

Deltares

Deltares

Criteria voor onderlinge vergelijking van warmtenet configuraties

Auteur: Mike van Meerkerk

Review: Ivo Pothof

Approval: Bas van Vossen

Reference no.: 11207638-001-HYE-0001, version 3, 19-07-2022

Disclaimer

De analyse is gebaseerd op kengetallen uit zowel openbare bronnen als de praktijk. Daarnaast zijn er aannames gedaan wat betreft kengetallen voor onbekende situaties, welke zijn gebaseerd op ervaring vanuit de praktijk. De gepresenteerde waarden dienen alleen ter indicatie van de verschillen tussen de 6 geanalyseerde warmtenetconfiguraties.

Er wordt een methode gepresenteerd om op een gestandaardiseerde, onafhankelijke, en integrale manier prestatiecriteria onderling te vergelijken. De prestatiecriteria tonen de consequenties van keuzes tussen de verschillende warmtenetconfiguraties.

De kwalitatieve vergelijking tussen de verschillende warmteconfiguraties is opgesteld met behulp van de gepresenteerde kengetallen en een (basis) Excel berekening. Er worden in deze studie geen algemene conclusies getrokken over de wenselijkheid van ZLT, LT of MT configuraties, o.a. doordat:

- a) de isolatieopgave en de aanpassingen aan het afgiftesysteem niet zijn meegenomen in de onderlinge vergelijking. Bij minder goed geïsoleerde woningen moeten daarvoor kosten worden gemaakt bij LT- en ZLT netten.
- b) Er uitgegaan is van een ZLT-bron. Bij de beschikbaarheid van een nabijgelegen MT-bron kan een andere afweging gelden.
- c) Lokale omstandigheden, bijvoorbeeld kleine appartementen, bepalen het belang van de verschillende criteria.

Project specifieke omstandigheden kunnen tot een andere beoordeling leiden.

Onderzoek criteria voor warmtenetten

Aanleiding

- Er is een grote hoeveelheid aan informatie beschikbaar van verschillende warmtenetconfiguraties
- Er is geen duidelijk overzicht beschikbaar dat op een gestandaardiseerde, gewogen en integrale manier de onderlinge verschillen tussen warmtenetconfiguraties weergeeft. Integraal betekend hier het bepalen van systeemkenmerken die belangrijk zijn in de keuze tussen verschillende warmtenet configuraties, zoals energieverbruik, kosten, flexibiliteit, etc.
- De gevolgen van ontwerpkeuzes zijn (nog) niet voor alle gemeentes inzichtelijk

Doel

Opzetten van een gestandaardiseerde, onafhankelijke en integrale methode om overzichten te creëren van prestatiecriteria en consequenties van verschillende warmtenetconfiguraties

Opzet onderzoek

- De aanpak is generiek en uitbreidbaar voor andere warmtenetconfiguraties mits de gebruiker zich bewust is van de beperkingen van de aannames
- De thermische vraag wordt gespecificeerd per woningequivalent in een categorie voor verwarming, tapwaterbereiding en koudelevering.
 - De afgiftetemperatuur voor het tapwater is vastgesteld op 70 graden Celsius voor alle configuraties.
 - De afgiftetemperatuur voor de verwarming is 70 graden Celsius bij een MT net en 55 graden bij een LT en ZLT net.
- De vergelijking van criteria wordt ingevuld voor 6 verschillende warmtenetconfiguraties o.b.v. 3 temperaturniveaus en 2 wijktypes
 - MT net (70/40); LT net (55/35) en ZLT (15/8)
 - Hoogbouw ; Laagbouw beide met 1000 woningen
- Warmtenetconfiguraties worden ten behoeve van de onderlinge vergelijkbaarheid ingevuld voor één brontype Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) met één gestandaardiseerd Open Bodem Energie Systeem (O-BES) als opslag voor de warmte en koude.

Warmtenetconfiguraties in deze analyse

Warmtenetconfiguraties

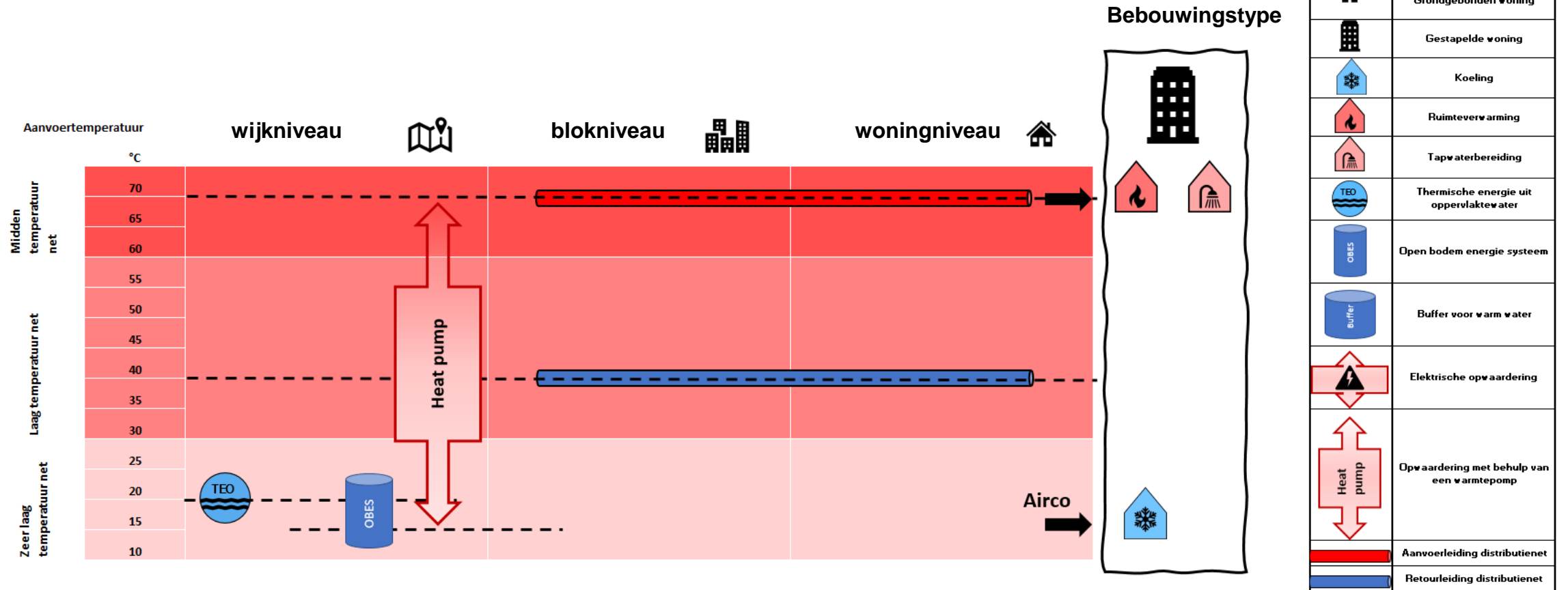
De warmtenetconfiguraties in deze analyse zijn als volgt gedefinieerd:

- **S1** MT-gestapeld; midden temperatuur distributienet in een hoogbouw wijk
- **S2** MT-grondgebonden; midden temperatuur distributienet in een laagbouw wijk

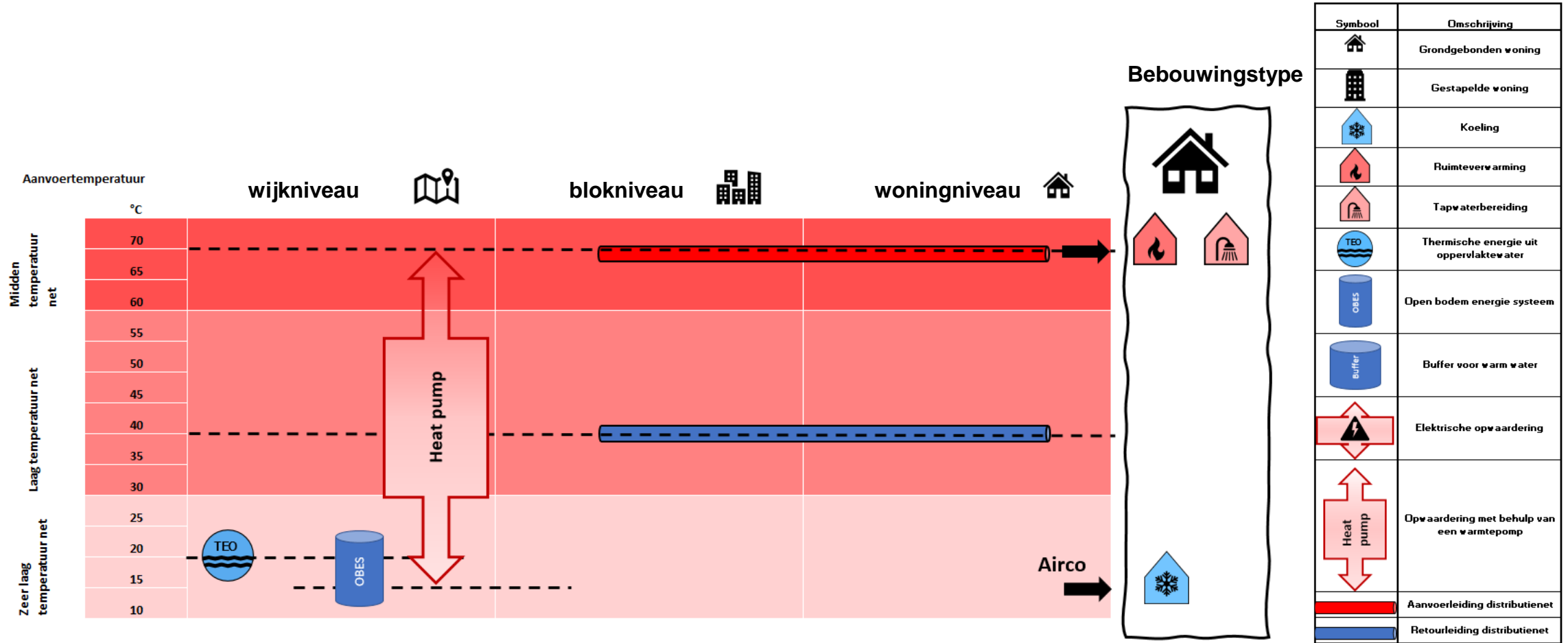
- **S3** LT-gestapeld; laag temperatuur distributienet in een hoogbouw wijk
- **S4** LT-grondgebonden; laag temperatuur distributienet in een laagbouw wijk

- **S5** ZLT-gestapeld; zeer lage temperatuur distributienet in een hoogbouw wijk
- **S6** ZLT-grondgebonden; zeer lage temperatuur distributienet in een laagbouw wijk

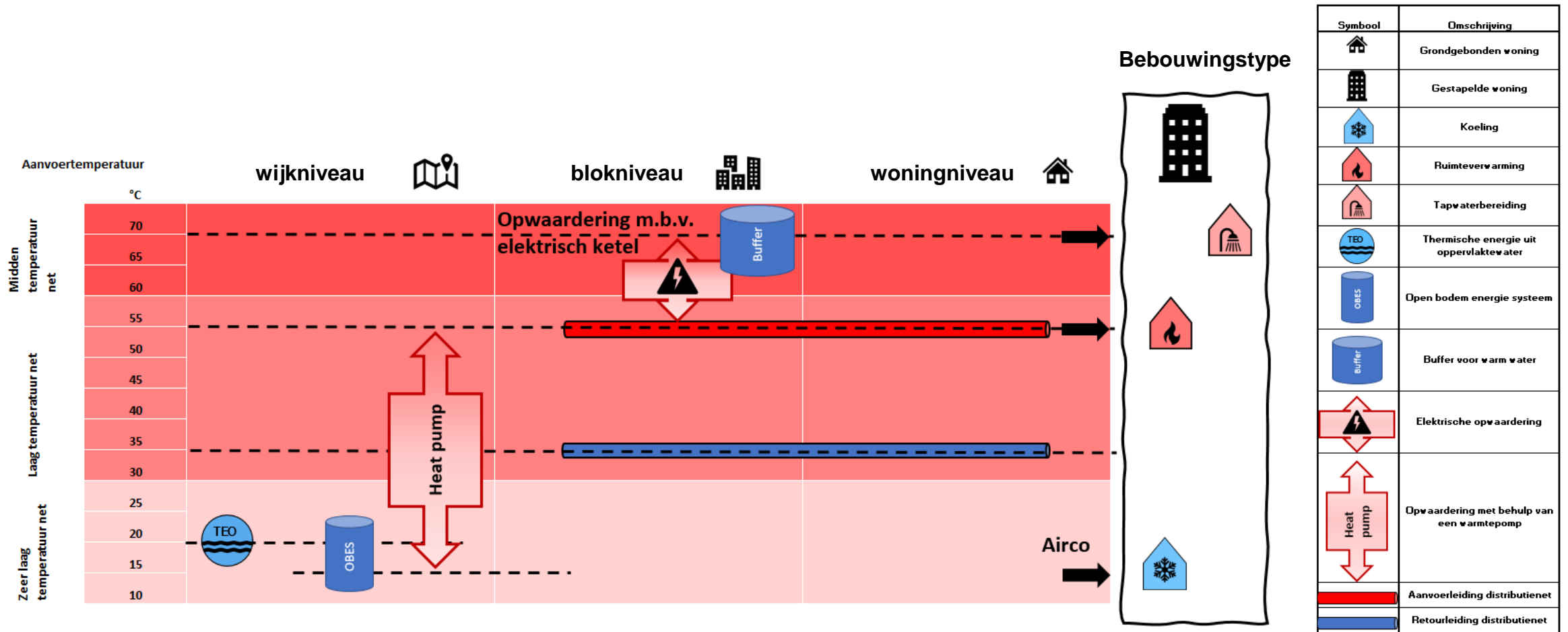
S1 MT-gestapeld



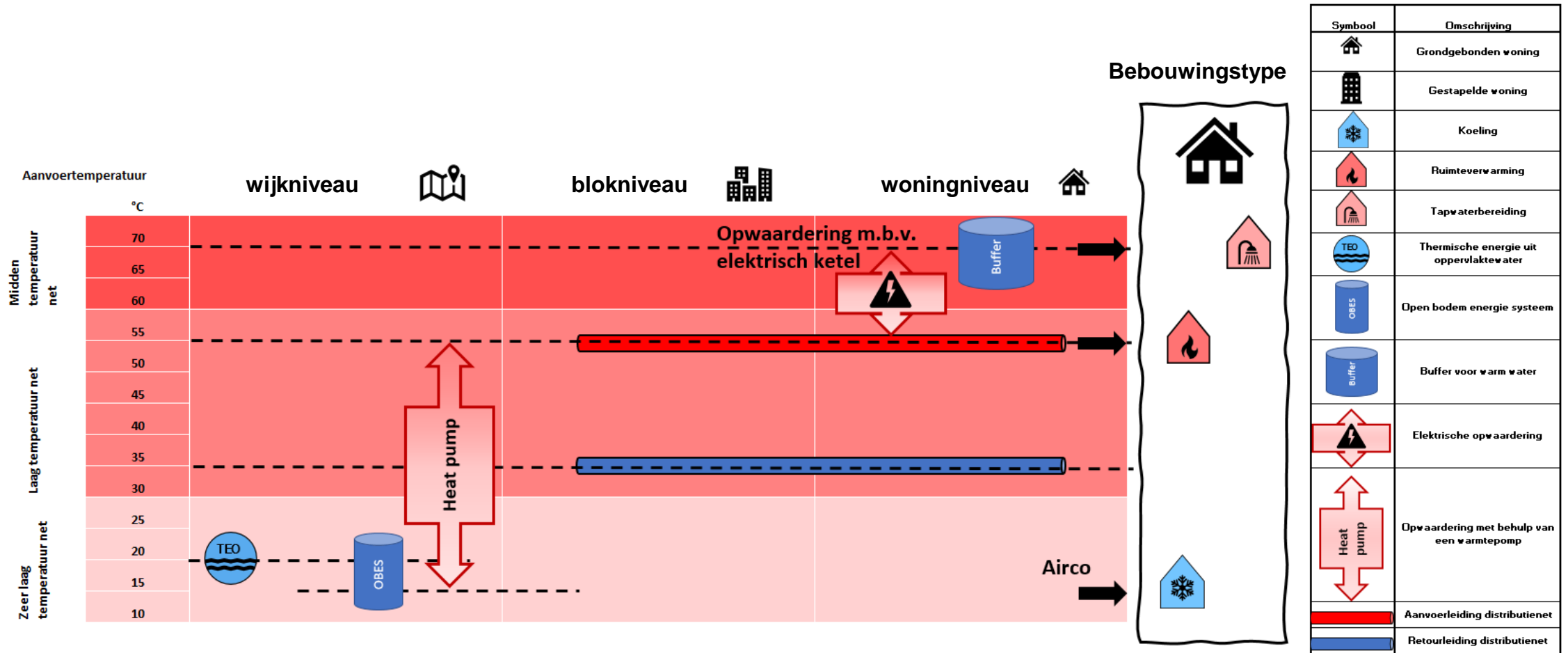
S2 MT-grondgebonden



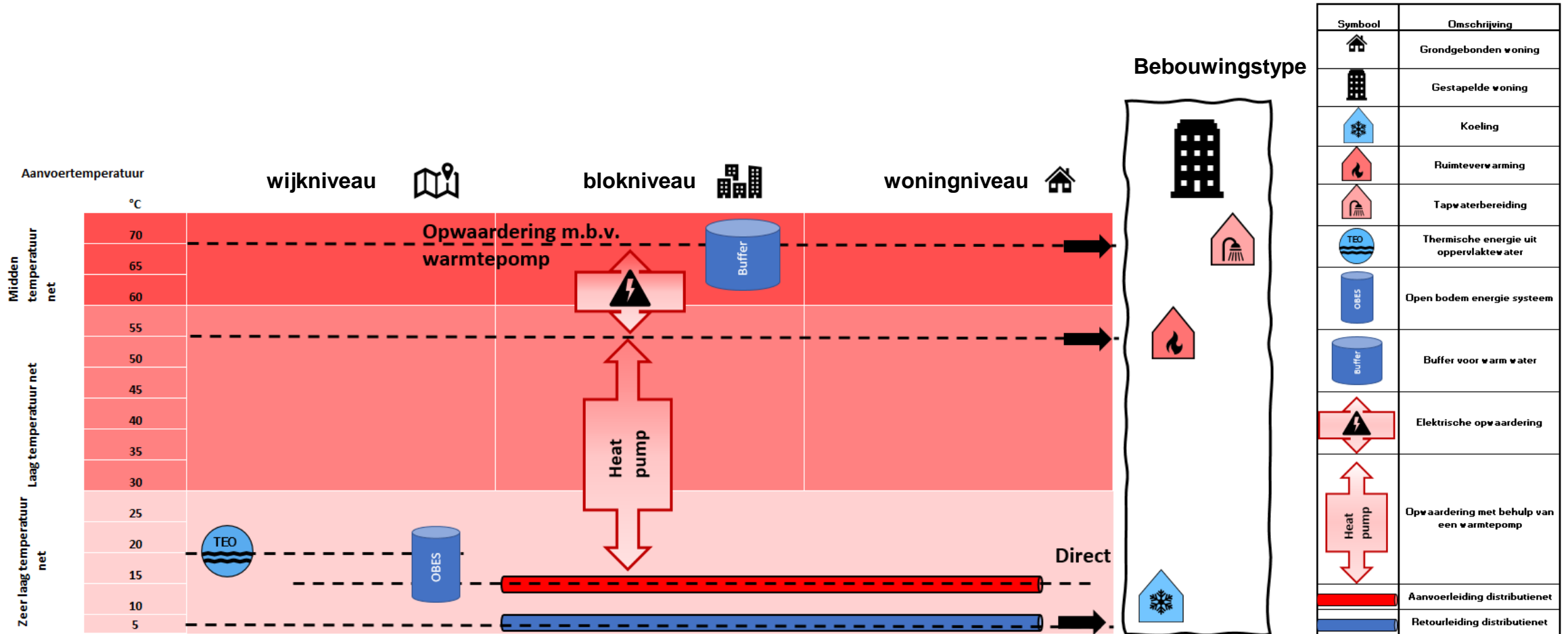
S3 LT-gestapeld



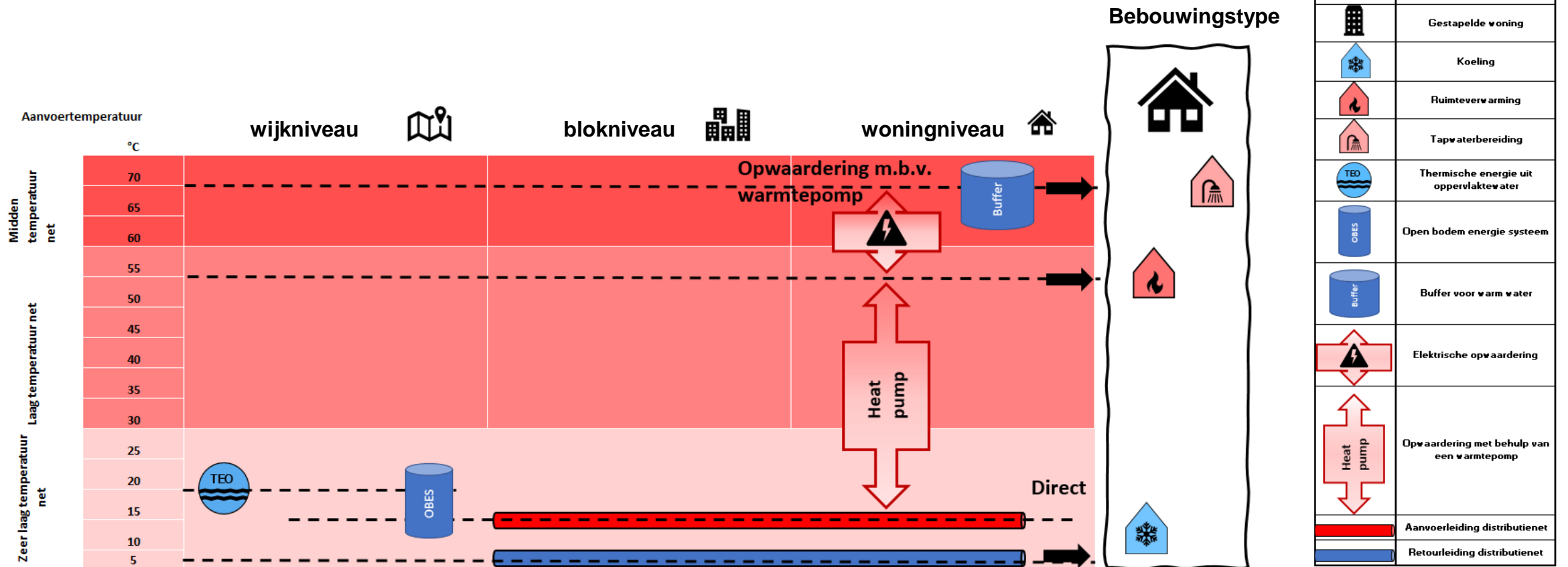
S4 LT-grondgebonden



S5 ZLT-gestapeld



S6 ZLT-grondgebonden



Aannames en berekeningen

Energieverbruik

Er wordt gerekend met een gemiddelde warmtevraag per woningequivalent ten behoeve van:

- **ruimteverwarming** à 25,2 GJ/jaar (7000 kWh/jaar)¹⁻³
- **tapwaterbereiding** à 10,8 GJ/jaar (3000 kWh/jaar)¹⁻³
- **koude** à 1,55 GJ/jaar (430 kWh/jaar)⁴

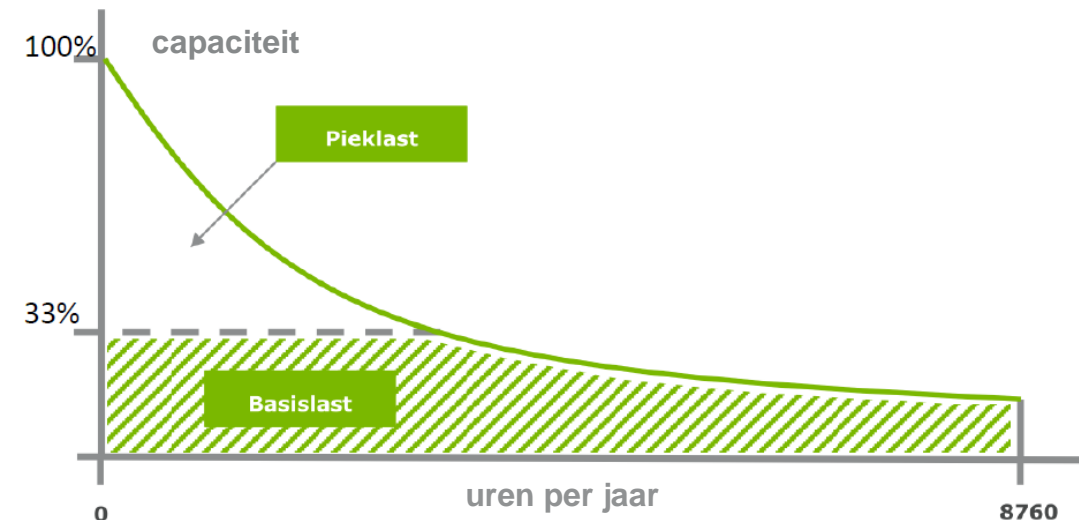
In deze analyse wordt aangenomen dat de woningen LT-ready zijn; d.w.z. er kan worden gestookt met een verwarmingstemperatuur lager dan 55 graden Celsius. Daarnaast zal in alle warmtenetconfiguraties koude worden geleverd aan de woningen. Als deze koude niet uit het warmtenet geleverd kan worden, dan wordt uitgegaan van een traditionele koeling (airco).

Energieverbruik

- Het energieverbruik wordt verdeeld in een basis- en pieklast met behulp van een jaarbelastingduurkromme.
 - De hoogte van de jaarbelastingduurkromme wordt bepaald door de verhouding tussen de basislast en de pieklast.
 - De steilheid van de jaarbelastingduurkromme wordt bepaald door het percentage van de energie geleverd met de piekvoorziening

In de huidige analyse leveren het aquathermie systeem en de O-BES de basislast van 33%. Het aquathermie systeem regenereert de O-BES in de zomer. Er zal voor sommige warmtenetconfiguraties ook een piekvoorziening nodig zijn om de pieklast te leveren.

De pieklast wordt in de huidige analyse geleverd met behulp van een **elektrische piekvoorziening** (COP=1)



Energieverbruik – gelijktijdigheid ruimteverwarming

Er wordt gerekend met een gelijktijdigheid voor ruimteverwarming op wijkniveau (f), die bepalend is voor de opgestelde capaciteit.

De gelijktijdigheid op wijkniveau wordt bepaald als het maximum van:

- getabelleerde data (ISO 2017) o.b.v. het aantal WEQ. Warmtenetconfiguratie S1 tot S4 rekent met een gelijktijdigheidsfactor voor ruimteverwarming op basis van de getabelleerde ISO 2017 data.
- Draaitijdpercentage (o.b.v. vollasturen op de ontwerp dag). Warmtenetconfiguratie S5 tot S6 rekent met een gelijktijdigheidsfactor gebaseerd op de verhouding draaitijd en uren in een dag. De vollasturen voor een MT- en LT-net t.b.v. de ruimteverwarming zijn in deze analyse 8 uur en voor een ZLT-net 16 uur op de ontwerpdag, wat resulteert in een gelijktijdigheidsfactor van $\frac{16}{24} = 0,67$.

In de huidige analyse beschouwen we een systeem voor 1000 WEQ, waardoor de tabel alleen informatie is.

Aantal weq	f
1 tot en met 5	1,0
6 tot en met 13	0,95
14 tot en met 25	0,90
26 tot en met 40	0,85
41 tot en met 60	0,80
61 tot en met 85	0,75
86 tot en met 115	0,70
116 tot en met 155	0,65
156 tot en met 205	0,60
meer dan 206	0,55

Bron en opslag

Bron

Er wordt – in deze versie – één type bron ondersteund, namelijk een aquathermie systeem dat gebruik maakt van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)

- Zomergemiddelde bron temperatuur van 18 graden Celsius (Rapportage Aquathermie Nijmegen). In realiteit varieert de bron temperatuur van een TEO systeem.
- De bron wordt gedurende de zomer (een periode van mei tot oktober) gebruikt om het opslag systeem te vullen; d.w.z. 3672 vollasturen.

Opslag

Er wordt – in deze versie – één type opslag ondersteund, namelijk een open-bodem energiesysteem (**O-BES**) ook wel bekend als een WKO.

- Jaargemiddelde onttrekkingstemperatuur van 15 graden Celsius (VESTA Mais, CE Delft (2017))

De benodigde opgetelde capaciteit voor basislast en pieklast, zowel thermisch als elektrisch, worden berekend.

Warmtenet

Er zijn verschillende **net types** beschikbaar, waarbij de aanvoertemperatuur (T_a) de bepalende factor is (Definities WarmingUp).

De aanvoer temperatuur (T_a) kan worden gekozen binnen de gestelde waarde van elk net type.

- Middentemperatuurnet (**MT**) waarbij $55 \leq T_a \leq 70$ °C voor **S1 MT-gestapeld** en **S2 MT-grondgebonden** met een voor de huidige analyse gehanteerde aanvoertemperatuur van 70 °C
- Laagtemperatuurnet (**LT**) waarbij $25 \leq T_a \leq 55$ °C voor **S3 LT-gestapeld** en **S4 LT-grondgebonden** met een voor de huidige analyse gehanteerde aanvoertemperatuur van 55 °C
- Zeerlaagtemperatuurnet (**ZLT**) waarbij $T_a \leq 25$ °C voor **S5 ZLT-gestapeld** en **S6 ZLT-grondgebonden** met een voor de huidige analyse gehanteerde aanvoertemperatuur van 15 °C

De retour temperatuur (T_r) is als volgt gekozen:

- **S1 MT-gestapeld** en **S2 MT-grondgebonden** $T_r = 40$ °C wat resulteert in een temperatuurverschil van $\Delta T = 30$ °C
- **S3 LT-gestapeld** en **S4 LT-grondgebonden** $T_r = 35$ °C wat resulteert in een temperatuurverschil van $\Delta T = 20$ °C
- **S5 ZLT-gestapeld** en **S6 ZLT-grondgebonden** $T_r = 8$ °C wat resulteert in een temperatuurverschil van $\Delta T = 7$ °C

Opwaardering – Distributienet op wijkniveau

Er wordt warmte opgewaardeerd op verschillende locaties in het systeem, zowel centraal als decentraal.

Distributie opwaardering

Opwaardering vanaf de O-BES opslag (15 °C) naar de gewenste aanvoertemperatuur (T_a)

- **Basislast** wordt altijd geleverd met een **warmtepomp** met een Carnot efficiëntie van $40 \leq \eta \leq 60 \%$ (IEA District Heating and Cooling – Annex TS2)
 - Individuele warmtepompen (d.w.z. decentraal) met een Carnot efficiëntie van 45% (KoWaNet)
 - Blok warmtepompen (d.w.z. centraal) met een Carnot efficiëntie van 60% (KoWaNet)
- **Pieklast** wordt altijd geleverd met een **elektrische ketel** met een coefficient of performance (COP) van 1.

Opwaardering – Verwarmingswater

Er wordt warmte opgewaardeerd op verschillende locaties in het systeem, zowel centraal als decentraal.

Verwarmingswater opwaardering

Opwaardering vanaf de aanvoertemperatuur (T_a) naar de gewenste **verwarmingstemperatuur**

- **S1 MT-gestapeld** en **S2 MT-grondgebonden** met een verwarmingstemperatuur van 70 °C; vereist geen opwaardering
- **S3 LT-gestapeld** en **S4 LT-grondgebonden** met een verwarmingstemperatuur van 55 °C; vereist geen opwaardering
- **S5 ZLT-gestapeld** en **S6 ZLT-grondgebonden** met een verwarmingstemperatuur van 55 °C; vereist opwaardering (**S5** centraal en **S6** decentraal)

Het verwarmingswater wordt altijd opgewaardeerd met behulp van een **warmtepomp**.

Opwaardering - tapwater

Er wordt warmte opgewaardeerd op verschillende locaties in het systeem, zowel centraal als decentraal.

Tapwater opwaardering

Opwaardering vanaf de **verwarmingstemperatuur** naar de **tapwatertemperatuur**

- **S1 MT-gestapeld** en **S2 MT-grondgebonden** met een tapwatertemperatuur van 70 °C; vereist geen opwaardering
- **S3 LT-gestapeld** en **S4 LT-grondgebonden** met een tapwatertemperatuur van 70 °C; vereist opwaardering in deze analyse is gekozen voor een elektrische ketel (d.w.z. COP van 1) (**S3** centraal en **S4** decentraal)
- **S5 ZLT-gestapeld** en **S6 ZLT-grondgebonden** met een tapwatertemperatuur van 70 °C; vereist opwaardering in deze analyse is gekozen voor een combi-warmtepomp (**S5** centraal en **S6** decentraal)

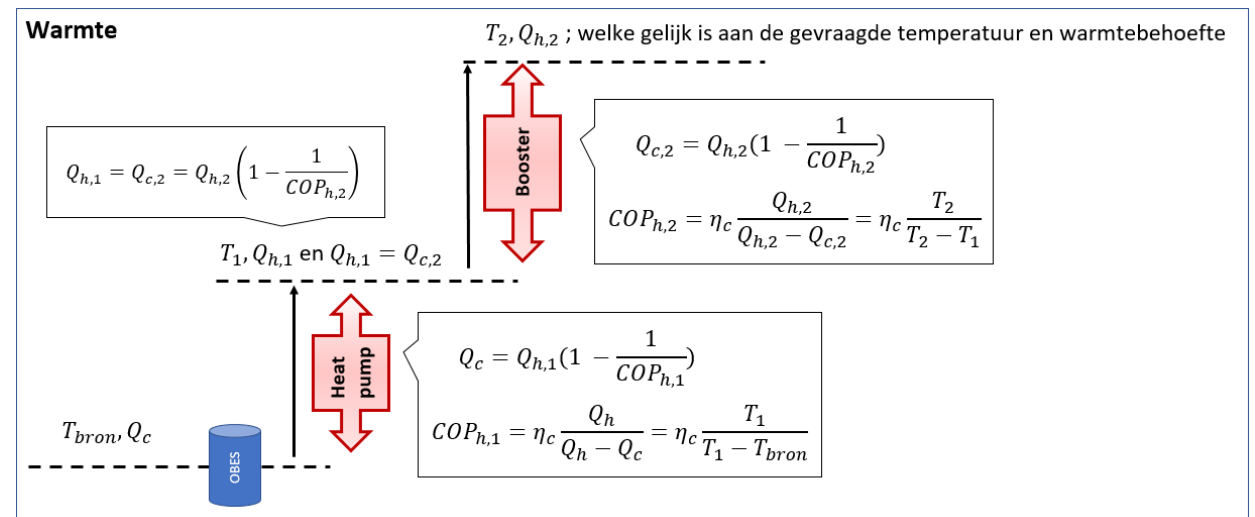
Opwaardering met warmtepomp(en)

seriële schakeling

Er wordt warmte opgewaardeerd op verschillende locaties in het systeem, zowel centraal als decentraal. De opwaardering vindt trapsgewijs (d.w.z. seriële) plaats over verschillende systemen.

Onderstaande illustratie geeft een overzicht van de berekening voor een enkele seriële opwaardering, waarbij

- Een gedeelte van de warmte wordt geleverd door de eerste opwaarderingslocatie (bijvoorbeeld een warmtepomp) en daarna verder verhoogd bij de tweede opwaarderingslocatie. De tweede opwaarderingslocatie noemen we in het figuur een booster; dit kan zowel een warmtepomp als een elektrische ketel zijn.
- De Carnot-efficiency (η_c) verlaagt de maximale theoretische COP van alle opwaarderingsstappen.



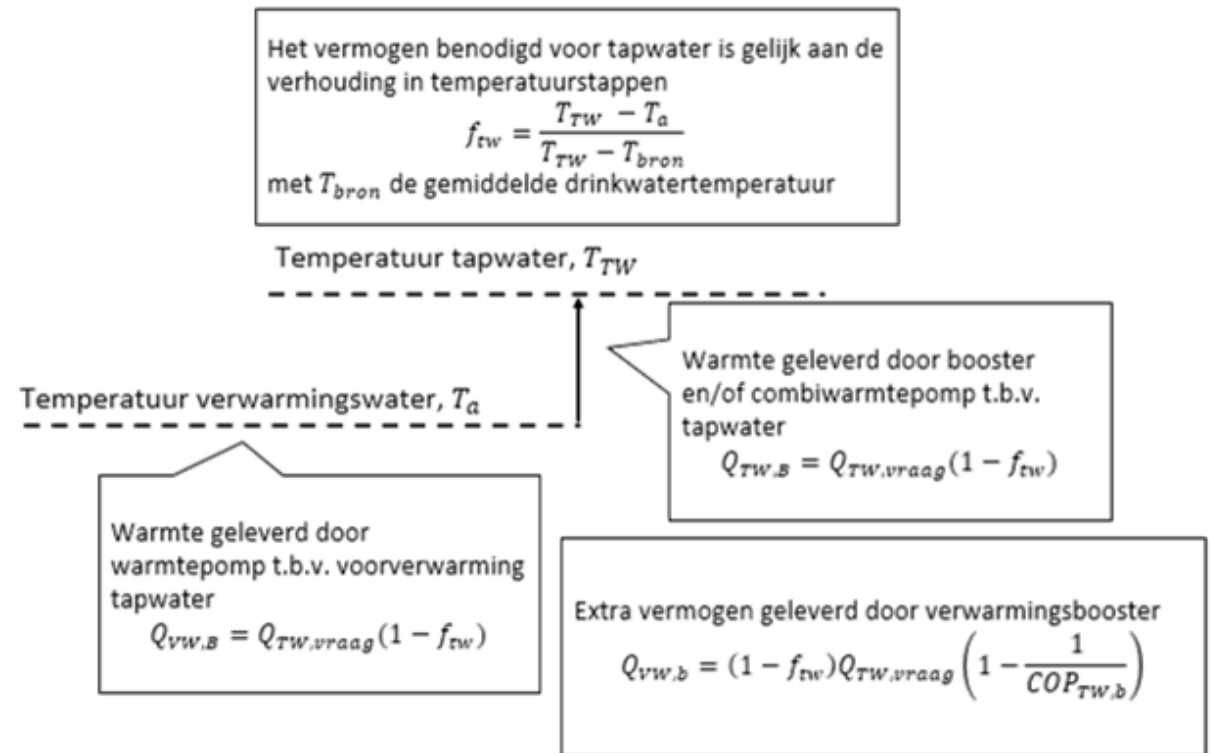
Opwaardering

seriële schakeling ten behoeve van tapwater

Een gedeelte van de energievraag van het tapwater wordt door middel van voorverwarming geleverd door de warmtevoorziening die voorziet in de basislast ten behoeve van het verwarmingswater.

De **resterende energievraag** (f_{tw}) – na voorverwarming - moet worden geleverd door de opwaarderingsvoorziening voor het tapwater. Deze opwaarderingsvoorziening kan zowel een elektrische ketel, doorstroomverwarmer of warmtepomp zijn.

Een jaargemiddelde **drinkwatertemperatuur** van 10 °C is aangenomen



Tapwaterbuffer

In configuraties **S3** tot en met **S6** zijn tapwaterbuffers aanwezig. Een tapwaterbuffer verlaagt de piekwarmtevraag door spreiding van de warmtevraag over de dag. De tijd benodigd om de buffer te vullen en de gelijktijdigheid worden daarbij beïnvloed:

- **S1 MT-gestapeld** en **S2 MT-grondgebonden** zonder buffer met een tapwater vollast van 30 minuten en een gelijktijdigheid voor de tapwaterbereiding van 10% op wijkniveau (Deltares)
 - **S3 LT-gestapeld** en **S4 LT-grondgebonden** met buffer welke wordt gevuld in 8 uur met een gelijktijdigheid voor de tapwaterbereiding van 100% op wijkniveau (Deltares)
 - **S5 ZLT-gestapeld** en **S6 ZLT-grondgebonden** met buffer welke wordt gevuld in 8 uur met een gelijktijdigheid voor de tapwaterbereiding van 100% op wijkniveau (Deltares)
- Als er geen buffer aanwezig is dan wordt de gelijktijdigheid (**S1** en **S2**) voor de tapwaterbereiding bepaald door het aantal woningequivalenten:
 - Als $w_{eq} < 100$ dan is de gelijktijdigheid voor tapwater $1/\sqrt{w_{eq}}$
 - Als $w_{eq} \geq 100$ dan is de gelijktijdigheid voor tapwater 10%

Tapwaterbuffer

Buffervolume per weg

Het buffervolume is voldoende voor de gemiddelde tapwatervraag van 1 dag. Stilstandsverliezen in de tapwaterbuffer zijn niet meegenomen in de berekening.

- Daggemiddelde warmtevraag tapwater $Q_{gem} = Q_{TW,totaal}/365$ in kWh
- Temperatuurverschil bron en tapwater $\Delta T = T_{TW} - T_{bron}$ in Kelvin

$$V_{buffer} = \frac{Q_{gem}}{c_p \rho \Delta T} 3600$$

**Resultaten:
Criteria voor (huidige) warmtenetconfiguraties**

Criteria gerelateerd aan Energie (1/3)

Seizoen gemiddelde coëfficiënt of performance (SCOP)

- De SCOP op basis van de berekeningen wordt in de laatste kolom gepresenteerd. De SCOP bevat de bijdrage aan de warmteopwekking van alle componenten in elke configuratie.
- Relatieve score op basis van de onderlinge verschillen (d.w.z. dat de hoogste COP het beste scoort, de laagste het slechts en de andere configuraties lineair worden verdeeld)
- De Carnot efficiëntie van de decentrale warmtepompen is ongeveer 33% groter, waardoor **S5 ZLT-gestapeld** een hogere SCOP behaalt dan **S6 ZLT-grondgebonden** (KoWaNet). De hogere SCOP voor **S5 ZLT-gestapeld** vereist dat een groter deel van de warmtevraag door het warmtenet geleverd moet worden.

		Bebouwing			Thermisch vermogen warmtenet
Naam	Configuratie	Type	SCOP		Totaal vermogen
		eenheid			MW
Scenario 1	MT	Hoogbouw	--	3,7	7,3
Scenario 2	MT	Laagbouw	--	3,7	7,8
Scenario 3	LT	Hoogbouw	-	4,7	5,8
Scenario 4	LT	Laagbouw	-	4,7	6,2
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	++	7,3	3,1
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	+-	5,5	2,7

Criteria gerelateerd aan Energie (2/3)

Thermisch vermogen warmtenet

- Er is voor een MT-net (**S1 MT-gestapeld, S2 MT-grondgebonden**) dubbel zoveel thermisch vermogen op het warmtenet nodig ten opzichte van een ZLT-net (**S5 ZLT-gestapeld, en S6 ZLT-grondgebonden**). De centrale opwaardering bij een MT-net resulteert in een hogere transporttemperatuur waardoor er grotere thermische verliezen optreden over het distributienet. De COP van een warmtepomp neemt af voor een hogere opwaarderingstemperatuur waardoor de SCOP lager is voor een MT-net dan voor een ZLT-net.
- Er is een grotere piekvoorziening nodig door het hogere transportverlies en de grotere piekvraag voor de warmtenetconfiguraties **S1 MT-gestapeld, S2 MT-grondgebonden, S3 LT-gestapeld, en S4 LT-grondgebonden**.

Naam	Configuratie	Bebouwing		SCOP		Thermisch vermogen warmtenet
		Type	eenheid			Totaal vermogen MW
Scenario 1	MT	Hoogbouw		--	3,7	7,3
Scenario 2	MT	Laagbouw		--	3,7	7,8
Scenario 3	LT	Hoogbouw		-	4,7	5,8
Scenario 4	LT	Laagbouw		-	4,7	6,2
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw		++	7,3	3,1
Scenario 6	ZLT	Laagbouw		-	5,5	2,7

Criteria gerelateerd aan Energie (3/3)

CO₂ uitstoot per configuratie

- De uitstoot per MWh elektriciteit is gebaseerd op kengetallen voor de energiemix (KEV 2021). De CO₂ uitstoot is 0.29 ton/MWh in 2020, 0.21 ton/MWh in 2025 en 0.09 ton/MWh in 2030.
- Als er een fossiele piekvoorzieningen wordt toegepast zal de bijdrage aan de CO₂ uitstoot door de piekvoorziening over de jaren niet afnemen. In de huidige analyse zijn geen piekvoorzieningen met fossiele brandstof opgenomen, waardoor dit effect niet in het overzicht zichtbaar is!
- De CO₂ uitstoot bevat bijdrage door het elektriciteitsverbruik van de apparatuur, zoals warmtepompen, elektrische ketels, pompen en airco's voor de (actieve) koeling voor de warmtenetconfiguraties 1 tot en met 4.
- De CO₂ uitstoot is sterk gekoppeld aan de **SCOP** en de **piekvoorziening** (COP = 1); een hogere SCOP resulteert in de huidige analyse in een lager elektriciteitsverbruik. Daarnaast wordt de afname van de CO₂ uitstoot over de jaren gedreven door een (voorspelde) verbetering van de energiemix.

Naam	Configuratie	Bebouwing	SCOP		E-verbruik kWh/weq/jaar	CO2 uitstoot		
		Type eenheid				2020 kiloton/jaar	2025 kiloton/jaar	2030 kiloton/jaar
		Scenario 1	MT	Hoogbouw	--	3,7	4943	1,4
Scenario 2	MT	Laagbouw	--	3,7	5321	1,5	1,1	0,5
Scenario 3	LT	Hoogbouw	-	4,7	4863	1,4	1,0	0,4
Scenario 4	LT	Laagbouw	-	4,7	5152	1,5	1,1	0,5
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	++	7,3	2461	0,7	0,5	0,2
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	-	5,5	3137	0,9	0,7	0,3

Criteria gerelateerd aan Kosten (1/4)

Investeringskosten per weq (CAPEX)

- De CAPEX bevat de gecombineerde kosten voor bron, opslag, warmtecentrale, leidingwerk en aanpassingen op woningniveau. De aanpassingen op woningniveau bestaan uit opwaarderingsvoorzieningen, buffers, inpandig leidingwerk en een afleverset (*Vesta MAIS, WarmingUP kostenkentallen, ZonneWarmte, en WarmingUP design toolkit*). Als uitgangspunt is aangenomen dat de woningen LT-ready zijn, daardoor worden kosten voor isolatie en aanpassingen van het afgiftesysteem niet meegenomen.

		Bebouwing		
Naam	Configuratie	Type eenheid	CAPEX	OPEX
			Investering per woning €/weq	Onderhoud en energiekosten per woning €/weq/jaar
Scenario 1	MT	Hoogbouw	€ 32.000	€ 1.840
Scenario 2	MT	Laagbouw	€ 41.000	€ 2.301
Scenario 3	LT	Hoogbouw	€ 31.500	€ 1.795
Scenario 4	LT	Laagbouw	€ 43.000	€ 2.388
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	€ 32.000	€ 1.718
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	€ 42.500	€ 2.272

Criteria gerelateerd aan Kosten (2/4)

Investeringskosten per weq (CAPEX)

- De verschillen tussen configuraties met een zelfde warmtenet maar andere woningtypes zijn hoofdzakelijk te verklaren door verschillende aannames voor het benodigde leidingwerk. Er wordt aangenomen dat het warmtenet voor gestapelde bouw ongeveer 5 meter korter is dan de standaard waarde van 15 meter per woning (Vesta MAIS, persoonlijke communicatie Eteck). De lengte van het warmtenet voor gestapelde bebouwing is daarmee ongeveer 67% van het warmtenet voor grondgebonden woningen. Het kostenverschil tussen gestapelde en grondgebonden woningen van een zelfde net is ongeveer 70%.
- In de huidige analyse bestaan de investeringskosten voor ongeveer 50% uit kosten voor het warmtenet.

Naam	Configuratie	Bebouwing	CAPEX	OPEX
		Type eenheid	Investering per woning €/weq	Onderhoud en energiekosten per woning €/weq/jaar
Scenario 1	MT	Hoogbouw	€ 32.000	€ 1.840
Scenario 2	MT	Laagbouw	€ 41.000	€ 2.301
Scenario 3	LT	Hoogbouw	€ 31.500	€ 1.795
Scenario 4	LT	Laagbouw	€ 43.000	€ 2.388
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	€ 32.000	€ 1.718
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	€ 42.500	€ 2.272

Criteria gerelateerd aan Kosten (3/4)

Investeringskosten per weq (OPEX)

De OPEX bevat de gecombineerde kosten voor onderhoud, beheer en elektriciteitsverbruik per jaar per woning. De OPEX voor onderhoud en beheer is een vast percentage (5%) van de CAPEX (WarmingUp kostenkennallen Aquathermie). De kosten voor het elektriciteitsverbruik zijn gebaseerd op het gemiddelde tarief van elektriciteit à €0,05/kWh (KEV2021).

- De bijdrage aan de OPEX door de kosten voor elektriciteit zijn op basis van het gemiddelde tarief beperkt. Deze kosten kunnen sterk toenemen bij andere tarieven voor het gebruik van elektriciteit. De kosten voor elektriciteit van de warmtepomp zijn namelijk dominant voor grotere aquathermiesystemen (kostenkennallen Aquathermie).
- In de huidige analyse – met de relatief lage elektriciteitstarieven – zijn de kosten voor beheer en onderhoud met ongeveer 75% van de OPEX voor een MT- en LT-net en 80% van de OPEX voor een ZLT-net dominant. De genoemde percentages zijn sterk afhankelijk van de systeem grootte. De beheer en onderhoudskosten nemen namelijk minder snel toe dan de kosten voor het energieverbruik van grotere systemen.

		Bebouwing		
Naam	Configuratie	Type eenheid	CAPEX	OPEX
			Investering per woning €/weq	Onderhoud en energiekosten per woning €/weq/jaar
Scenario 1	MT	Hoogbouw	€ 32.000	€ 1.840
Scenario 2	MT	Laagbouw	€ 41.000	€ 2.301
Scenario 3	LT	Hoogbouw	€ 31.500	€ 1.795
Scenario 4	LT	Laagbouw	€ 43.000	€ 2.388
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	€ 32.000	€ 1.718
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	€ 42.500	€ 2.272

Criteria gerelateerd aan Kosten (4/4)

Verzwaringskosten per weq

De toepassing van warmtepompen en elektrische piekzetels heeft consequenties voor het elektriciteitsnet. TenneT presenteert twee kengetallen welke worden geassocieerd met de verzwaring van het elektriciteitsnet.

1. Een verzwaring van het elektriciteitsnet is noodzakelijk als er grote vermogens worden gevraagd. De verzwaring van het E-net resulteert gemiddeld in een jaarlijkse kostenpost van 75 €/kWe/jaar. De kosten voor de verzwaring van het E-net zullen hoger zijn als er voor een configuratie een hoger elektrische vermogen benodigd is (zie bijvoorbeeld **S1 MT-gestapeld** en **S2 MT-grondgebonden**).
2. Naast de verzwaring van het E-net zal er ook back-up capaciteit moeten worden geplaatst. Deze kosten worden geraamd op 160 €/weq/jaar (TenneT).

De verzwaringskosten zijn direct gerelateerd aan het elektrische aansluitvermogen. Daardoor zal een systeem met een hogere SCOP over het algemeen resulteren in lagere verzwaringskosten. Er wordt in de huidige analyse geen rekening gehouden met mogelijke schaalvoordelen door centrale elektrische voorzieningen.

Naam	Configuratie	Bebouwing		SCOP		Totaal vermogen		Kosten verzwaring €/weq/jaar
		Type	eenheid			MW		
Scenario 1	MT	Hoogbouw		--	3,7	5,5	--	€ 573
Scenario 2	MT	Laagbouw		--	3,7	5,9	--	€ 606
Scenario 3	LT	Hoogbouw		-	4,7	4,8	--	€ 516
Scenario 4	LT	Laagbouw		-	4,7	5,0	--	€ 538
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw		++	7,3	0,7	++	€ 215
Scenario 6	ZLT	Laagbouw		-	5,5	1,0	+	€ 234

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag in de woning (1/4)

Buffervat

- Het volume van de tapwaterbuffer op woningniveau wordt voor de warmtenetconfiguraties **S4 LT-grondgebonden** en **S6 ZLT-grondgebonden** bepaald. Er wordt voor deze buffer volumes aangenomen dat er geen stilstandsverliezen zijn.
- Het benodigde volume (m³) wordt vergeleken met het volume van 0,31 m³ voor een typische wasmachine met afmetingen van BxHxD = 0,65*0,85*0,6. De (netto) tapwaterbuffer is voor beide configuraties ongeveer even groot als een halve wasmachine. Als we de buffervaten inclusief isolatie beschouwen zal het totale volume ongeveer verdubbelen.

		Bebouwing	Buffervat	
Naam	Configuratie	Type eenheid	m ³	aantal wasmachines
Scenario 1	MT	Hoogbouw	0,00	0,0
Scenario 2	MT	Laagbouw	0,00	0,0
Scenario 3	LT	Hoogbouw	0,00	0,0
Scenario 4	LT	Laagbouw	0,14	0,5
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	0,00	0,0
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0,12	0,4

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag in de woning (2/4)

Opwaardering

De opwaardering van het tapwater en verwarmingswater vindt voor **S6 ZLT-grondgebonden** plaats met behulp van een warmtepomp. De opwaardering van het tapwater vindt voor **S4 LT-grondgebonden** plaats met behulp van een elektrische ketel. De elektrische ketel en de warmtepomp zijn samengenomen tot een enkel opwaarderingsoppervlak.

- Er wordt voor het oppervlak van de opwaarderingsvoorziening in de woning gebruik gemaakt van een afgeleid kengetal uit de Rapportage voor Grootschalige Aquathermie in Nijmegen, waarvoor een oppervlak van 75,8 m² per MW wordt gehanteerd.

		Bebouwing	Opwaardering	
Naam	Configuratie	Type eenheid	m3	aantal wasmachines
Scenario 1	MT	Hoogbouw	0,00	0,0
Scenario 2	MT	Laagbouw	0,00	0,0
Scenario 3	LT	Hoogbouw	0,00	0,0
Scenario 4	LT	Laagbouw	0,02	0,1
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	0,00	0,0
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0,25	0,8

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag in de woning (3/4)

Koeling

De koeling van de woningen vindt voor zowel het MT- als het LT-net (d.w.z. **S1 MT-gestapeld**, **S2 MT-grondgebonden**, **S3 LT-gestapeld** en **S4 LT-grondgebonden**) plaats met behulp van een airco. De koeling van de woningen met een ZLT-net vindt direct uit het net plaats. **S5 ZLT-gestapeld** en **S6 ZLT-grondgebonden** hebben daardoor geen volume voor koeling op woningniveau.

- Er wordt voor het oppervlak van de airco in de woning gebruik gemaakt van het kengetal uit de Rapportage voor Grootschalige Aquathermie in Nijmegen, waarvoor een oppervlak van 75,8 m² per MW wordt gehanteerd. Het oppervlak wordt geschaald naar een volume op basis van het eerder genoemde wasmachine oppervlak tegenover volume.
- Er is voor configuratie 1 tot en met 4 0,12 m³ aan volume vereist voor koeling wat overeenkomt met ongeveer 0,4 wasmachine.

Naam	Configuratie	Bebouwing	Koeling	
		Type eenheid	m3	aantal wasmachines
Scenario 1	MT	Hoogbouw	0,12	0,4
Scenario 2	MT	Laagbouw	0,12	0,4
Scenario 3	LT	Hoogbouw	0,12	0,4
Scenario 4	LT	Laagbouw	0,12	0,4
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	0,00	0,0
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0,00	0,0

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag in de woning (4/4)

Totaal

De tabel toont het gecombineerde ruimtebeslag per woning waarbij opvalt dat:

- Warmtenetconfiguratie **S6 ZLT-grondgebonden** de meeste interne ruimte vereist;
- Warmtenetconfiguratie **S4 LT-grondgebonden** door de aanwezigheid van een tapwaterbuffer in de woning meer ruimte vereist;
- De (actieve) koeling voor de configuraties met een MT- of LT-net een significant ruimtebeslag vereist

Let op: al deze voorzieningen hebben een kast nodig. Er wordt daarnaast geen rekening gehouden met een extra afleverset, extra leidingwerk, en werkruimte.

Naam	Configuratie	Bebouwing		Buffervat		Opwaardering		Koeling		Totaal
		Type	eenheid	aantal wasmachines		aantal wasmachines		aantal wasmachines		aantal wasmachines
Scenario 1	MT	Hoogbouw		0,0		0,0		0,4		0,4
Scenario 2	MT	Laagbouw		0,0		0,0		0,4		0,4
Scenario 3	LT	Hoogbouw		0,0		0,0		0,4		0,4
Scenario 4	LT	Laagbouw		0,5		0,1		0,4		0,9
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw		0,0		0,0		0,0		0,0
Scenario 6	ZLT	Laagbouw		0,4		0,8		0,0		1,2

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag per blok (1/3)

Buffervat

- Het volume van de tapwaterbuffer op blokniveau wordt voor warmtenetconfiguraties **S3 LT-grondgebonden en S5 ZLT-grondgebonden** bepaald. Er wordt voor deze buffer volumes aangenomen dat er geen stilstandsverliezen zijn. Daarnaast wordt er aangenomen dat een buffervat op blokniveau horizontaal wordt geplaatst en een diameter heeft van 2,0 meter. Door de aanwezigheid van een isolatieschil neemt het benodigde ruimtebeslag toe met 30%.
- Het benodigde volume (m³) wordt vergeleken met het volume van 32,7 m³ voor een typische zeecontainer met afmetingen van BxHxD = 2,35*2,36*5,89. Het zeecontainer oppervlak wordt gebruikt als referentie voor het volume van de warmtepomp.

Naam	Configuratie	Bebouwing Type eenheid	Buffervat	
			m3	aantal zeecontainers
Scenario 1	MT	Hoogbouw	0	0
Scenario 2	MT	Laagbouw	0	0
Scenario 3	LT	Hoogbouw	134	4
Scenario 4	LT	Laagbouw	0	0
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	120	4
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0	0

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag per blok (2/3)

Opwaardering

- Er wordt voor het oppervlak van de opwaarderingsvoorziening op blokniveau gebruik gemaakt van het kengetal uit de Rapportage voor Grootschalige Aquathermie in Nijmegen, waarvoor een oppervlak van 75,8 m² per MW wordt gehanteerd. Er wordt aangenomen dat een doorstroomverwarmer en/of e-booster een vergelijkbaar oppervlak per MW vereist
- Op blokniveau is er voor **S3 LT-gestapeld** voor 52 m³ en voor **S5 ZLT-gestapeld** een totaal van 679 m³ aan opwaardering vereist op basis van de vergelijking in aantal zeecontainers (d.w.z. oppervlak). In het eerste geval wordt de opwaardering met een elektrische ketel gerealiseerd en in het tweede geval met een warmtepomp.

Naam	Configuratie	Bebouwing		Opwaardering		
		Type eenheid	Buffervat		Opwaardering	
			m3	aantal zeecontainers	m3	aantal zeecontainers
Scenario 1	MT	Hoogbouw	0	0	0	0
Scenario 2	MT	Laagbouw	0	0	0	0
Scenario 3	LT	Hoogbouw	134	4	52	2
Scenario 4	LT	Laagbouw	0	0	0	0
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	120	4	679	21
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0	0	0	0

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag per blok (3/3)

Totaal

- Er is voor **S5 ZLT-gestapeld** een groter volume aan opwaardering op blokniveau nodig, doordat er geen opwaardering plaats vindt ten behoeve van het net direct na de O-BES.
- In de huidige analyse hebben beide systemen op blokniveau een vergelijkbare buffervoorziening.

			Bebouwing				
Naam	Configuratie	Type eenheid	Buffervat		Opwaardering		Totaal
			m3	aantal zeecontainers	m3	aantal zeecontainers	aantal zeecontainers
Scenario 1	MT	Hoogbouw	0	0	0	0	0
Scenario 2	MT	Laagbouw	0	0	0	0	0
Scenario 3	LT	Hoogbouw	134	4	52	2	6
Scenario 4	LT	Laagbouw	0	0	0	0	0
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	120	4	679	21	24
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0	0	0	0	0

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag warmtecentrale distributie

Opwaardering

De warmtecentrale voor het distributiesysteem verhoogt de temperatuur vanuit de O-BES naar de gewenste aanvoertemperatuur. In de huidige analyse vereist een ZLT-net geen verhoging van de aanvoertemperatuur.

- Er wordt voor het oppervlak van de warmtecentrale t.b.v. de distributie gebruik gemaakt van het kengetal uit de Rapportage voor Grootschalige Aquathermie in Nijmegen, waarvoor een oppervlak van 75,8 m² per MW wordt gehanteerd.
- Het oppervlak voor de O-BES wordt niet in de analyse meegenomen vanwege de onzekerheid. Er is een versimpeld O-BES volume bepaald op basis van de warmtevraag (MWh). In de huidige analyse zal er een groter O-BES volume nodig zijn voor de warmtenetconfiguraties met een ZLT-net tegenover de warmtenetconfiguraties met een MT-net.

		Bebouwing				
Naam	Configuratie	Type eenheid	Warmte centrale voor het distributiesysteem		O-BES opslag	
			m3	aantal zeecontainers	m3	Volume ondergrond m3/weg
Scenario 1	MT	Hoogbouw	1300	40	1098570	1099
Scenario 2	MT	Laagbouw	1403	43	1185065	1185
Scenario 3	LT	Hoogbouw	1039	32	1135824	1136
Scenario 4	LT	Laagbouw	1103	34	1205481	1205
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	0	0	1257329	1257
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0	0	1199514	1200

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag in de ondergrond (1/2)

Afstand andere infrastructuur

De NEN7171-1 norm wordt herijkt om tot een nieuwe richtlijn voor de afstand van warmtenetten tot drinkwaterleidingen te komen. Er is op dit moment nog geen (definitieve) norm voor de te hanteren afstand.

- In het algemeen kan worden gesteld dat een hogere aanvoertemperatuur (T_a) een verhoogd risico op thermische interferentie oplevert en daarom een grotere afstand tot drinkwaterleidingen vereist (Deltares).
- Een hogere aanvoertemperatuur vereist ook meer ruimte bij toekomstige graafwerkzaamheden om uitknikken van de warme leiding te voorkomen bij het wegvallen van de gronddruk (Deltares cursus Open Duurzame Warmtenetten).
- Er is een kwalitatief criterium opgesteld op basis van de aanvoertemperatuur (T_a) waarbij de indeling lineair is verdeeld tussen de extremen van de beschouwde warmtenetten.

Naam	Configuratie	Bebouwing	Afstand andere infrastructuur (--; negatief en ++ positief)
		Type eenheid	
Scenario 1	MT	Hoogbouw	--
Scenario 2	MT	Laagbouw	--
Scenario 3	LT	Hoogbouw	-
Scenario 4	LT	Laagbouw	-
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	++
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	++

Criteria gerelateerd aan ruimtebeslag in de ondergrond (2/2)

Minimale sleufbreedte benodigd voor het warmtenet

De diameter van het warmtenet wordt bepaald op basis van de benodigde transportcapaciteit bij de piekwarmtevraag.

- De verschillen in de diameters van het distributienet zijn voor de huidige configuraties minimaal. Hiervoor zijn 3 oorzaken aan te wijzen: 1) De distributieverliezen zijn lager voor systemen met een lagere aanvoertemperatuur. 2) In ZLT netten wordt meer gebruik gemaakt van decentrale warmtebuffering met lagere piekwarmtevraag, waardoor er voor warmtenetconfiguratie S1 tot en met S4 een grotere diameter benodigd is voor het distributienet. 3) Tenslotte zitten de warmtepompen decentraal in de ZLT netten. Zie ook slide 31 met thermische vermogens van het warmtenet.
- De afstand tussen de aanvoer- en retourleiding wordt stapsgewijs opgehoogd. De nagenoeg gelijke diameter van het distributienet resulteert in een vergelijkbare onderlinge afstand tussen de aanvoer- en retourleiding.

Naam	Configuratie	Bebouwing		Leidingwerk ondergrond	
		Type	Afstand andere infrastructuur (--; negatief en ++ positief)	Sleufbreedte m	Leidingwerk ondergrond kwalitatief
Scenario 1	MT	Hoogbouw	--	1,1	+
Scenario 2	MT	Laagbouw	--	1,1	+
Scenario 3	LT	Hoogbouw	-	1,1	+
Scenario 4	LT	Laagbouw	-	1,1	+
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	++	1,2	+
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	++	1,2	+

Criteria gerelateerd aan toepasbaarheid (1/2)

Gebruikersgedrag

- Er is een kwalitatief criterium opgesteld voor de gedragsverandering dat wordt gedefinieerd door de aanvoertemperatuur van het warmtenet (T_a)
- Een warmtenet met een lagere aanvoertemperatuur en piekvermogen vraagt meer aanpassing van bewoners. Door het lagere aansluitvermogen op woningniveau duurt het opwarmen van woningen langer. Er is ook een buffer vereist voor het tapwater, die enkele uren nodig heeft om gevuld te worden.
- De indeling van het criterium is lineair waarbij de laagste aanvoertemperatuur (d.w.z. ZLT net) de minimale score krijgt (Eteck, Deltares)

		Bebouwing	
Naam	Configuratie	Type	Gedragsverandering
		eenheid	
Scenario 1	MT	Hoogbouw	++
Scenario 2	MT	Laagbouw	++
Scenario 3	LT	Hoogbouw	+-
Scenario 4	LT	Laagbouw	+-
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	--
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	--

Criteria gerelateerd aan toepasbaarheid (2/2)

Toekomstbestendigheid

- De beschikbaarheid van (Z)LT-warmtebronnen is groter dan de beschikbaarheid van HT-warmtebronnen. Een warmtenet ontworpen voor lage temperatuur zal daardoor toekomstbestendiger zijn (persoonlijke communicatie Eteck).
- De toekomstige koudevraag zal toenemen door klimaatverandering, daarom zal de levering van koude een steeds grotere rol spelen. Een ZLT net is als enige geschikt om direct koude te leveren door middel van passieve koeling.
- Het toekomstbestendigheidscriteria is daardoor direct gerelateerd aan het type distributienet. Een ZLT net scoort daarbij beter dan een MT net. Alhoewel koudelevering niet mogelijk is met LT net is de score beter dan een MT net door de (verwachte) beschikbaarheid van de bronnen.

Naam	Configuratie	Bebouwing	Toekomstbestendigheid
		Type eenheid	
Scenario 1	MT	Hoogbouw	--
Scenario 2	MT	Laagbouw	--
Scenario 3	LT	Hoogbouw	+-
Scenario 4	LT	Laagbouw	+-
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	++
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	++

Criteria gerelateerd aan verzwaring E-net (1/2)

Verzwaring elektriciteitsnet algemeen niveau

- Er zijn op verschillende niveaus verzwaringen van het elektriciteitsnet vereist als wordt overgestapt naar een warmtenet. Er dient voldoende aansluitvermogen aanwezig te zijn om het elektrisch piekvermogen te kunnen leveren. Daarnaast moeten er per woning voldoende vermogen beschikbaar zijn om de decentrale warmte opwaardering te realiseren.
- Het totale elektrische piekvermogen van de gecombineerde systemen wordt als criteria gebruikt om de consequenties voor het elektriciteitsnet te bepalen. Een hoger elektrisch piekvermogen is daarbij negatief. De kwalitatieve waardering wordt lineair verdeeld tussen het minimum en maximum aansluitvermogen.
- Het elektrische vermogen wordt gedomineerd door de gekozen elektrische piekvoorziening. De elektrische piekvoorziening staat voornamelijk centraal staat opgesteld. In de huidige analyse zal de verzwaring van het E-net voornamelijk plaats moeten vinden op een centrale locatie.

		Bebouwing	Aansluitvermogen			
Naam	Configuratie	Type eenheid	Centraal	Decentraal	Totaal vermogen	
			MW	MW	MW	
Scenario 1	MT	Hoogbouw	5,5	0,0	5,5	--
Scenario 2	MT	Laagbouw	5,9	0,0	5,9	--
Scenario 3	LT	Hoogbouw	4,6	0,0	4,8	--
Scenario 4	LT	Laagbouw	4,5	0,5	5,0	--
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	0,7	0,0	0,7	++
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0,0	1,0	1,0	+

1. Een periode waarin weinig tot geen energie kan worden opgewekt door middel van wind en zonlicht, wegens gelijktijdig optredende duisternis en windstilte (Wikipedia).

Criteria gerelateerd aan verzwaring E-net (2/2)

Robuustheid voor een Dunkelflaute

Een Dunkelflaute is een periode waarbij nauwelijks energie opgewekt kan worden met behulp van zon en/of wind.

- Een systeem, in de huidige selectie van configuraties, is daarom gevoeliger voor een Dunkelflaute¹ als er een hoger vermogen wordt gevraagd.
- De robuustheid van het E-net voor Dunkelflaute wordt daardoor in algemene zin bepaald door het opgestelde elektrische vermogen. De huidige systemen met een elektrische piekvoorziening **S1 MT-gestapeld, S2 MT-grondgebonden, S3 LT-gestapeld en S4 LT-grondgebonden** zijn daardoor minder robuust wat betreft een Dunkelflaute.

Naam	Configuratie	Bebouwing		Aansluitvermogen			
		Type	eenheid	Centraal	Decentraal	Totaal vermogen	
				MW	MW	MW	
Scenario 1	MT	Hoogbouw	5,5	0,0	5,5	--	
Scenario 2	MT	Laagbouw	5,9	0,0	5,9	--	
Scenario 3	LT	Hoogbouw	4,6	0,0	4,8	--	
Scenario 4	LT	Laagbouw	4,5	0,5	5,0	--	
Scenario 5	ZLT	Hoogbouw	0,7	0,0	0,7	++	
Scenario 6	ZLT	Laagbouw	0,0	1,0	1,0	+	

Conclusies op basis van warmtenetconfiguraties

Disclaimer

De analyse is gebaseerd op kengetallen uit zowel openbare bronnen als de praktijk. Daarnaast zijn er aannames gedaan wat betreft kengetallen voor onbekende situaties, welke zijn gebaseerd op ervaring vanuit de praktijk. De gepresenteerde waarden dienen alleen ter indicatie van de verschillen tussen de 6 geanalyseerde warmtenetconfiguraties.

Er wordt een methode gepresenteerd om op een gestandaardiseerde, onafhankelijke, en integrale manier prestatiecriteria onderling te vergelijken. De prestatiecriteria tonen de consequenties van keuzes tussen de verschillende warmtenetconfiguraties.

De kwalitatieve vergelijking tussen de verschillende warmteconfiguraties is opgesteld met behulp van de gepresenteerde kengetallen en een (basis) Excel berekening. Er worden in deze studie geen algemene conclusies getrokken over de wenselijkheid van ZLT, LT of MT configuraties, o.a. doordat:

- a) de isolatieopgave en de aanpassingen aan het afgiftesysteem niet zijn meegenomen in de onderlinge vergelijking. Bij minder goed geïsoleerde woningen moeten daarvoor kosten worden gemaakt bij LT- en ZLT netten.
- b) Er uitgegaan is van een ZLT-bron. Bij de beschikbaarheid van een nabijgelegen MT-bron kan een andere afweging gelden.
- c) Lokale omstandigheden, bijvoorbeeld kleine appartementen, bepalen het belang van de verschillende criteria.

Project specifieke omstandigheden kunnen tot een andere beoordeling leiden.

Algemene conclusies (1/2)

- Het verschil in leidingdiameter voor de MT, LT en ZLT netten is in de huidige analyse klein. De leidingen van het warmtenet worden voor alle configuraties uitgevoerd met isolatie. Het ruimtebeslag in de ondergrond is door de gelijke leidingdiameter ook vergelijkbaar.
- De richtlijn voor de afstand tussen warmtenetten en drinkwaterdistributieleidingen wordt herzien (NEN7171-1). Er kan algemeen worden gesteld dat bij een hogere aanvoertemperatuur van het warmtenet een grotere afstand tot de drinkwaterdistributieleiding noodzakelijk is. De thermische interferentie van het warmtenet en het risico op uitknikken van de warme leiding in het warmtenet zijn namelijk afhankelijk van de temperatuur. Het risico is lager bij een warmtenet met een lagere aanvoertemperatuur.
- In de huidige analyse zijn de geschatte investeringskosten van de warmtenetconfiguraties vergelijkbaar. De investeringskosten worden voor ongeveer 50% bepaald door de kosten voor het warmtenet. De verschillen in de investeringskosten zijn grotendeels te verklaren door verschillen in de kosten voor het warmtenet.

Algemene conclusies (2/2)

- Een systeem is gevoeliger voor een Dunkelflaute¹ naarmate er meer elektrisch piekvermogen wordt gevraagd. Het elektrisch piekvermogen neemt toe naarmate er minder buffer capaciteit in het netwerk beschikbaar is en als er wordt gekozen voor een elektrische piekvoorziening. Een niet-elektrische (fossiele) piekvoorziening zal daartegenover resulteren in een lager elektrisch piekvermogen en daarmee de robuustheid voor een Dunkelflaute verhogen.
- Het ruimtebeslag benodigd voor de opslag, opwaardering en overige faciliteiten is uitgesplitst op woning, blok en centraal niveau.
 - Het ruimtebeslag voor het centrale niveau bevat alleen de faciliteiten benodigd voor het opwaarderen vanaf de opslag (O-BES) naar het warmtenet. Een warmtenet met een hogere aanvoertemperatuur vereist een grotere opwaarderingsfaciliteit.
 - Op blokniveau wordt het ruimtebeslag bepaald door de opwaarderingsfaciliteit en is er een beperkt volume nodig voor het bufferen van tapwater.
 - Op woningniveau neemt koeling met behulp van een traditionele airco een groot gedeelte van de ruimte in beslag voor MT- en LT-netten. Een ZLT-net voorziet een woning direct vanuit het warmtenet van koeling. Er is daarom minder ruimte nodig voor koeling in een ZLT-net. Daartegenover is er voor de opwaardering ongeveer 1,2 wasmachine aan ruimte nodig.

Contact

 www.deltares.nl

 [@deltares](https://twitter.com/deltares)

 [linkedin.com/company/deltares](https://www.linkedin.com/company/deltares)

 info@deltares.nl

 [@deltares](https://www.instagram.com/deltares)

 [facebook.com/deltaresNL](https://www.facebook.com/deltaresNL)

