C_a =gecontroleerd

S =input

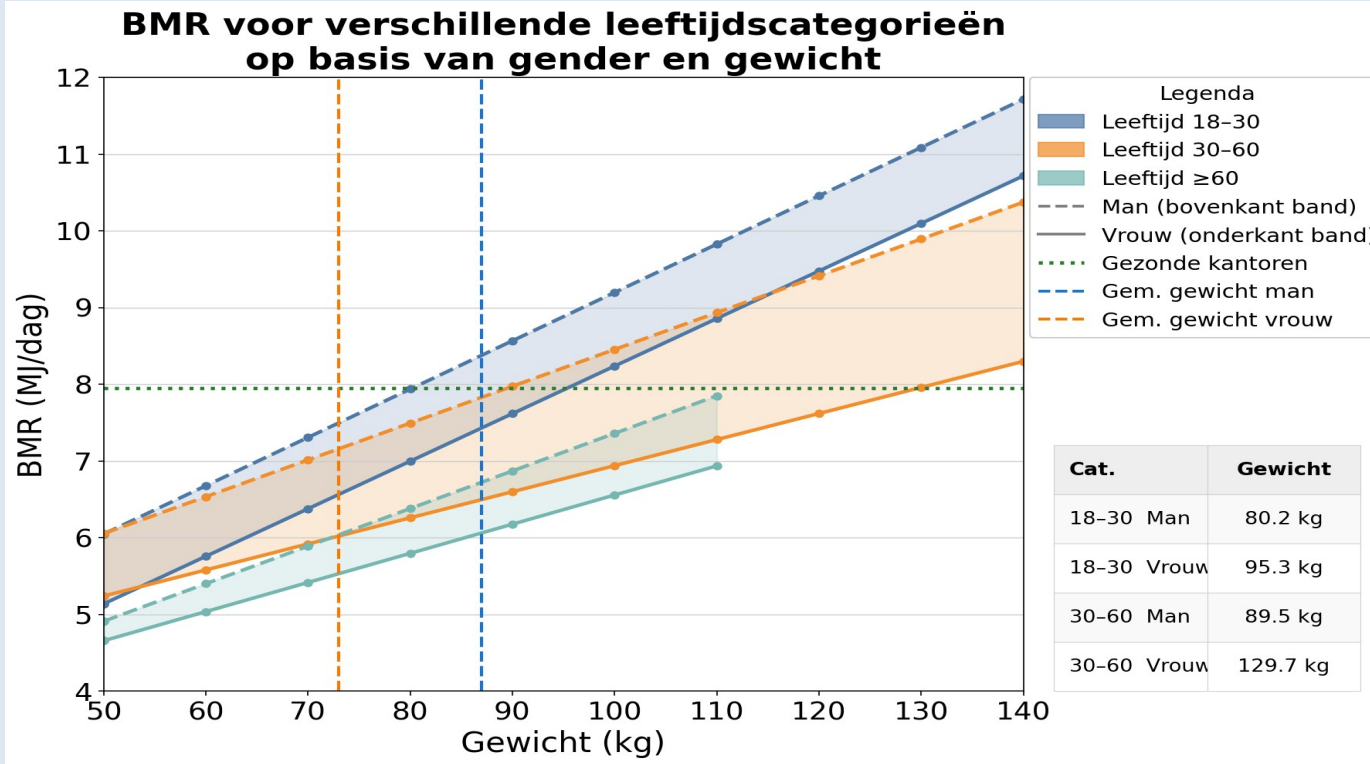
n =gemeten

V =gemeten

$$C(t) = \left[C_i - C_a - \frac{S}{nV} \right] e^{-nt} + \left[C_a + \frac{S}{nV} \right]$$

Aanname: MET = 1,3 | Gecontroleerd: CO₂ buiten = 420 ppm

Schofield BMR waarden



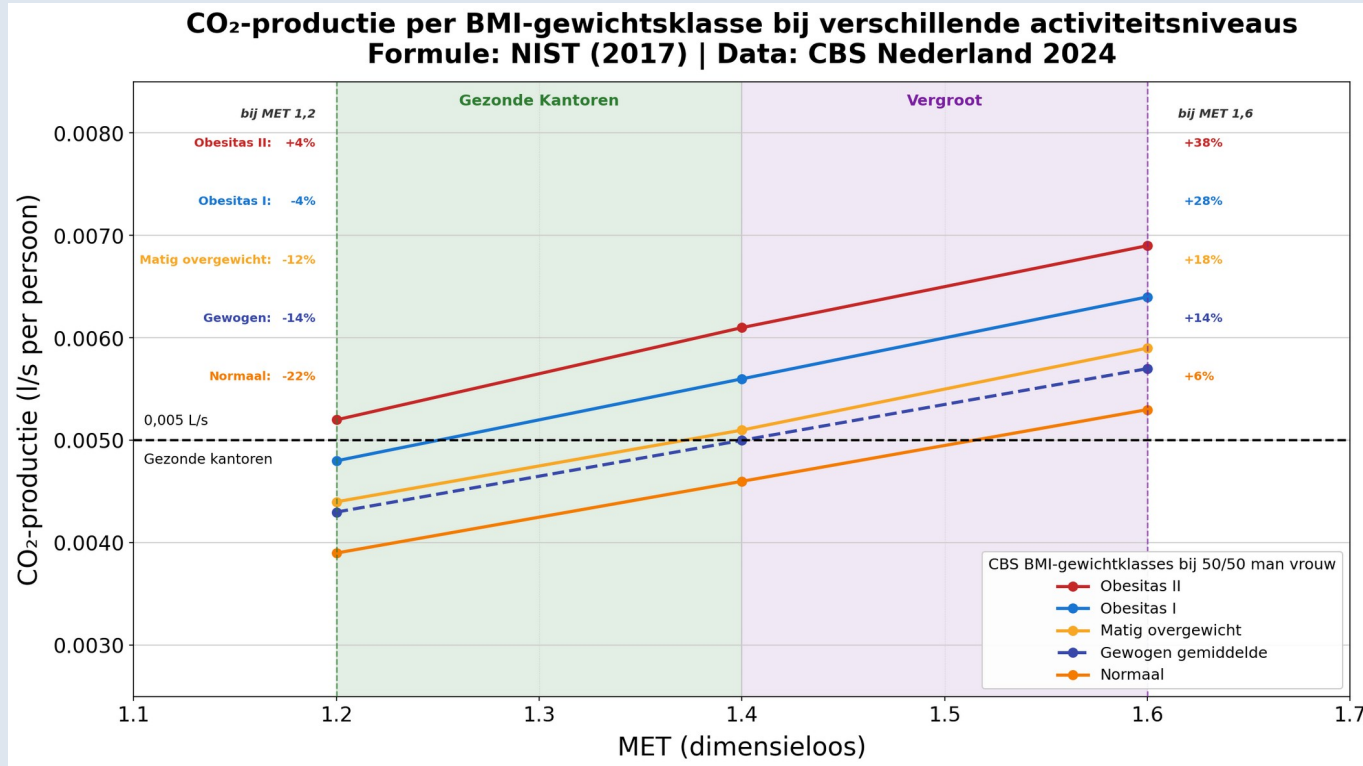
Vraag:
Kan je de BMR bepalen?

Implicatie:
CO₂ heeft vrouwen nodig om mannen uit te balanceren.
Gewicht is van invloed

Invloed MET komt nog

CBS 2024 | Vrouw 72,9 kg | Man 87,2 kg

Gewicht en MET zijn leidend

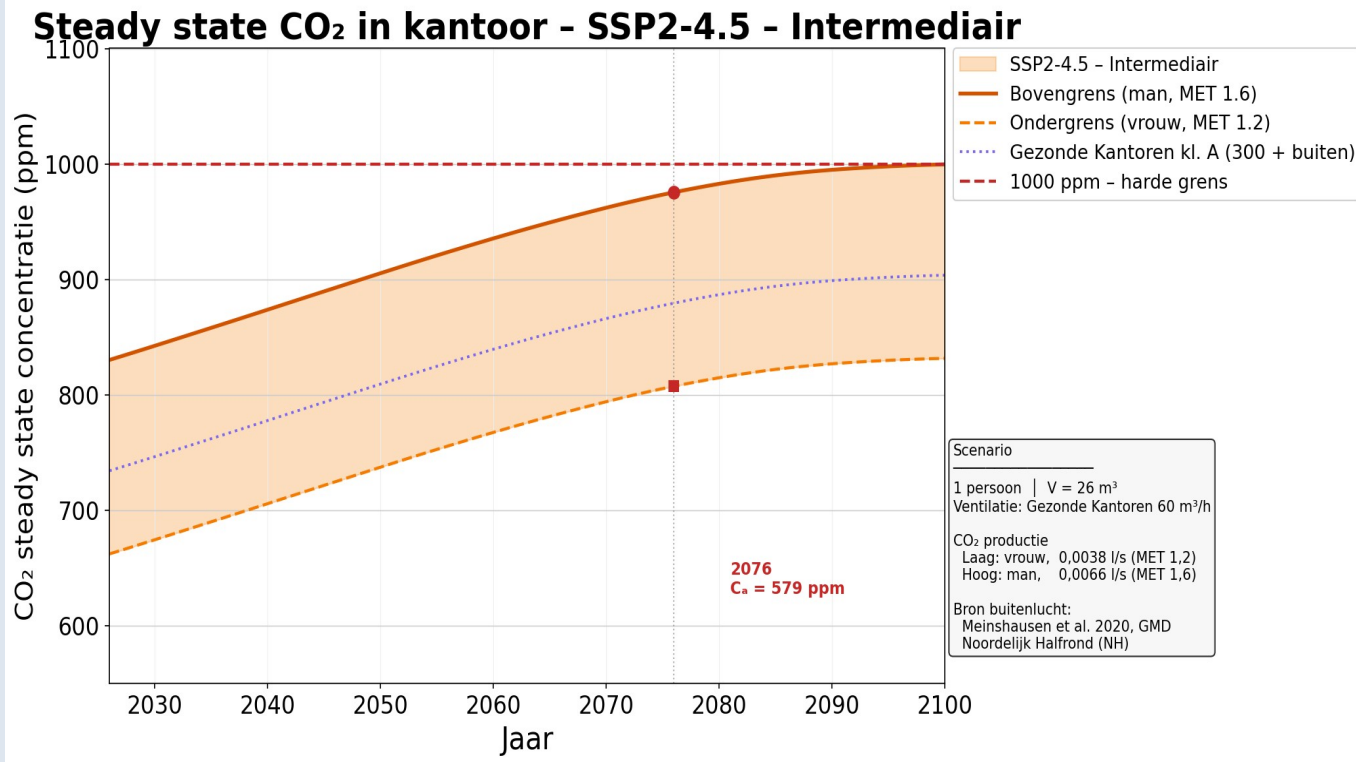


Vraag:
Hoe ziet dit uit voor de huidige populatie van Nederland?

Implicatie:
Gezonde kantoren leidt waarschijnlijk tot onderdimensionering

Het gemiddelde gewicht van NL stijgt

Invloed klimaat verandering



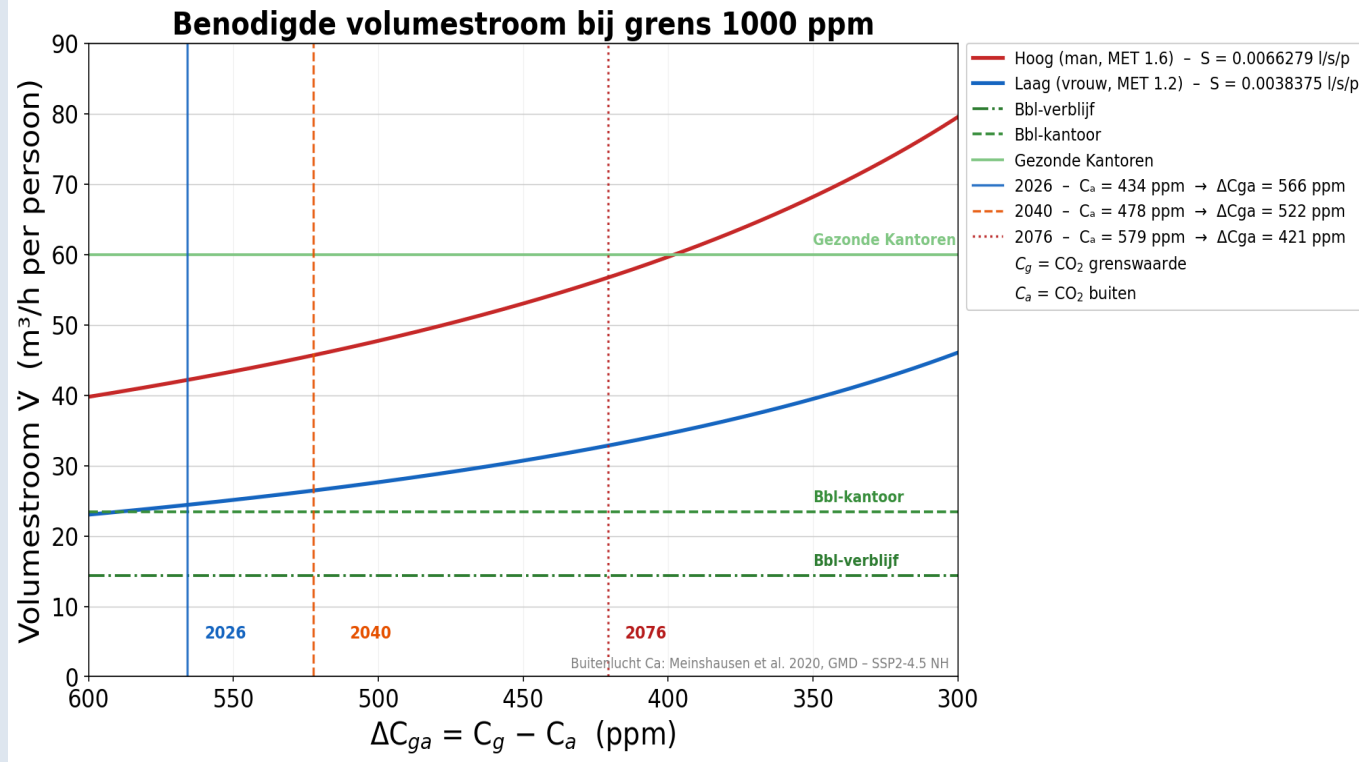
Implicaties:

Gezonde kantoren zullen op papier gezonde blijven. (buiten+300=klasse A)

Voor harde grenzen zal het systeem over zijn ontwerp limiet kunnen gaan, als geen marge.

Intermediair = Middel of the road | emissies stabiel tot 2050, dan dalend

Ontwerp harde grens - passiefkantoren

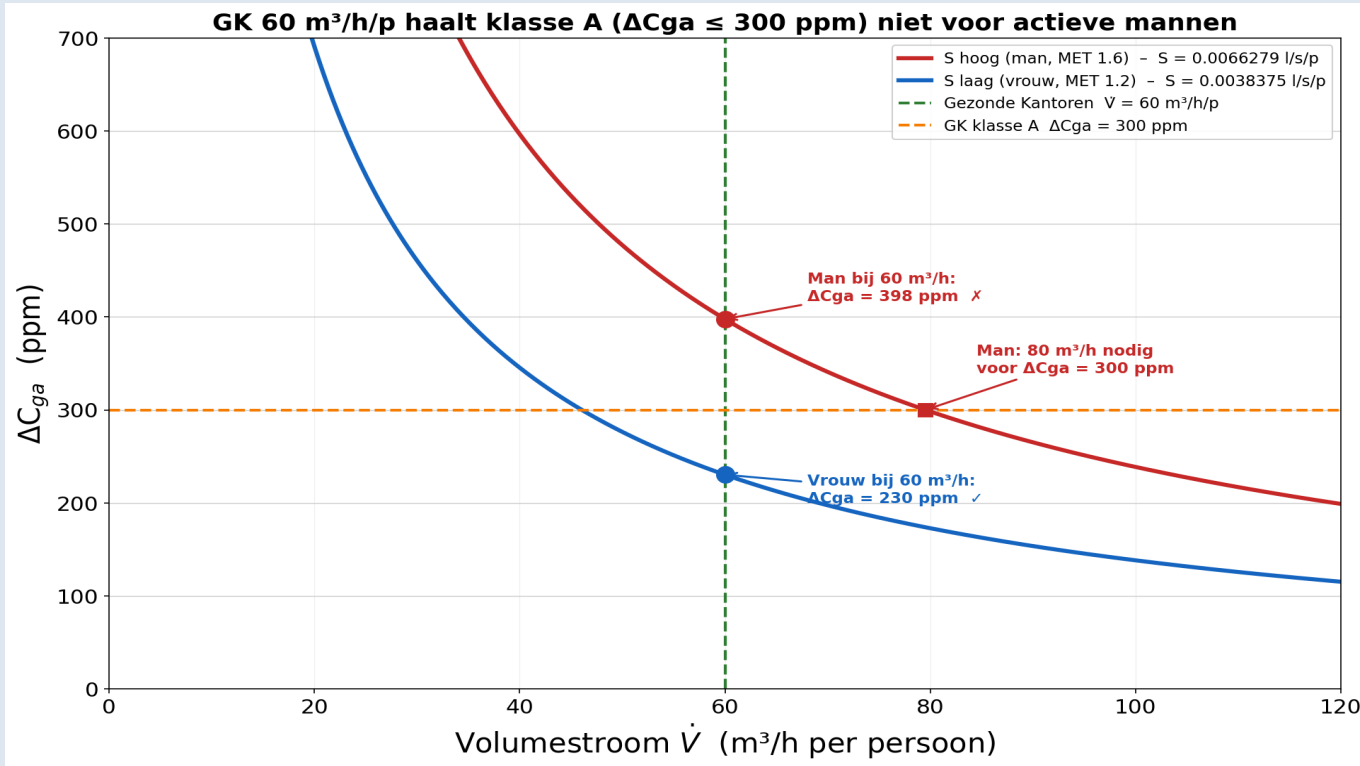


Implicaties:
De stijgende CO₂ heeft een grote invloed op je ontwerp

Bouwbesluit is ongeschikt voor passiefkantoren

$$\dot{V} = 3,6 * 10^6 * \frac{S}{\Delta C_{ga}}$$

Ontwerp relatieve grens – Gezonde kantoren



Implicaties:

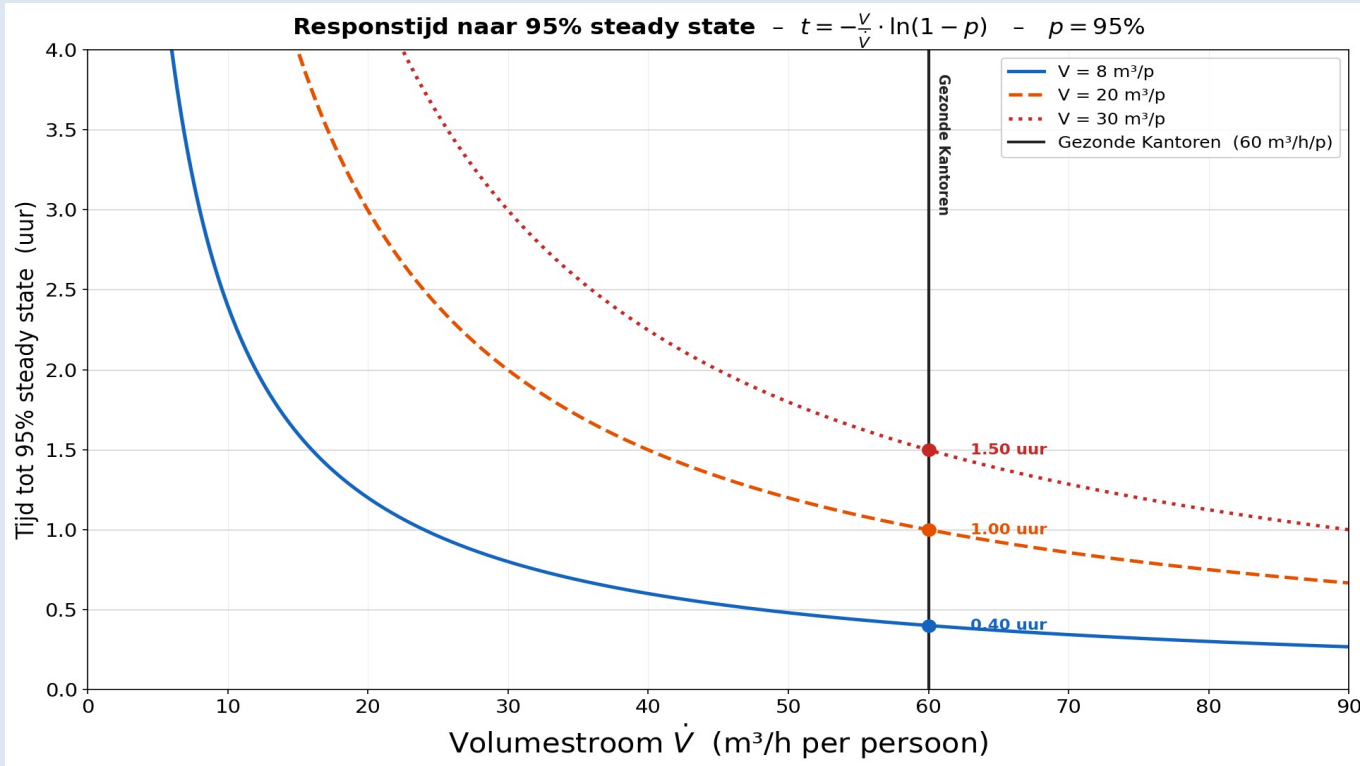
De stijgende CO₂ heeft geen invloed op je ontwerp.

De stijgende CO₂ vraagt wel om periodiek aanpassen van de doelwaarde in het GBS/EMS.

Risico van over gezondheidsgrenzen heen gaan.

$$\dot{V} = 3,6 * 10^6 * \frac{S}{\Delta C_{ga}}$$

Ontwerp tijd aspect



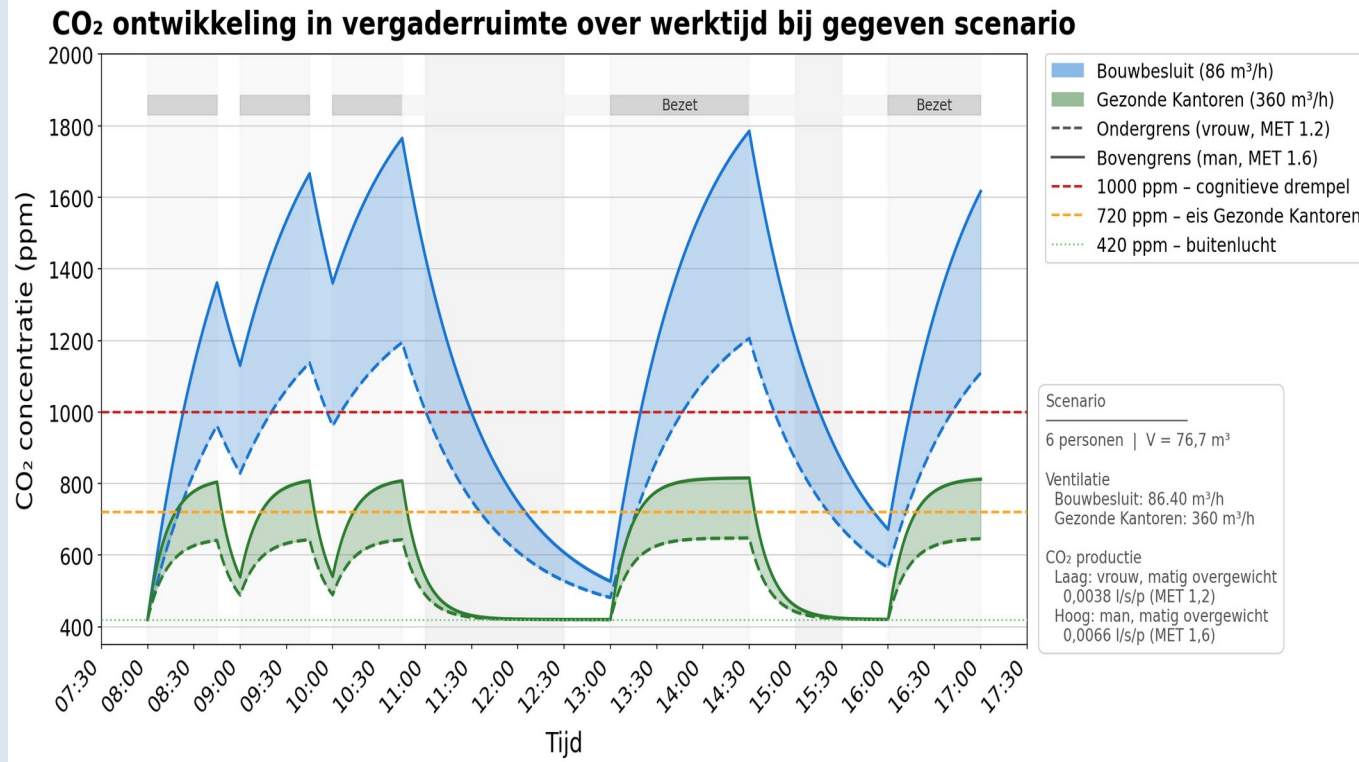
Implicaties:
Hoe minder volume per persoon, de sneller het systeem reageert (hogere ventilatievoud).

Als de tijd langer wordt zullen scenario's van belang worden.

$$t = -\frac{V}{\dot{V}} * \ln(1 - p)$$

$$t = -\frac{1}{n} * \ln(1 - p)$$

Voorbeeld vergader dynamisch



Implicaties:
Scenario's zijn bij lage ventilatie-
vouden van invloed.

Activiteitsniveau (MET) is van
invloed bij GK.

Bezettingsgraad is leidend voor
beide

Steady state | GK klasse A 816-648 | Bbl 2070-1370



Wat hebben we gezien?

- Normen verschillen tot meer dan 80% — geen vaste waarde, gebruik bandbreedte.
- CO₂ gedraagt zich voorspelbaar.
- Gewicht + MET zijn leidend.
- Bouwbesluit is ongeschikt voor passieve kantoren.
- Harde grenzen falen bij stijgende atmosferische CO₂ — ontwerp met marge.



Hoe nu verder?

- Controleer je uitgangspunten
- Ontwerp met hoog/laag combinaties
- Als vakgebied hebben we ontwerprichtlijnen met bandbreedtes nodig voor verschillende situatie (inclusief bezettingsscenario's)

Vragen?





Dankwoord

- Organisatie Low Tech Congress voor het bieden van een platform
- Noud Heijna redacteur blad Techniek Nederland voor challenges van inhoud zodat deze beter is geworden.
- Clarence Rose nZEB tool active house blad
- Binnenklimaattechniek voor opstellen PvE
Gezonde kantoren



Gebruikte bronnen

CO₂-productie normen

- Kenniscentrum Binnenklimaattechniek. Programma van Eisen Gezonde Kantoren, 2021.
- Binnenklimaat Nederland (VLA). VLA Methodiek Gelijkwaardigheid voor Energiebesparende Ventilatieoplossingen in Woningen. Versie 1.3, 17 juli 2018.
- REHVA. Indoor Climate Quality Assessment. REHVA Guidebook No. 14, 2011.
- Persily, A. & de Jonge, L. (2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 27(5), 868–879. doi:10.1111/ina.12383



Gebruikte bronnen

Wet- en regelgeving

- **Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl), Afdeling 4.3, Paragraaf 4.3.6, Artikel 4.121. Geraadpleegd via:**
<https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bbl/hfd4/afd4.3/par4.3.6/art4.121>
- **Meinshausen, M. et al. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. Geoscientific Model Development, 13, 3571–3605.**
 - <https://gmd.copernicus.org/articles/13/3571/2020/>
 - **SSP2-4.5 scenario, Noordelijk Halfrond.**



Gebruikte bronnen

Populatiegegevens

- CBS (2024). Lichaamsgewicht Nederlandse bevolking. Geraadpleegd via: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/81565NED/table>

Schofield BMR vergelijkingen

- Schofield, W.N. (1985). Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human Nutrition: Clinical Nutrition*, 39C(Suppl 1), 5-41. Geciteerd via Persily & de Jonge (2017), Tabel 1.