

B1 **Systeemconcepten en** **-integratie**

3 december 2020

B1 - Systemconcepten en -integratie



Dit rapport is opgesteld door TNO als onderdeel van WINDOW.

Auteur:

Frank van Bergen

Op basis van input van Joost van Stralen en Gaby Jansen (TNO)

3 december 2020

Dit project is mede gefinancierd door TKI-Energie en TKI-Watertechnologie uit de Toeslag voor TopConsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

WINDOW is een acroniem voor Warmtevoorziening In Nederland Duurzamer met Ondergrondse Warmteopslag. Doel van het WINDOW-programma is het wegnemen van technische, juridische en bedrijfseconomische belemmeringen en beter inzicht krijgen in de effecten voor het verantwoord toepassen van ondergrondse warmteopslag, zodat ondergrondse warmteopslag na 2025 als bewezen techniek kan worden toegepast en kan bijdragen aan kostenreductie van collectieve warmtesystemen op systeemniveau.

Keywords

Ondergrondse warmteopslag, HTO

Jaar van publicatie

2020

Meer informatie

Frank van Bergen

E frank.vanbergen@tno.nl

December 2020 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoudsopgave

1. Introductie	4
1.1 Omschrijving en doel van het WINDOW project	4
1.2 Doel van het werkpakket B1 - Systeemconcepten en -integratie	4
1.3 Aanpak	5
1.4 Resultaat en toelichting uitkomsten workshop	5
1.5 Vervolg	6

1. Introductie

1.1 Omschrijving en doel van het WINDOW project

Opslag van warmte in de ondergrond is een van de goedkoopste vormen van energieopslag. Opslag van warmteoverschotten in de zomer (van geothermie, industriële restwarmte, zon of wind) en gebruik ervan in de winter kan een belangrijke schakel in de warmtetransitie zijn. Ondergrondse warmteopslag bij temperaturen hoger dan 40°C wordt echter nog zeer beperkt toegepast in Nederland. Met betrekking tot de techniek, de effecten, de robuustheid van de business case en het bijbehorende juridische kader zijn er belangrijke uitdagingen. Kennisontwikkeling, kennisdeling en ervaring is nodig voor een snellere en verantwoorde implementatie van ondergrondse warmteopslag in Nederland. Doel van het WINDOW-programma is het wegnemen van technische, juridische en bedrijfseconomische belemmeringen en beter inzicht krijgen in de effecten voor het verantwoord kunnen toepassen van ondergrondse warmteopslag ten behoeve van de verduurzaming van de warmtevoorziening in Nederland. Dit doen we door verkenningen en demonstratieprojecten in Nederland te ondersteunen en daaruit opgedane kennis en ervaring te delen en te benutten bij het gezamenlijk ontwikkelen van generieke tools, in nauwe samenwerking met stakeholders en beleidsmakers. Einddoel is dat ondergrondse warmteopslag na 2025 als bewezen techniek kan worden toegepast. De resultaten dragen bij aan kostenreductie van collectieve systemen op systeemniveau en een optimale benutting van duurzame warmtebronnen.

1.2 Doel van het werkpakket B1 - Systeemconcepten en -integratie

Dit werkpakket richt zich op de vergelijking van ondergrondse warmteopslag met andere opslagtechnieken, de rol in de energietransitie en financiële kaders. Dit rapport beschrijft de activiteiten die zijn ondernomen in het kader van Fase 1.

In Fase 1 was het doel om de mogelijkheden te onderzoeken om op nationale schaal de mogelijke rol en impact van de grootschalige toepassing van HTO-systemen te modelleren. Een dergelijke modellering moet antwoord gaan geven op de volgende vragen:

- Wat is de toegevoegde waarde van ondergrondse warmteopslag voor warmtenetten en in de energietransitie algemeen?
- Hoe verhoudt dit zich met andere opslagtechnieken en opties die flexibiliteit bieden aan het Nederlandse energiesysteem?

Hiervoor is een model nodig dat HTO-systemen mee neemt in het totale energie-systeem van Nederland. Dergelijke modellen zijn wel beschikbaar, maar deze nemen momenteel HTO, of in bredere zin opslag van warmte, nog niet mee. Het doel van dit werkpakket, gegeven beschikbaar tijd en budget in fase 1, is daarom om samen met de stakeholders in het WINDOW programma te beschouwen wat de (financiële) kaders zijn van HTO-systemen om in een model meegenomen te worden dat het energiesysteem op nationale schaal doorrekent. Als model is hiervoor reeds in het voorstel OPERA geselecteerd¹, aangezien in dit model reeds een opslagmodule is geïntegreerd (hoewel niet op warmte). Op dit moment rekent het model met mogelijkheden voor elektriciteit opslag (ondergrondse opslag als CAES, opslag in elektrische voertuigen, en in elektrochemische batterijen.) en waterstofopslag (ondergronds en in tanks). De warmte opslag zal net als elektriciteit- en waterstofopslag tamelijk generiek geschreven worden. Er zal moeten worden aangegeven in welk temperatuurniveaus de opslag zit (uitgaande van warmtestromen voor 4-5

¹ Zie: <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2020/5/scenario-s-toekomstig-duurzaam-en-betaalbaar-energiesysteem/>

verschillende niveaus), wat zijn kosten voor het 'laden' en 'ontladen' van warmte, eventuele kosten voor het opslagmedium en verlies gedurende opslag en/of (ont)laden. Verschillende fysieke opties zullen dus onderscheiden worden op grond van deze gegevens en eventueel limieten die er zijn voor capaciteit van (ontladen) en opslag.

De evaluatie met de stakeholders zal een schets van de hoofdlijnen van de (financiële) kaders van HTO opleveren wat als basis kan dienen voor verdere modelontwikkeling.

1.3 Aanpak

De volgende aanpak is gevolgd binnen WINDOW om te komen tot een workshop met stakeholders.

- Kennisopbouw binnen het OPERA-team op het gebied van HTO
- Onderzoeken en opstellen van de concept randvoorwaarden voor HTO in OPERA, o.a. op basis van overleg binnen het WINDOW uitvoeringsteam met Deltares. Scoping van (on)mogelijkheden en randvoorwaarden voor de modellering van het warmte-systeem en de rol van warmteopslag
- Afstemming van concept randvoorwaarden voor HTO in OPERA met de stakeholders in een workshop. Deelnemers kunnen concrete feed-back geven voor aanpassingen en implementatie.

De workshop is gehouden op 24 september 2020.

1.4 Resultaat en toelichting uitkomsten workshop

Voorafgaand aan de workshop op 24 september is er diverse keren overleg geweest via e-mail en Teams tussen de TNO experts op het gebied van HTO en experts die werken aan het OPERA model. Hierbij is Deltares (Ivo Pothof) ook enkele keren aangesloten. Op basis van deze overleggen is er gekeken hoe warmteopslag in het OPERA het best valt in te passen en welke randvoorwaarden moeten en kunnen worden meegenomen. Daarnaast is er ook naar de aansluiting gekeken bij andere lopende initiatieven, zoals bijvoorbeeld het proxy model dat in het HEATSTORE (<https://www.heatstore.eu/>) is gemaakt voor HTO waardoor er niet een heel ondergrondmodel gerund hoeft te worden maar wel met een set aan acceptabele parameters gerekend kan worden in modellen als CHESS en wellicht ook in OPERA.

Het doel van de workshop was een peiling van de meerwaarde die er vanuit de stakeholders in het Window project gezien wordt voor een modellering op nationaal niveau. Nationale modellering wordt ingezet om het effect van ondergrondse warmteopslag met andere opslagtechnieken te kunnen vergelijken, en de mogelijke rol van HTO in de energietransitie te schetsen.

De agenda van de workshop op 24 september was als volgt:

- Presentatie van het Opera model (wat doet het en wat kan het) (20 minuten)
- Voorgestelde aannames/eisen/randvoorwaarden voor de implementatie van HTO in het model (15 minuten)
- Discussie en toetsing van deze aannames bij de stakeholders (25 minuten)
- Algemene feed-back en plan van aanpak voor het vervolg in fase 2 (20 minuten)
- WVTTK (10 minuten)

De presentaties van de workshop zijn te vinden in Bijlage 1. De workshop is online bijgewoond door 12 personen. Deze groep is gevraagd om mee te werken aan een inventarisatie door een zgn. mentimeter in te vullen (zie Bijlage 2). Hoewel de uitkomsten van deze mentimeter interessant zijn als een eerste indicatie moet worden opgemerkt dat het aantal respondenten per vraag te laag is om representatief te zijn voor de groep stakeholders in WINDOW. De uitkomsten zullen dan ook alleen als indicatie gebruikt

worden en de keuze voor de inputwaarden zullen in een later stadium onderbouwd en geverifieerd moeten worden.

De belangrijkste uitkomst van de workshop is dat er waarde wordt gehecht aan het modelleren op nationaal niveau omdat HTO/warmte-opslag als essentieel onderdeel wordt gezien van de energietransitie. Daarnaast is een belangrijke technische uitkomst dat er een duidelijke voorkeur is uitgesproken voor het meenemen van lagere temperatuur niveaus (<100°C) om HTO te modelleren.

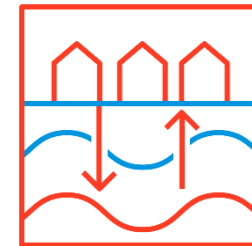
1.5 Vervolg

Omdat de uiteindelijke modellering op nationaal niveau zal worden uitgevoerd zal de HTO optie als generiek systeem moeten worden meegenomen. Er moet een soort standaard HTO worden gemaakt die in OPERA ingebouwd kan worden.

OPERA is niet het enige systeemmodel en wordt als elk model gekenmerkt door sterktes en beperkingen. Vanuit de workshop is naar voren gekomen dat er behoefte is aan een model dat op nationale schaal de HTO-optie door kan rekenen maar de vergelijking tussen verschillende modellen (bijv, Chess en WANDA) viel buiten de scope van de workshop. Het verdient aanbeveling om de verschillende modellen wel duidelijk ten opzichte van elkaar te positioneren en aan te geven waar de strekten en toepassingsgebieden van elk model liggen.

Met de uitkomsten van de workshop in het achterhoofd zal er gestart worden met de implementatie van warmteopslag in OPERA, binnen en/of buiten Warming-Up/WINDOW. Na implementatie kan OPERA de rol van (ondergrondse) warmte opslag laten zien voor Nederland en wat het voordeel voor de maatschappelijke kosten kan zijn. Daarnaast kan de concurrentiepositie t.o.v. andere technieken (warmtepompen, HR ketels, waterstof boilers) of andere vormen van seizoensopslag (elektriciteit, waterstof) worden geëvalueerd.

Bijlage 1 Workshop presentaties

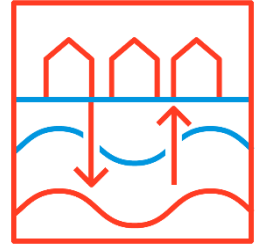


WINDOW B1

Systemconcepten en –integratie

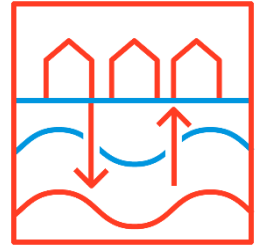
September 24th 2020

Agenda of workshop



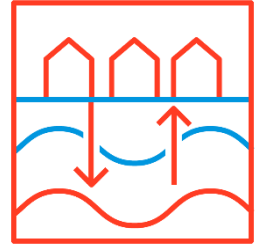
- Introductie
- Presentatie van het Opera model (wat doet het en wat kan het) (20 minuten)
- Voorgestelde aannames/eisen/randvoorwaarden voor de implementatie van HTO in het model (15 minuten)
- Discussie en toetsing van deze aannames bij de stakeholders (25 minuten)
- Algemene feed-back en vervolg in fase 2 (20 minuten)
- WVTTK (10 minuten)

Werkplan B1 – Systemconcepten en – integratie

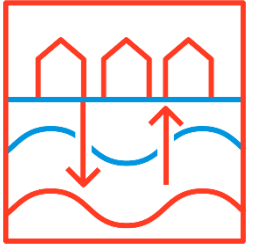


- **Doel:** vergelijking van ondergrondse warmteopslag met andere opslagtechnieken, de rol in de energietransitie en financiële kaders
- **Onderzoeksvragen:** Wat is de toegevoegde waarde van ondergrondse warmteopslag voor warmtenetten en in de energietransitie algemeen? Hoe verhoudt dit zich met andere opslagtechnieken en opties die flexibiliteit bieden aan het Nederlandse energiesysteem?
- **Opbrengsten:** Een schets van de hoofdlijnen van de financiële kaders van HTO en het systeemperspectief op nationale schaal.
- **Aanpak:** voor het systeemperspectief op nationale schaal zal het model OPERA worden geevalueerd om inzicht te verkrijgen in de bijdrage van ondergrondse warmteopslag in het energiesysteem.
- **Uitvoering:** TNO, Deltares en partners

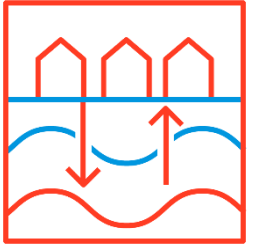
Doel van de workshop



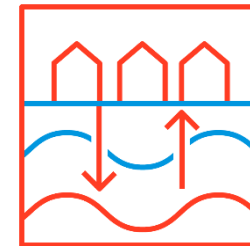
- Doel van de WINDOW workshop
 - Introductie van OPERA – energie model op nationale schaal
 - OPERA kan de rol van (ondergrondse) warmte opslag laten zien voor Nederland en wat het voordeel voor de maatschappelijke kosten kan zijn
 - Toetsing van verwachtingen en aannames/eisen/randvoorwaarden voor het model
 - Deelnemers kunnen concrete feed-back geven voor aanpassingen en implementatie
- Vervolg
 - Rapportage over uitkomst van de workshop
 - Advies over vervolg in Fase 2



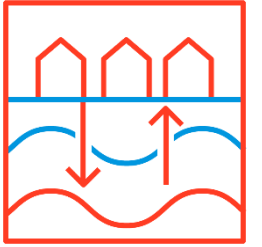
Presentatie van het Opera model



Discussie en toetsing van aannames



- www.mentimeter.com
- Code: 8490691

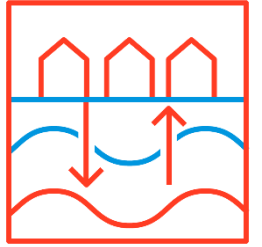


Description of the OPERA model

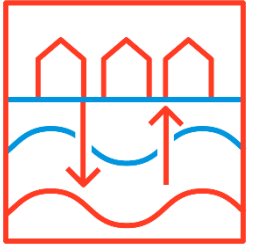
- WINDOW workshop WP B1
September 24th

Joost van Stralen & Gaby Janssen (TNO)

Content



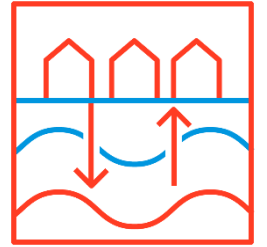
- OPERA very brief overview
- Regions and time-resolution
- Sectors and heat in OPERA
- Overview of the scenario's ADAPT and TRANSFORM
- Storage in OPERA
- Discussion and questions



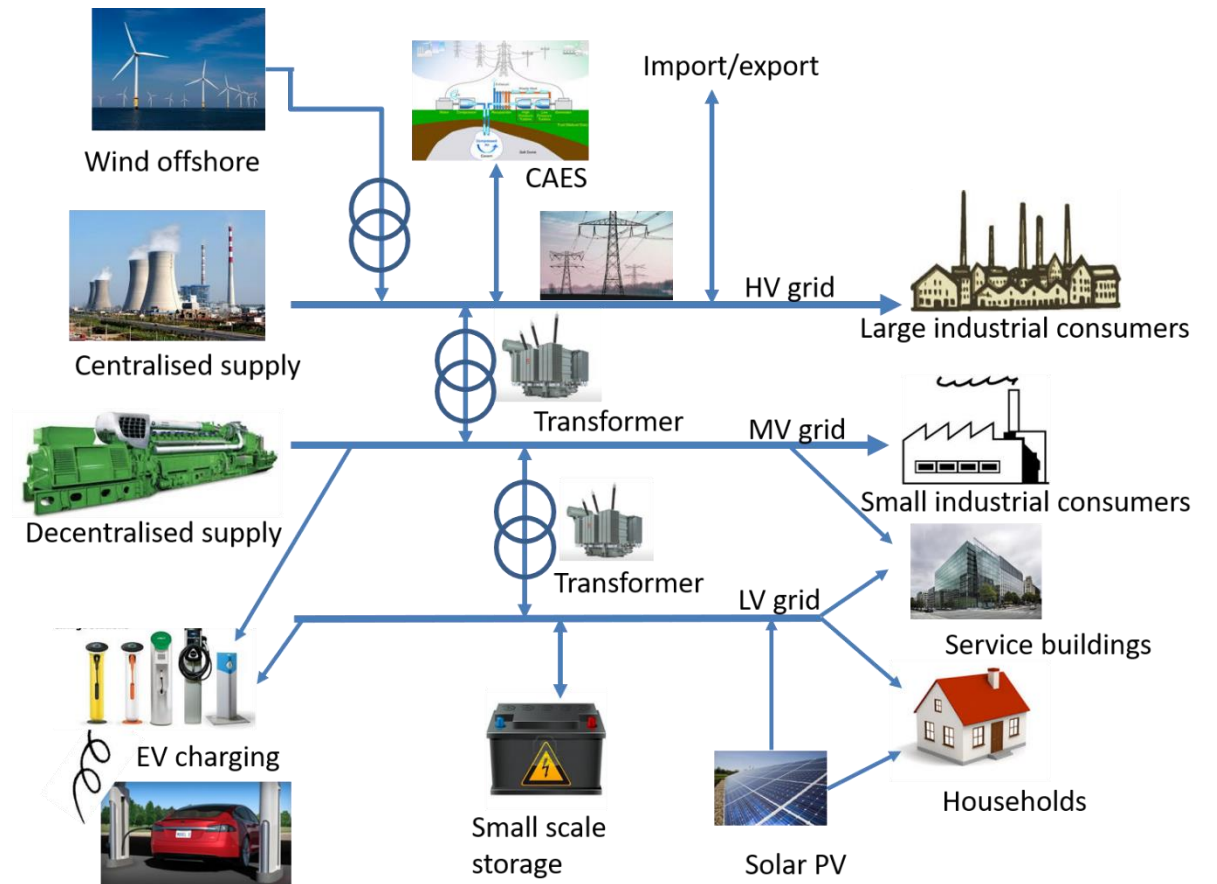
OPERA: brief overview (1)

- Integral energy system analysis of NL.
- Optimization. Mix of technology options that give lowest system costs, given:
 - System requirements: energy service demand per sector
 - Policy targets (GHG, RES, savings)
 - Potentials/ availability of options
- Coverage of full GHG balance: CO₂, non-CO₂ and non-energy emissions
- High time-resolution to properly cover VRES, flexibility and storage
- ~500 technologies: Production – Conversion – Transport – Storage – Demand
- Developed in AIMMS. Versatile and extensive User Interface.
- Single year optimization, not over a time horizon like TIMES, MARKAL, but possible to link individual years (part in capacity this is installed in year x is still available in year y)

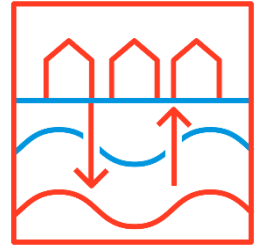
OPERA brief overview (2)



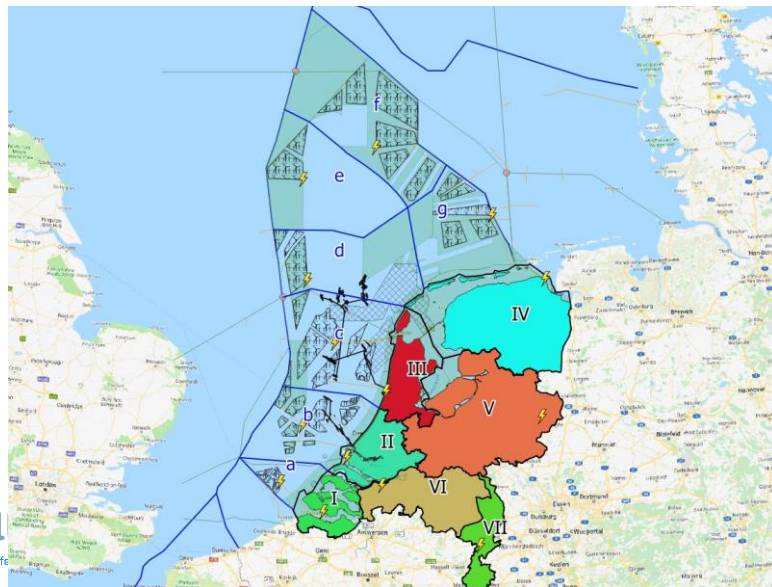
- Demand and supply options are connected via different network levels
- For electricity HV, MV and LV
- For natural gas 3 levels as well, for hydrogen 2 (but can be admixed in natural gas network as well). For heat there is currently 1 level.
- Demand and supply within a sector are directly connected (without network)
- Energy storage is also part of the network system



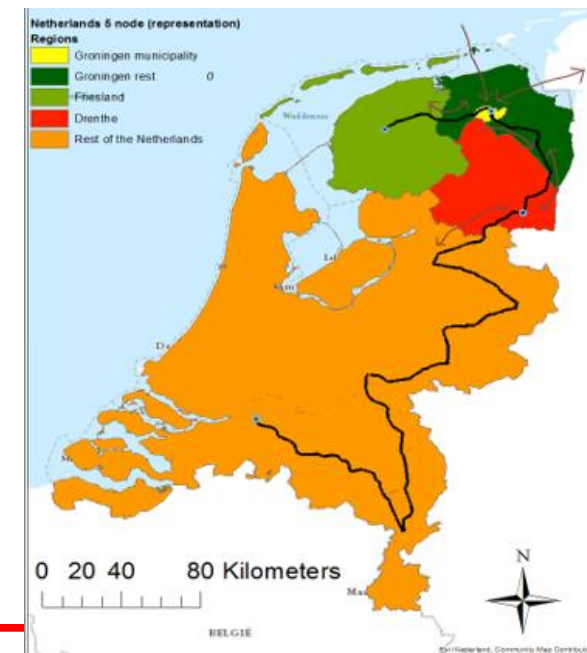
Other characteristics: regions and time-resolution



- It is possible to use regions in OPERA, although at a coarse scale (see maps for examples used in NSE3/TNO scenario's and ESTRAC. Electricity, hydrogen and natural gas can cross regional border, heat not.
- In a first step OPERA uses time-slices (grouping of similar hours). In a 2nd step a run can be done on an hourly basis (if only one region/node) or 4-8 hours steps (multi region). Chronological order is important for storage.



Regional heat delivery from industry to other sectors (PJ), ADAPT 2050



WINDOW fase 1

Sectors and heat (2)

Agriculture
-Final heat demand [PJ]

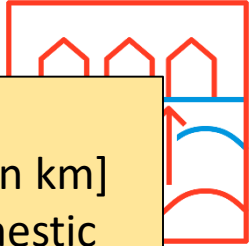
Central electricity supply
-no final demand, purely supply
-Power stations, CHP and heat plants [PJ]

Transport & bunker fuels
-passenger cars;trucks;LDV [Mln km]
-Final energy demand rest domestic transport [PJ]
-International shipping and aviation

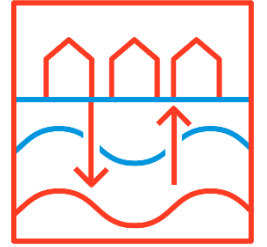


Built environment
-heating of apartments, terraced houses and other dwellings [Mln # dwellings]
-heating of 5 types of services buildings [Mln km2 of Gross Floor Area]

Industry
-Steel production [Mton steel]
-Aluminium production [Mton Al]
-Fertilizer production [Mton NH3]
-High value chemical production [Mton HVC]
-Remaining part of chemical sector [PJ]
-MSW incineration [PJ]
-Refineries (incl biofuel and P2L) [PJ]
-Final demand food and beverage [PJ]
-Final demand rest ETS industry [PJ]
-Final demand rest non-ETS industry [PJ]



ADAPT and TRANSFORM scenarios - storylines



ADAPT

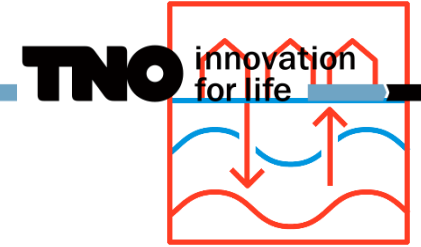
- Netherlands and EU will meet 2030 and 2050 GHG reduction target.
- Society validates current living standards.
- Industrial production and economic structure remain.
- National and local government take the lead.
- Innovation: adapting and optimizing the energy system and industrial processes.
- Keep options open and structural change post 2020.
- Fossil fuels is expected to be utilized in combination with carbon capture storage (CCS) to abate CO₂ emissions

- Scenario's developed in 2019. Project finalized begin 2020
- Results available on internet: [white paper](#); [report](#)

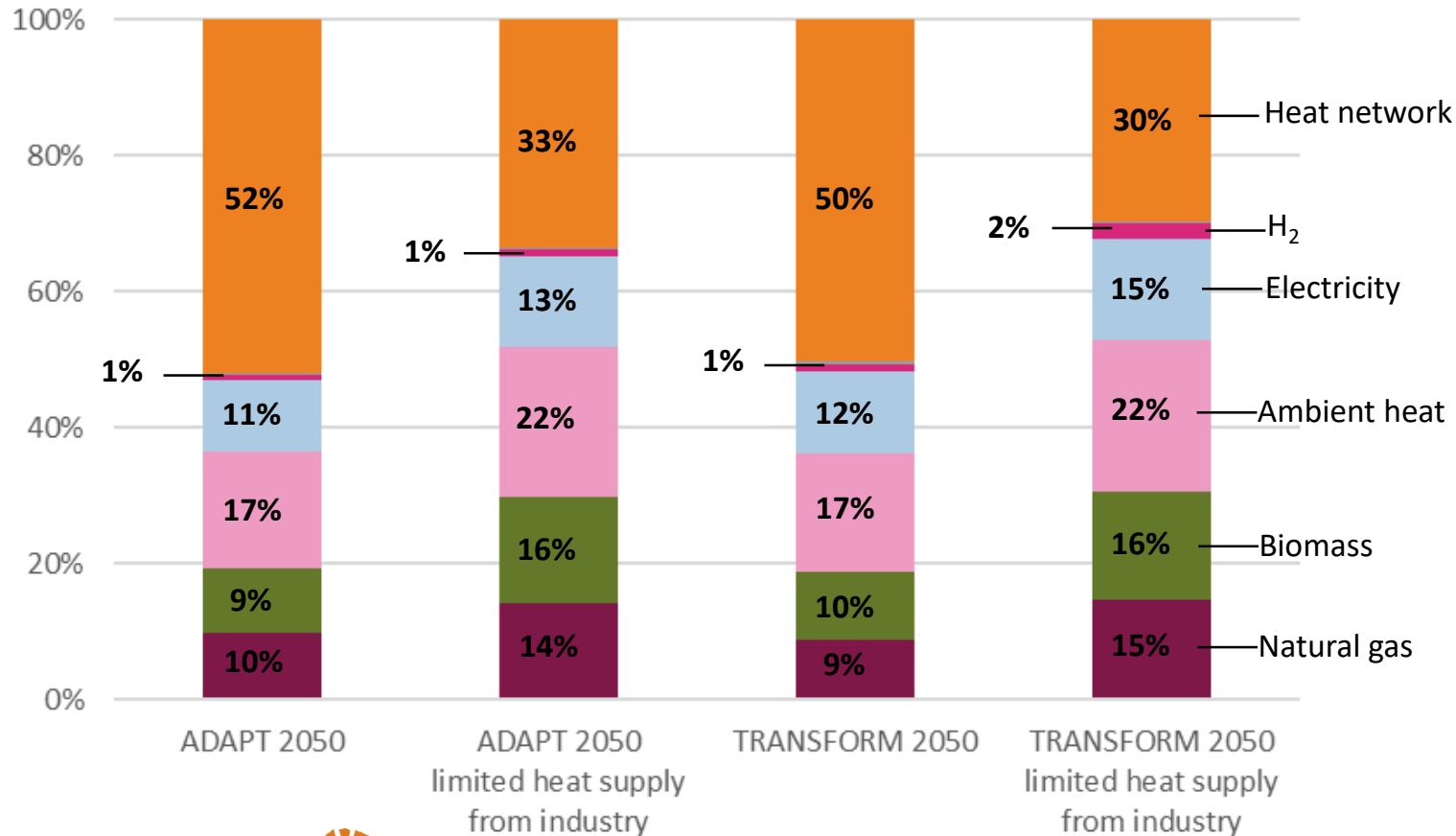
TRANSFORM

- Netherlands and EU will meet 2030 and 2050 GHG reduction target.
- Strong environmental awareness and sense of urgency in society.
- EU and Netherlands want to become innovative power house.
- Individual and collective action by civilians.
- Ambitious transformation of energy system and replacement of energy intensive industry.
- Reduction of emission intensive activities (heavy industries, cattle, international travel, ...)
- No carbon capture Storage (CCS) and limited biomass use

ADAPT and TRANSFORM scenarios – results (1)

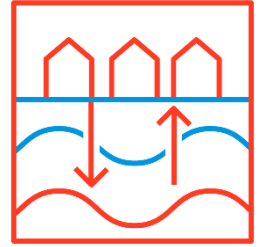


Becoming natural gas free
restricting heat supply from industry increases natural gas use

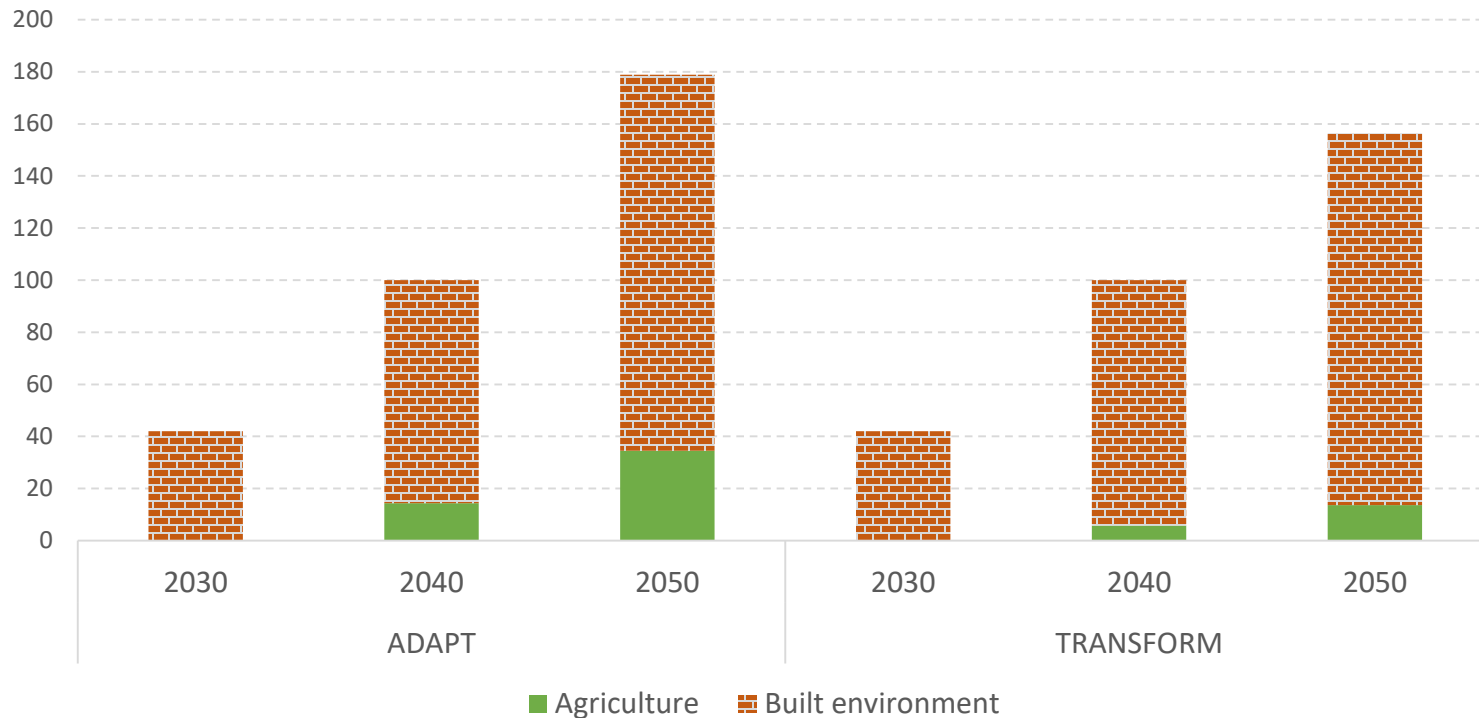


- Natural gas in heat generation in 2018: 84% built environment; 83% agriculture
- Natural gas replaced in built environment by:
 - **Individual systems:** heat pumps, electricity, hydrogen, biomass
 - **Collective systems:** residual heat from industry and waste incineration
- Agriculture sector: more residual heat in ADAPT; more biomass in TRANSFORM; geothermal energy in both scenarios

ADAPT and TRANSFORM scenarios – results (2)

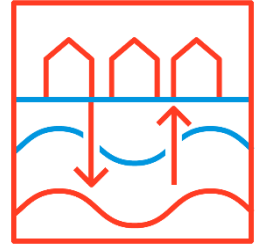


External heat supply to agriculture and built environment [PJ]

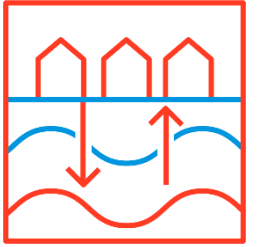


- 41 PJ in 2030, in line with Climate Agreement
- Significant growth after 2030
- Modelling was done excluding different building types and labels. Heat saving contribution is likely to be underestimated

Storage in OPERA



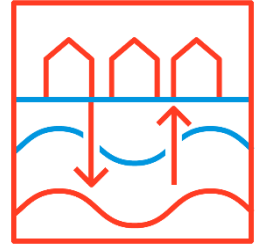
- Electricity and hydrogen storage included (incl. underground)
 - Dynamics of charge/discharge over the year are optimized with n-hour resolution
- Storage options split in 3:
 - Charge part
 - Storage part
 - Discharge part
- UG heat storage: data required
 - Temperature level, connection to supply (sector) & demand (sector)
 - Cost & efficiency data items, see next slide



Storage in OPERA – data items

- Charge/discharge

Item	Unit	Comment
Ratio energy input/output	PJ/PJ heat	
Investment cost	Mln €/GW	
Fixed O&M cost	Mln €/GW/yr	
Variable O&M cost	Mln €/PJ	Excluding fuel/energy cost. That is covered via Energy inputs
Lifetime	yr	

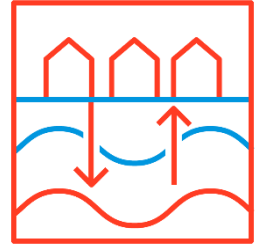


Storage in OPERA – data items

- Storage (to be considered as the physical entity in which the energy is stored)

Item	Unit	Comment
Storage losses	%/hr	
Investment cost	Mln €/PJ	Cost per volume of storage potential
Fixed O&M cost	Mln €/PJ/yr	
Variable O&M cost	Mln €/PJ	Excluding fuel/energy cost. That is covered via Energy inputs
Lifetime	yr	
Potential	PJ	Total national potential (optional)

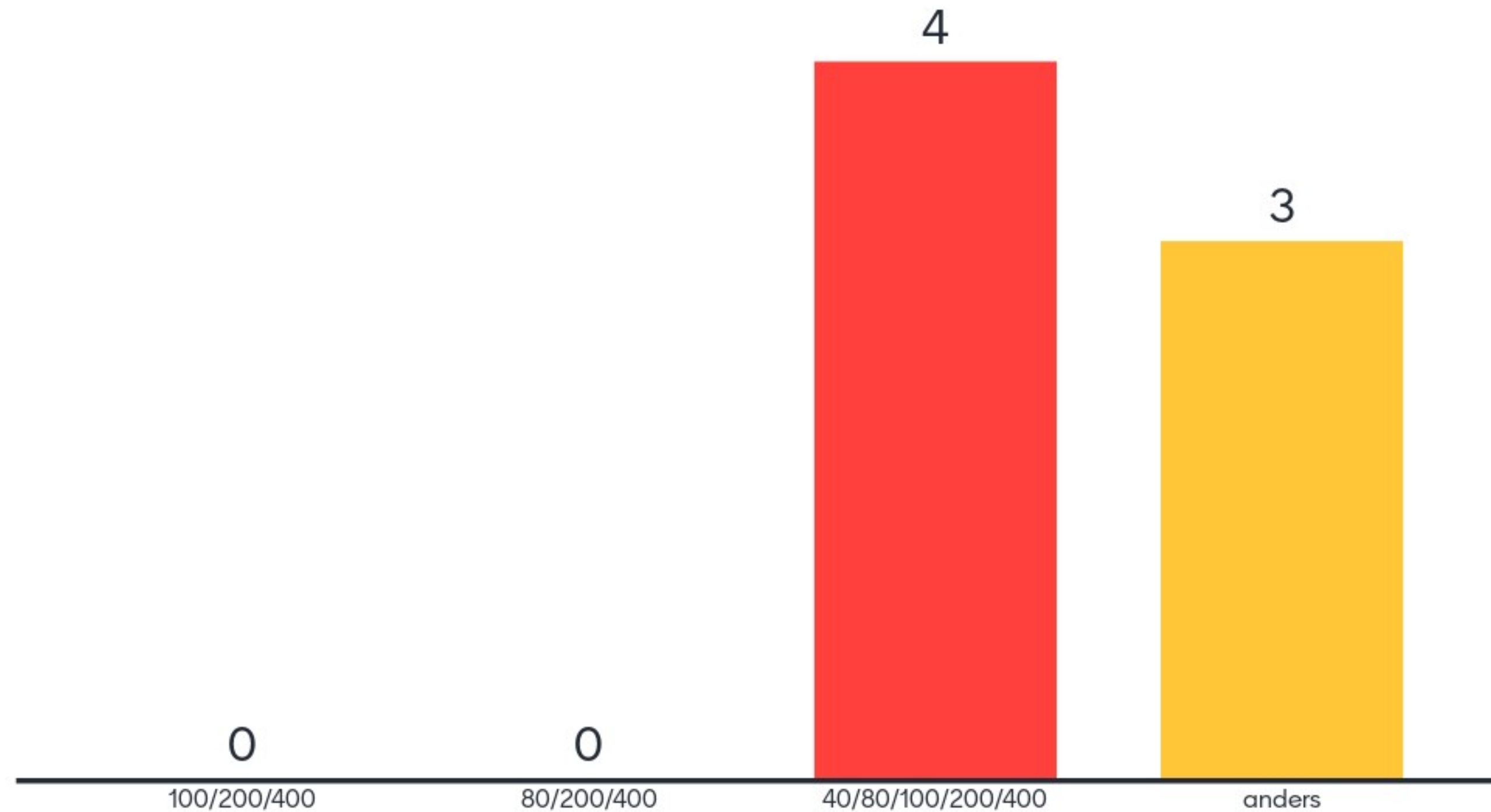
Discussion and questions



- Are there any questions
- Would an analysis from a national system perspective be interesting?
- What would be a relevant temperature split for heating grids? 100 °C (or 120 °C ?) and 40 °C?

Bijlage 2 Uitkomsten Mentimeter

Opera werkt met verschillende temperaturen van levering.
Waar ziet u de grenzen van deze temperatuurdomeinen
(als HTO wordt meegenomen)?



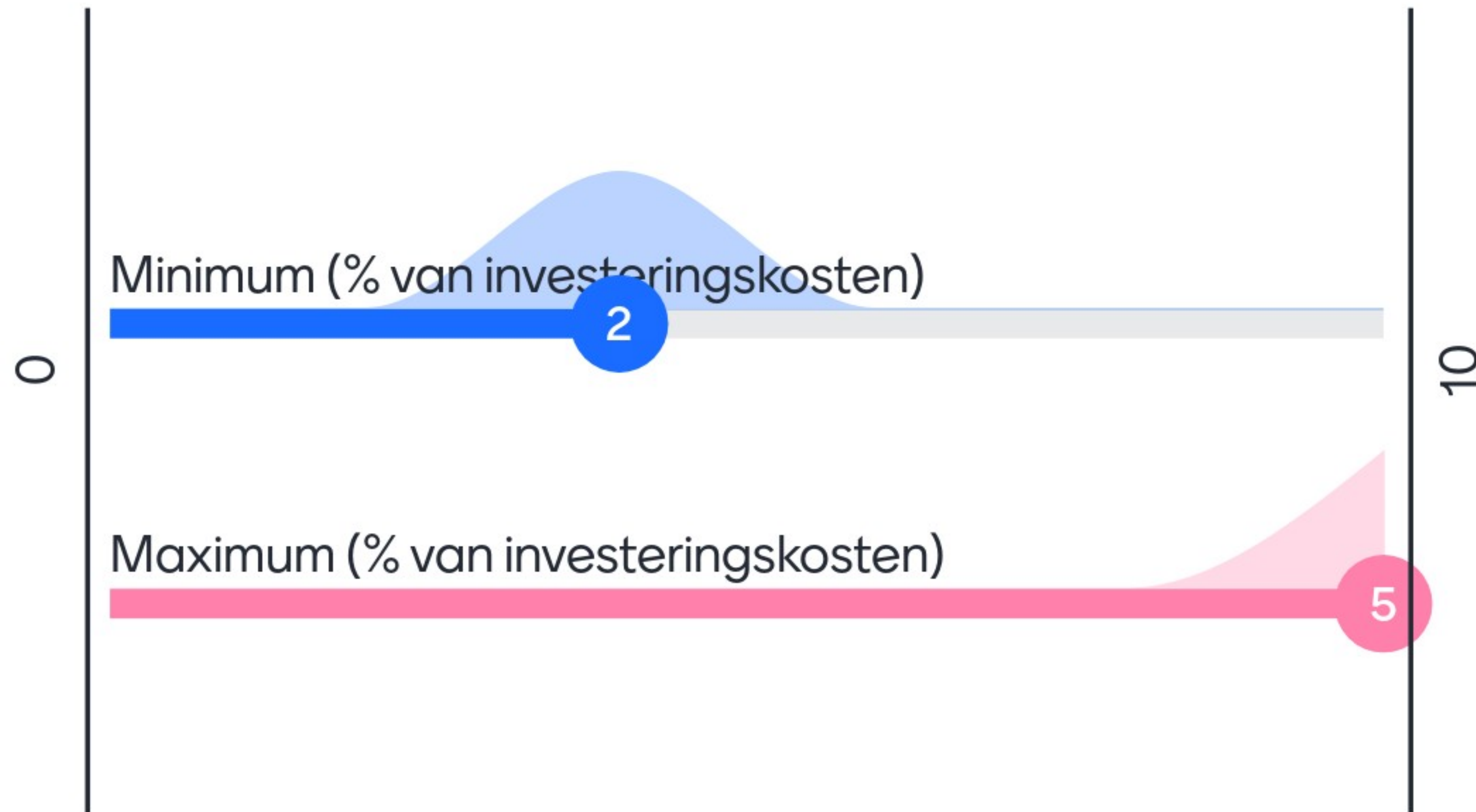
Welk % opslagverlies (per seizoenscyclus) moet mee worden genomen voor een standaard HTO?



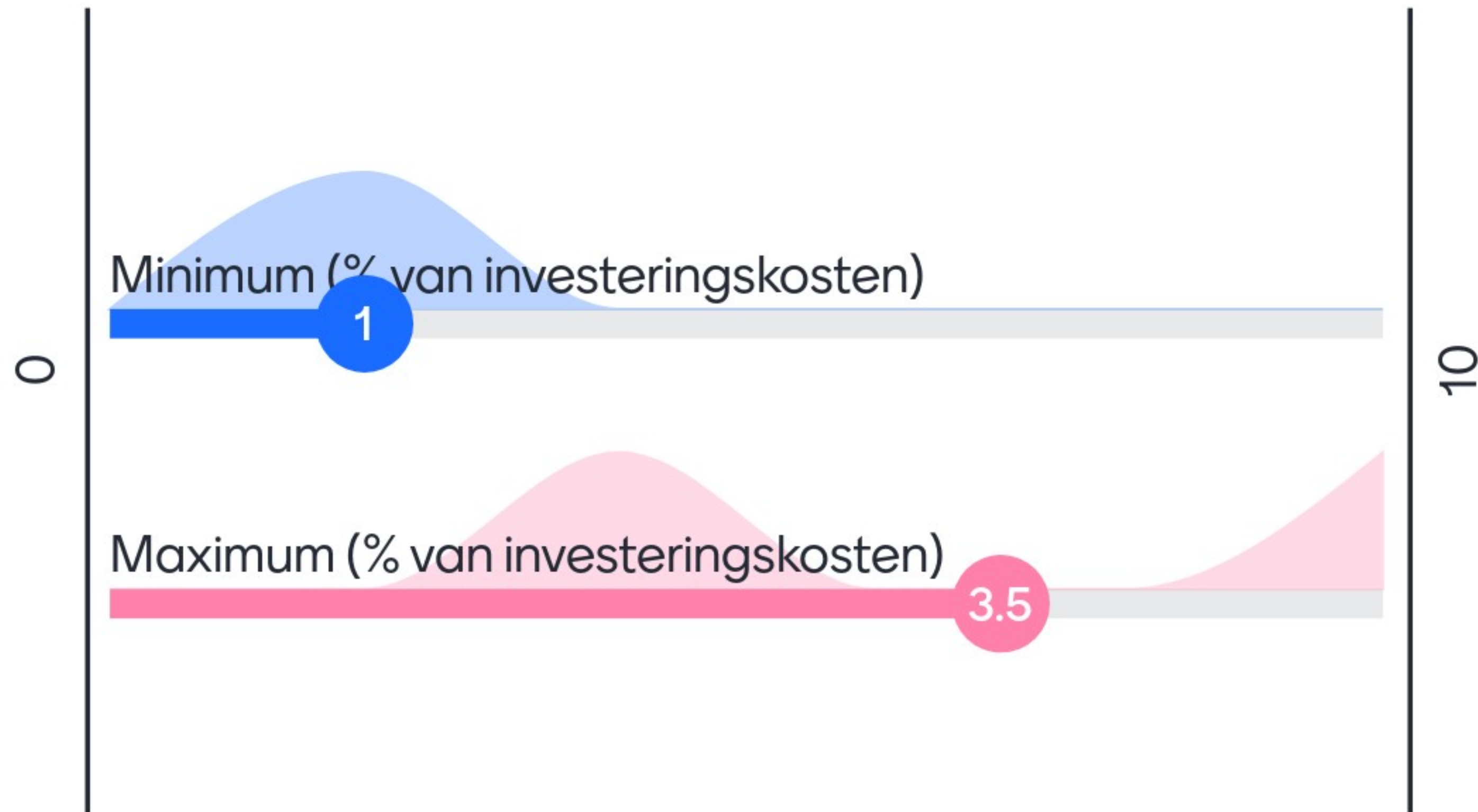
Wat is de range van investeringskosten waar in het model van uit moet worden gegaan? (100eur/GJ opslag = 10Mln investering voor 100.000 GJ per cyclus)



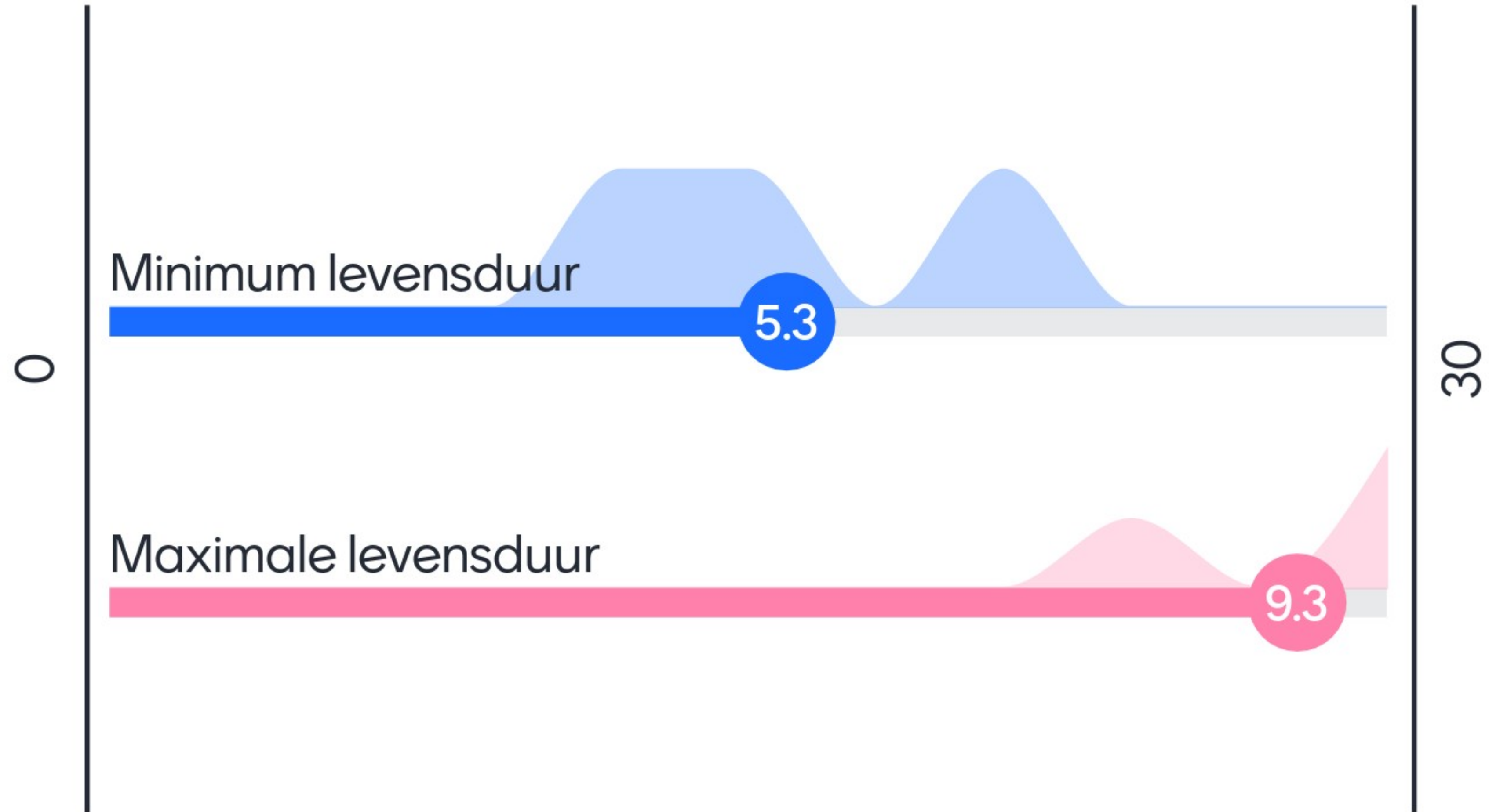
Wat is de range van VASTE O&M kosten waar in het model van uit moet worden gegaan (als % van investeringskosten)?



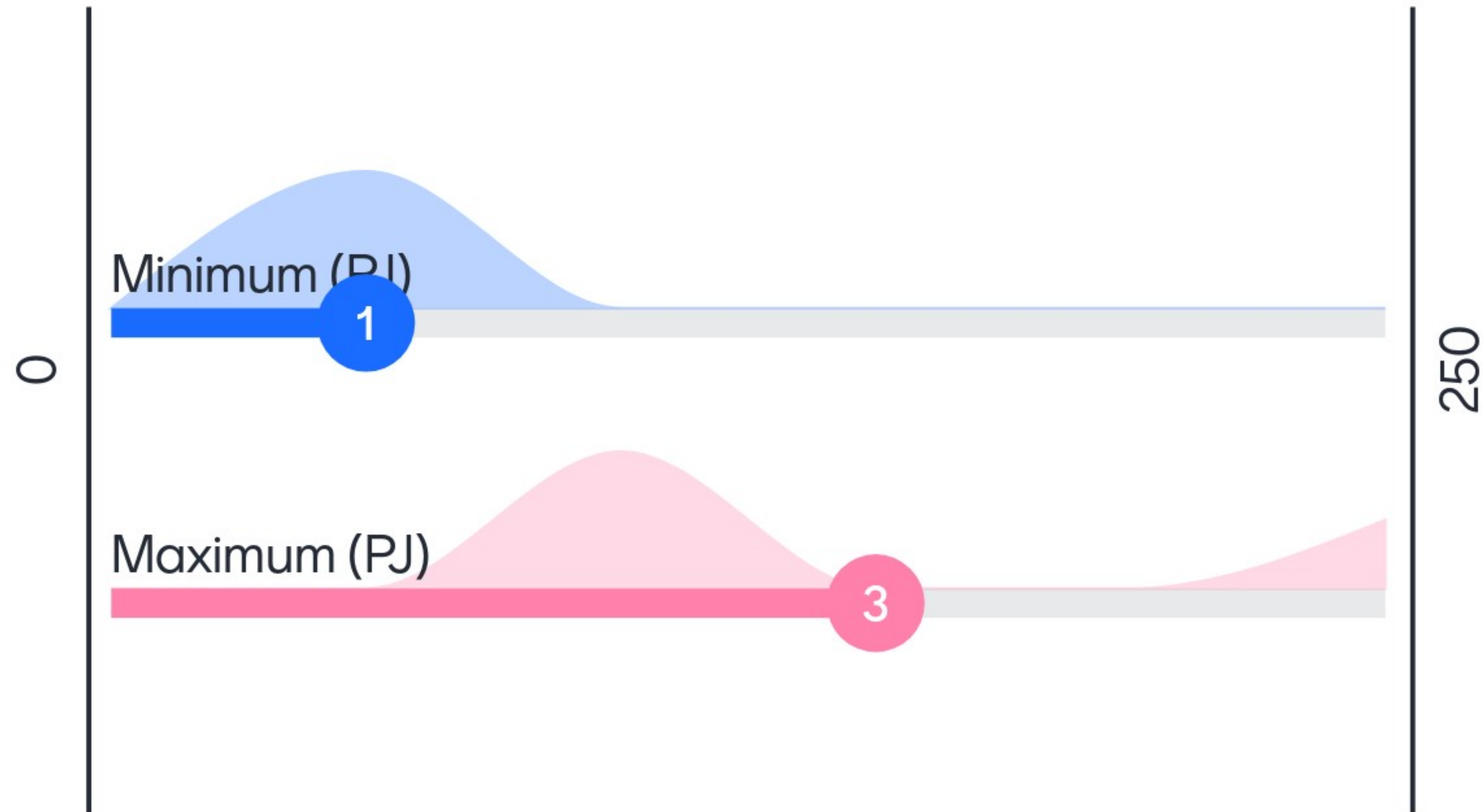
Wat is de range van VARIABELE O&M kosten waar in het model van uit moet worden gegaan (als % van investeringskosten)?



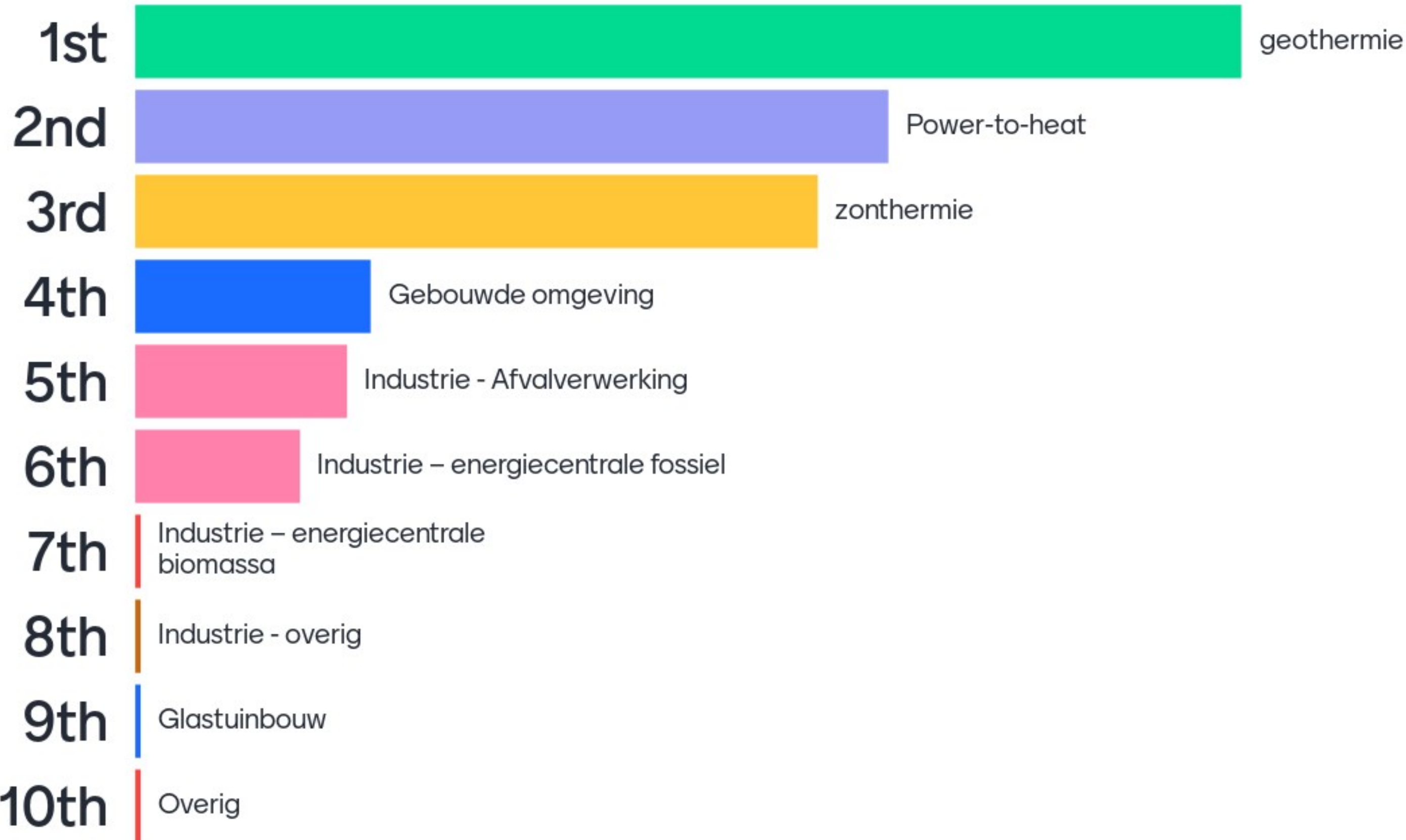
Wat is de verwachte levensduur van een HTO?



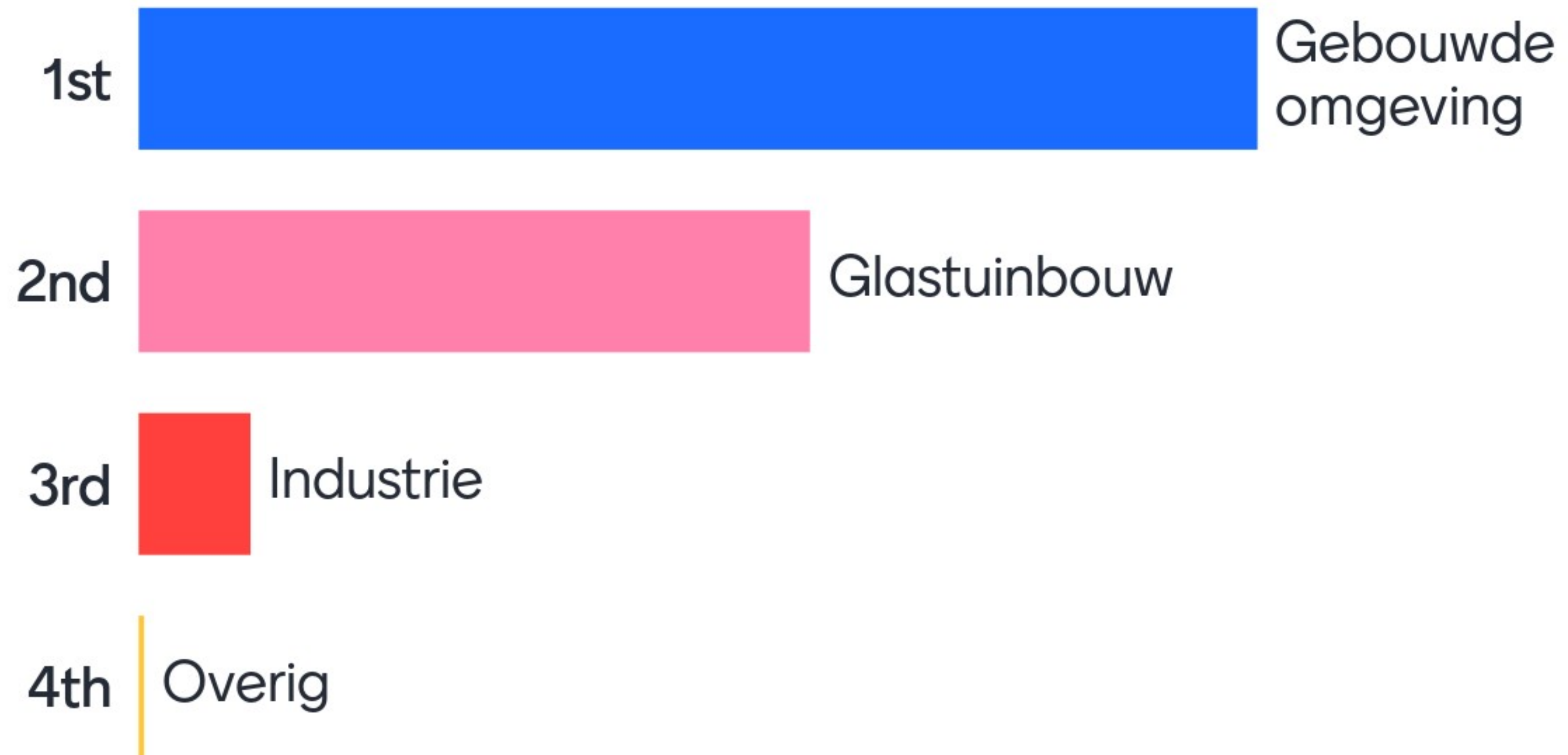
Wat is het verwachte totale national potentieel van HTO's in Nederland?



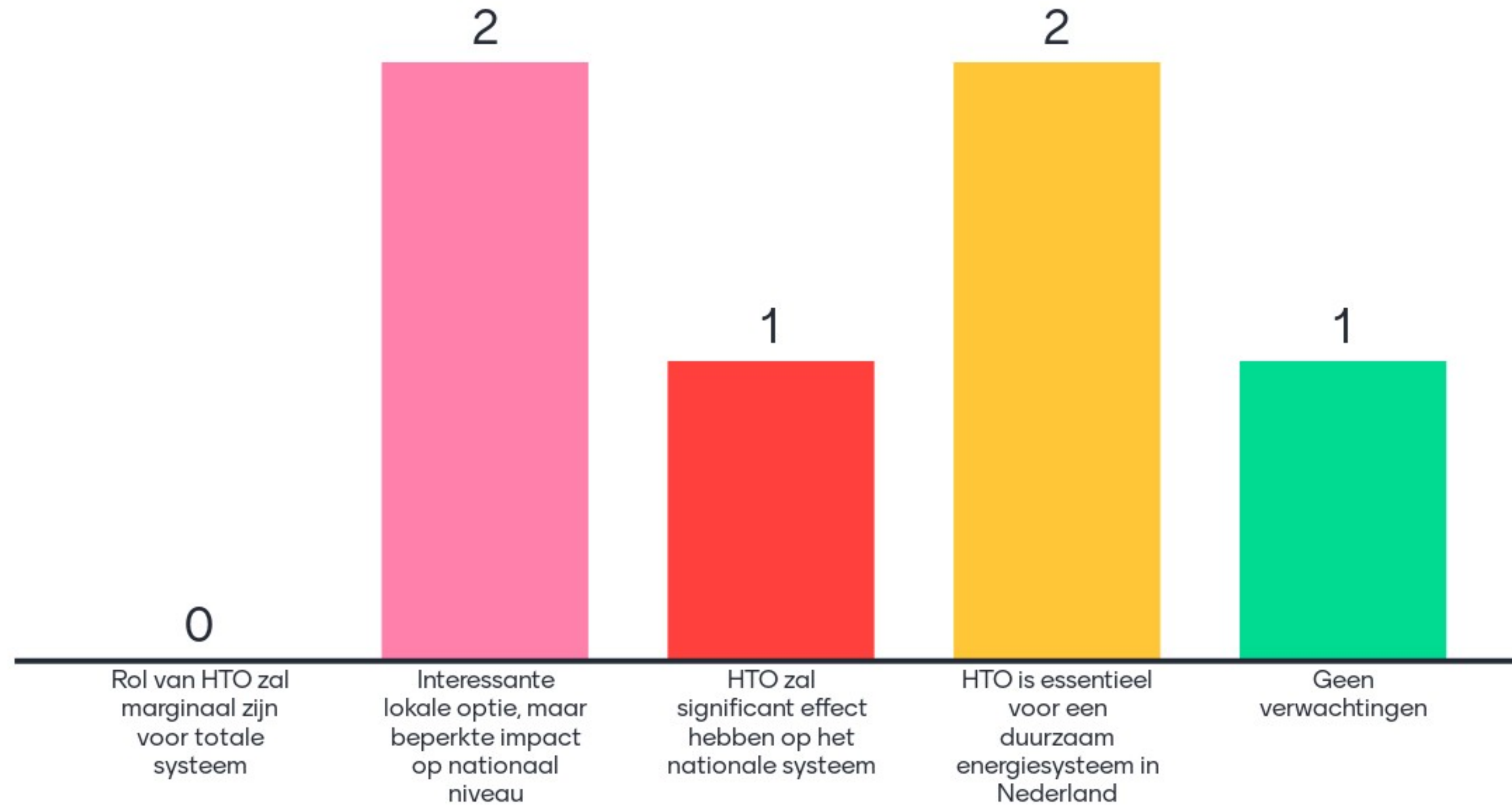
Rank de (verwachte) voornaamste sectoren voor levering van warmte aan een HTO (warmtebron)



Rank de (verwachte) voornaamste sectoren voor afzet van warmte aan een HTO



Wat zijn uw verwachtingen over de toekomstige rol van HTO in het energiesysteem van Nederland?



Wat zijn uw verwachtingen over het incorporeren van HTO in energie modellen op nationaal niveau?

