

Kansen voor warmtebuffering

literatuuronderzoek en introductie
rekenmodel



Kansen voor warmtebuffering

literatuuronderzoek en introductie rekenmodel

Auteurs

Anton de Fockert, Ronald Roosjen, Marissa Frambach

Project referentie: 1128818

Colofon

Het onderzoek naar de kansen van warmtebuffering is uitgevoerd door Nieuwe Warmte Nu.

Het programma Nieuwe Warmte Nu is mede mogelijk gemaakt dankzij financiële ondersteuning van het Nationaal Groeifonds.

Onderzoekspartner

Deltares

december 2025

Samenvatting

Warmtesystemen met als bron een warmtepomp of E-boiler zijn in combinatie met een warmtebuffer een zeer interessant concept om elektriciteitskosten te besparen en om netcongestie te beperken. Door bij een groot aanbod, duurzame elektriciteit om te zetten in warmte die wordt opgeslagen in warmtebuffers kan de kostprijs van warmte worden verlaagd en kan netcongestie worden verminderd doordat er op piekmomenten warmte uit de warmtebuffer kan worden geleverd terwijl de warmtepomp of E-boiler uitstaat.

Door warmte op te slaan in thermische buffers kan er warmte gewonnen worden op momenten dat de vraag en de elektriciteitsprijs laag zijn en kan er geleverd worden als de vraag en de elektriciteitsprijs hoog zijn. Dit zorgt voor:

- Een beter gebruik van de duurzame energiebron, omdat er meer warmte uit de duurzame bron effectief gebruikt kan worden.
- Minder slijtage van de bron door een stabielere levering
- Mogelijkheid om de pieklast uit de warmtebuffer te leveren. Hierdoor worden gasgestookte piekketels met CO₂ uitstoot overbodig.
- Het verminderen van netcongestie, wat op dit moment in vrijwel geheel Nederland een probleem vormt. Door slim gebruik te maken van een thermische buffer kan er warmte uit de buffer worden geleverd tijdens congestieperioden en kan er gebufferd worden tijdens daluren.

Een thermische buffer is vanuit maatschappelijk perspectief interessant, omdat er meer duurzame energie effectief wordt benut en vanuit financieel perspectief door te bufferen tijdens een lage elektriciteitsprijs en te leveren bij een hoge elektriciteitsprijs. Hierdoor is thermische buffering vanuit meerdere perspectieven interessant.

In de praktijk zien we dat warmtebuffers niet altijd worden meegenomen in het ontwerp van een duurzaam warmtesysteem. In deze rapportage is een inventarisatie gemaakt van de toepassing van warmtebuffers in warmtesystemen, waarbij de vliegwielpjecten die worden uitgevoerd binnen Nieuwe Warmte Nu zijn geïnventariseerd.

Daarnaast hebben we een eenvoudig rekenmodel ontwikkeld waarmee inzichtelijk kan worden gemaakt hoe warmtebuffering voor dagopslagsystemen (tank buffering: TTES) en voor seizoensopslag systemen (buffering in ondergrondse waterbassins: PTES) financieel interessant kan zijn en hoe de terugverdientijd van een buffer verkort kan worden. We demonsteren dit aan de hand van drie bestaande warmtenetten uit de praktijk.

Inhoudsopgave

Contents

Samenvatting.....	2
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel	5
1.3 Programma NieuweWarmteNu!	5
1.4 Leeswijzer	5
2 Literatuurstudie	7
2.1 Vormen van warmtebuffering	7
2.2 Interviews met projectontwikkelaars	9
3 Rekenmodel.....	12
3.1 Stroomschema rekenmodel.....	12
3.2 Statisch beheer	13
3.3 Dynamisch beheer	13
3.4 Gebruikte randvoorwaarden	13
4 Voorbeeldcasussen	16
4.1 Warmtenet gemiddelde wijkgrootte: Noordwest Groningen en Zandweerd	16
4.2 Grootschalig Warmtenet Utrecht	17
5 Conclusies en aanbevelingen.....	18
5.1 Voor en nadelen van thermische buffering.....	18
5.2 Rekenmodel	18
5.3 Aanbevelingen	19
Referenties	20

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het opnemen van warmtebuffers in (collectieve) warmtesystemen kan een belangrijkere rol gaan spelen in de energietransitie. Tot op heden spelen warmtebuffers nog een kleine rol in de Nederlandse duurzame warmtesystemen, terwijl warmtebuffers warmtesystemen effectief kunnen balanceren:

- Warmtebuffers kunnen interessant zijn om warmte te leveren tijdens piekmomenten, waardoor de opwekcapaciteit van warmte kleiner kan worden uitgevoerd
- Warmtebuffers kunnen in een warmtesysteem met een warmtepomp als basisbron kostenefficiënter maken, door warmte te produceren en te bufferen als de prijzen laag zijn en warmte uit de buffer te leveren als de prijzen hoog zijn
- Warmtebuffers kunnen netcongestie verminderen door uit een buffer te leveren als er een piekvraag naar elektriciteit is en te bufferen als er een overschot is.

Doordat er in Nederland veel fluctuerende duurzame elektriciteit wordt gewonnen, zijn opslagsystemen interessant als balancerend voor de elektriciteitsvraag. Thermische buffersystemen kunnen bij duurzame warmtesystemen een belangrijke rol spelen. In landen als Duitsland en Denemarken zijn thermische buffers in een warmtesysteem veel gangbaarder. In die landen worden buffers op allerlei schaalniveaus toegepast. Echter doordat er nog niet zoveel voorbeelden van warmtebuffersystemen in Nederland zijn, worden warmtebuffers soms over het hoofd gezien of soms overgeslagen omdat men graag duurzame warmtesystemen aanlegt waar brede ervaring mee is opgedaan.

Hierdoor worden kansen gemist. Een warmtebuffer in een duurzaam warmtesysteem kan op meerdere vlakken een positieve bijdrage leveren aan het energiesysteem. Het is belangrijk dat gemeenten die duurzame warmtesystemen ontwikkelen de toepassing van buffers serieus meenemen in hun plannen. In deze studie bekijken we de huidige stand van zaken door middel van literatuuronderzoek waarin we een analyse maken van warmtebuffering in de 11 vliegwielprojecten binnen NieuweWarmteNu! Daarnaast hebben we gesprekken gevoerd met enkele koplopers en relevante partijen. Om de meerwaarde van thermische buffering te onderzoeken hebben we een eenvoudig rekenmodel opgezet waarmee kan worden onderzocht of een thermische buffer interessant is en hoe groot deze gedimensioneerd zou moeten worden bij een bepaalde warmtevraag.

1.2 Doel

Het doel van het onderzoek is om te onderzoeken wat de meerwaarde is van warmtebuffers in collectieve warmtesystemen nu en in de toekomst, en hoe deze kunnen leiden tot betere business cases

Om dit doel te bereiken is een eenvoudige rekentool gemaakt waarmee een eerste inschatting gemaakt kan worden of een warmtebuffer interessant is om mee te nemen in het ontwerp en hoe deze warmtebuffer gedimensioneerd zou moeten worden voor een optimale businesscase.

De uitkomst van dit onderzoek kan dienen ter inspiratie voor initiatiefnemers van collectieve warmtesystemen, door de toegevoegde waarde te laten zien van het realiseren van warmtebuffers als onderdeel van de het collectieve warmtesysteem.

1.3 Programma NieuweWarmteNu!

Het programma NieuweWarmteNu! (NWN) richt zich op het versnellen van het realiseren van duurzame, collectieve warmtesystemen. Onderdeel daarvan is het kennis- en leerprogramma waar de innovatie voor warmtebuffering een onderdeel is. Binnen NWN zijn 11 vliegwielprojecten gestart die (deels) gefundeerd worden uit het Groeifonds.

1.4 Leeswijzer

In dit rapport wordt in Hoofdstuk 2 ingegaan op de verschillende typen warmtebuffering en hoe deze een bijdrage kunnen hebben aan het warmtesysteem. Verder wordt de kennis en ervaringen van de warmtebuffers bij de 11 vliegwielprojecten verder uitgewerkt.

In Hoofdstuk 3 wordt de rekentool beschreven waarmee een warmtebuffer gedimensioneerd kan

worden. Het rekenmodel kan zowel voor PTES als TTES oplossingen worden gebruikt. In Hoofdstuk 4 wordt dit rekenmodel gebruikt om bij praktijkvoorbeelden te onderzoeken wat de potentie is van het toevoegen van een warmtebuffer aan het duurzame warmtesysteem.

2 Literatuurstudie

In de afgelopen jaren zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de kansen voor warmtebuffers in het duurzame energiesystemen. Zo geeft Netbeheer Nederland aan dat voor het energiesysteem van de toekomst er behoefte is aan flexibiliteit en dat warmtebuffers kunnen worden ingezet om het verschil tussen vraag en aanbod te overbruggen (ref [1]). Deze analyse wordt ondersteund door TNO in de innovatieroadmap waar wordt aangegeven dat warmtebuffers de warmtesystemen voordeliger kan maken door vermindering zware componenten, systeembelasting, en onderhoud. TNO geeft aan dat niet alleen het energie-aspect de business case bepaalt, maar dat eventuele besparingen op de rest van het energiesysteem ook zeer interessant zijn [2].

Naast de meerwaarde van bestaande warmtebuffers, kijkt Berenschot vooruit naar de toepassing van hoge temperatuuropslagbuffers. Zij voorspellen dat HT-seizoensopslagsystemen in 2030 kunnen zorgen voor bijna 60% minder CO₂-emissies als gevolg van het overbodig maken van gasgestookte piekketels [3]. Omdat warmtebuffers warmtenetten robuuster en efficiënter kunnen maken heeft onderzoek InvestNL de potentie van warmtebuffers verder, zodat het voor investeerders duidelijker wordt wat de kansen en risico's zijn vanuit financieringsperspectief. InvestNL heeft in samenwerking met Kalavasta een rekenmodel gemaakt om de kansen van warmtebuffers beter te kwantificeren. Met het rekenmodel kunnen de baten van warmtebuffers worden gekwantificeerd [4]. In het rapport behorend bij het rekenmodel wordt aangegeven dat warmteopslag de kosten voor warmteproductie verlaagd, dat warmteopslag zorgt voor lagere emissies, dat warmteopslag curtailment reduceert van hernieuwbare opwek en dat warmteopslag de netbelasting kan verlagen. Zij geven daarom aan dat een goed gedimensioneerd warmteopslagsysteem een waardevolle toevoeging is aan een warmtenet met financiële en maatschappelijke voordelen.

Zoals hierboven beschreven zien veel partijen de meerwaarde van warmtebuffers in warmtenetten. We zien echter dat in de praktijk er in het ontwerp van een warmtenet nog beperkt rekening gehouden wordt met de inpassing van een warmtebuffer. In dit rapport zullen we verder ingaan op de kansen van warmtebuffers waarbij we de financiële voordelen kwantificeren en de terugverdientijd bepalen voor verschillende systemen.

2.1 Vormen van warmtebuffering

Er bestaan verschillende vormen van warmtebuffering, zo zijn er kleinschalige, ondergrondse en grootschalige buffers. Het belangrijkste verschil is de tijd waar een buffer in gebruikt kan worden. Zo kunnen warmtebuffers worden ingezet om seizoen-fluctuaties uit te dempen en om dag/week fluctuaties te dempen. Beide vormen van warmtebuffering hebben hun eigenschap toepassingen.

In literatuur worden verschillende vormen van warmtebuffering gegeven. Warmtebuffering is mogelijk in vloeistoffen (denk aan water), vaste stoffen (b.v. steen / zand), faseovergangsmaterialen, zoutoplossingen etc. Ieder van deze manieren heeft zijn eigen toepassing. Zo kan bijvoorbeeld een veel hogere temperatuur worden opgeslagen in vaste stoffen dan in water. In Finland is een zandbatterij operationeel, waarbij elektriciteitsoverschotten worden omgezet in hoge temperatuurwarmte in zand (600 °C). Bijkomend voordeel van warmteopslag in steen of zand, is dat dit op hoge temperaturen kan gebeuren, met elektriciteitsoverschotten. Met deze temperaturen is het mogelijk ook interessant om naast warmteproductie voor een warmtenet, ook elektriciteit te produceren met deze hoge temperaturen, juist als de elektriciteitsopwekking laag is in de winter. De ontwikkeling van dit soort systemen is echter nog niet ver ontwikkeld en er wordt hierbij vooral op de industrie gefocust. In deze studie gaan we vooral in op warmteopslag in water. De technieken hiervan zijn volwassen (TRL 9). Andere technieken zitten nog in een eerder stadium van ontwikkeling, en de kostprijs is nog hoog. Vanwege de grote warmtecapaciteit van water en de grote beschikbaarheid kan er op een relatief eenvoudige manier veel warmte worden opgeslagen. De andere methoden worden in deze studie buiten beschouwing gelaten. Een uitgebreide uitleg over de verschillende methoden van warmteopslag is te vinden op de website van de topsector energie (ref [5]).

In deze rapportage gaan we verder op warmtebuffering met water als medium. Hierin kunnen de

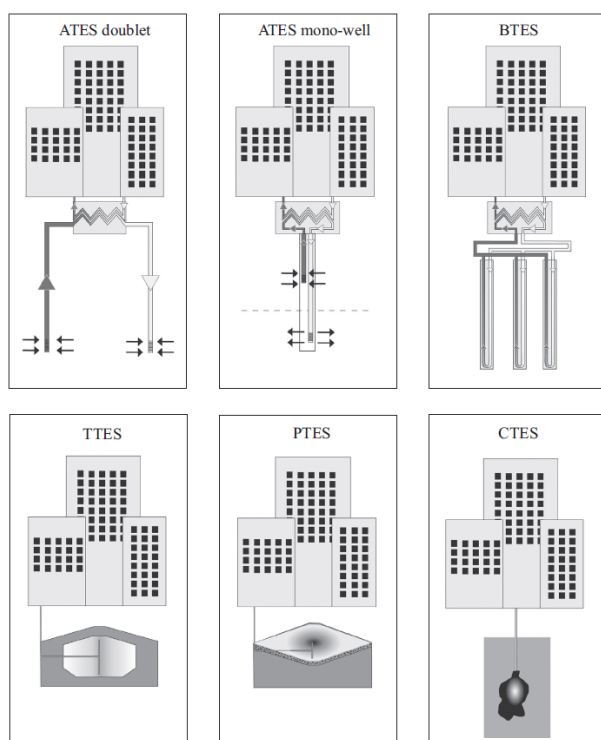
volgende typen worden onderscheiden (ref [6], [7]):

Afkorting	Beschrijving	Nederlands
(HT) ATES	Aquifer thermal energy storage	(hoge temperatuur) Opslag in WKO systemen
BTES	Borehole thermal energy storage	Opslag in bodemplussen
TTES	Tank thermal energy storage	Opslag in een buffervat
PTES	Pit thermal energy storage	Opslag in kuil / put/plas
CTES	Cavern thermal energy storage	Opslag in een ondergrondse caverne

In Tabel 2-1 staan de karakteristieken van de verschillende warmteopslagsystemen uitgelegd met daarbij een schetsmatige tekening in Figuur 2-1.

Tabel 2-1: Beschrijving van thermische opslagsystemen met water als medium.

	status	schaal van toepasbaarheid	opslagduur	Temperatuur niveaus
ATES	breed toegepast in Nederland (duizenden operationele systemen)	wijkniveau	seizoensopslag	5-30°C
HT ATES	innovatief	wijkniveau	seizoensopslag	60-90°C
BTES	veel toegepast bij individuele woningen	huis niveau	seizoensopslag	5-30°C
TTES	toepassing op individueel niveau (in huis) of op grote schaal	huis / wijkniveau	dag/week opslag	20-90°C
PTES	beperkt toegepast in NL. In Scandinavische landen en Duitsland vaker toegepast	wijk / stadsniveau	seizoensopslag	20-90°C
CTES	alleen mogelijk op plekken met cavernes	wijkniveau	seizoensopslag	20-90°C



Figuur 2-1: Thermische opslag systemen voor warmtebuffering (ref [7])

Er zijn verschillende ervaringen met thermische buffers in het buitenland. Het internationaal energie agentschap (IEA) heeft een rapportage uitgebracht met toepassingen van thermische energie opslagsystemen voor de energietransitie (ref [8]), waarbij wordt ingegaan op de methode om een thermische energiesysteem te ontwikkelen en te evalueren. In ref [9] worden factsheets gepresenteerd voor verschillende technieken en worden kostenkennallen gegeven van projecten die zijn gerealiseerd. En in ref [10] worden voorbeelden van thermische buffer systemen in Noord Amerika gepresenteerd, waarbij de meerwaarde van thermische buffers voor verschillende klimaatzones wordt onderstreept.

2.2 Interviews met warmteprojecten

De literatuurstudie is aangevuld met een inventarisatie naar de kansen voor toepassing warmtebuffering in de praktijk. Er is gekeken naar de 11 vliegwielprojecten binnen NieuweWarmteNu! Interviews zijn gehouden met koplopers en relevante partijen over praktijkervaringen in het realiseren van collectieve warmteoplossingen. Inzichten en ervaringen uit literatuuronderzoek en interviews helpen om te bepalen wanneer het overwegen van de toepassing van deze technieken de moeite waard is, en zo kan bijdragen aan betaalbare, duurzame collectie warmte (en koude) systemen. In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de 11 vliegwielprojecten binnen NWN, inclusief de gebruikte warmtebron en of er in het project een warmtebuffer is toegepast. In de tabel is te zien dat in enkele vliegwielprojecten een warmtebuffer in het ontwerp is meegenomen, namelijk in Groningen, Delft en Warm Heeg. In de interviews is getracht te achterhalen wanneer er is nagedacht over een warmtebuffer en wat de overwegingen waren in de business case rondom de projectrealisatie.

Tabel 2-2 Overzicht vliegwielprojecten binnen NWN. De projecten die met rood zijn aangegeven zijn inmiddels gestopt.

Nr	Naam Vliegwiel-project	Project-ontwikkelaar	Warmtebron	Warmte-buffer
1	Rotterdam-Noord	Eneco	Restwarmte (afvalverbrandings-installatie) en STEG (restwarmte uit een stoom- en gascentrale)	Nee
2	Slim Warmtenet	Gemeente	Aquathermie uit afvalwater van	Nee

Nr	Naam Vliegwielpoort	Project-ontwikkelaar	Warmtebron	Warmte-buffer
	Zandweerd - Deventer	Deventer	rioolwaterzuiverings-installatie	
3	Warmtenet Noordwest-Groningen	Warmtestad	Restwarmte uit twee datacenters, vanaf eind 2023 aangevuld met zonthermie met ondergrondse warmtebuffer	Ja: LT, MT, HT
4	Warmtenet Gorinchem	HVC Groep	Aquathermie (thermische energie uit afvalwater, TEA); warmte die vrijkomt bij rioolwaterzuivering	Nee
5	Open Warmtenet Delft	Netbeheerder NetVerder	Geothermie, en in een latere fase warmtekrachtcentrale restwarmte uit Rotterdam en grootschalige warmteopslag	Ja, HT
6	Warmtenet Wilgenlei - Bleiswijk	AgroEnergy	STEG (warmte uit een stoom- en gascentrale), havenwarmte en biomassa, geothermie is in ontwikkeling	Nee
7	Warmtesysteem Westland	Warmtenet-werk Westland	Geothermie en in de toekomst restwarmte uit havengebied	Nee
8	Malburgen-Oost Arnhem	Vattenfall	Restwarmte (afvalverbrandings-installatie) als basislast en biodiesel voor piekvermogen	Nee
9	Warmte volloop HAL	Eneco en Haagse Aardwarmte	Geothermie en STEG (stoom- en gasturbine)	Nee
10	Warm Heeg	Warm Heeg	Aquathermie uit oppervlaktewater met warmte-koudeopslag (WKO)	Ja
11	Middenbeemster	Stadsverwarming Purmerend (SVP)	Biomassa en aardgas, geothermie en aquathermie in ontwikkeling	Nee

Op basis van de uitkomsten van de tabel is een selectie gemaakt om experts te benaderen voor het uitvoeren van interviews om kansen en knelpunten te destilleren om kennis en ervaringen te bundelen. In onderstaande tabel is een overzicht van interviews uitgevoerd voor deze studie met organisatie en vliegwielpoort.

Tabel 2-3 Uitgevoerde interviews met experts op het gebied van warmtebuffering en koelte

Nr	Naam	Organisatie	Vliegwielpoort / kennis
1	Theo Venema	Warmtestad	Warmtenet Noordwest (#3)
2	Ruud Cuijpers	Netbeheerder NetVerder	Open Warmtenet Delft (#5)
3	Ron Sint Nicolaas	Gemeente Deventer	Slim Warmtenet Zandweert (#2)
4	Jeroen Kluck	Hogeschool van Amsterdam	Kennis over prognose koeltevraag en hittestress in de stad
5	Simon Goes	Firan	Kennis over actualiteit van toepassing warmtebuffering en koelte
6	Max Verbaas en Mia Djuretic	Invest-NL	Fonds voor begeleiden projecten en composities voor het financieren van diverse innovatieve business cases

De belangrijkste noties uit de interviews rondom warmtebuffers zijn hieronder samengevat:

- De ingang van het wetsvoorstel collectieve warmte (WCW) gaat een belangrijke bijdrage spelen bij de verdere ontwikkeling van warmtesystemen en daarmee ook voor warmtebuffers. Een belangrijk aandachtspunt voor een duurzaam warmtesysteem is de participatiegraad. Dit geeft voor een warmtebedrijf een hoog risico bij de aanleg van het warmtesysteem.

- Om een warmtebuffer als piekvoorziening te installeren is een grote tankopslag nodig die niet altijd eenvoudig is in te passen, zeker in een woonwijk kan dit problematisch zijn. De uitdaging bij het ontwerp van een warmtebuffer is het volume van de buffer. Nu worden er vooral vuistregels gebruikt om een eerste inschatting van de grootte van de buffer te maken.
- Warmtebuffers staan nog te weinig op het netvlies van de ontwerpbureaus. Het inspelen op fluctuaties in elektriciteitsprijzen zit nog niet goed tussen de oren. Dit leidt tot veel kleinere warmtebuffers in het ontwerp, terwijl juist grote warmtebuffers economisch interessant zijn.
- Het is niet altijd duidelijk wie de eigenaar is van de warmtebuffer. In geval van een collectief warmtesysteem zijn er meerdere opties voor de exploitatie van de warmtebuffer: de warmteleverancier of de exploitant van het warmtenetwerk?

In deze interviews zijn de volgende kennisvragen naar boven gekomen:

- Er is betere software nodig met onderbouwde kentallen om een warmtebuffer te ontwikkelen. Dit verlaagt het risico bij de ontwikkeling van een businesscase voor een warmtesysteem.
- Daarnaast is de voorspelling van de toekomstige energieprijzen en de netcongestie een onzekere factor. Dit bepaalt voor een belangrijk deel of een warmtebuffer rendabel kan worden ingezet.
- Het is per project lastig om de kosten van het ruimtebeslag mee te nemen. Deze kosten moeten worden gedekt, maar zijn per project en per toepassing anders. Ervaringen van ontwikkelde systemen is hierbij essentieel.
- Het is voor warmtebedrijven belangrijk dat de onzekerheden van het aantal aansluitingen wordt verkleind. Nu kan iedere woning worden aangesloten op basis van vrijwillige deelname. De participatiegraad moet boven een vaste waarde zijn om een warmtesysteem rendabel aan te kunnen leggen. Dit is vooral een algemeen punt bij het ontwikkelen van warmtenetten.
- Warmtebuffers moeten als piekvoorziening concurreren met gasketels die vaak al aanwezig zijn. Mede door de onzekerheid in het piekvermogen van een ketel is het lastig om de grootte van een warmtebuffer te bepalen, terwijl dit een grote invloed heeft op de businesscase.
- Er is meer interactie op nodig op grote schaal. Hoe kunnen naastliggende warmtebronnen elkaar versterken? Er zijn op dit moment weinig partijen die het hele speelveld goed kunnen overzien. Daardoor wordt er bij het ontwerp vaak rekening gehouden met een eigen warmtesysteem, waardoor kansen gemist worden.
- Er is een beter overzicht nodig van innovatieve oplossingen, zodat er wordt voorkomen dat alleen standaard opties van warmtebuffering worden meegenomen in de afweging. Daar waar ruimtebeslag bepalend is, kunnen ondergrondse buffers toegepast worden. Indien hogere temperaturen nodig zijn (bv voor de industrie), kunnen zand of basalt buffers toegepast worden. Daar waar zeer grote opslagcapaciteit nodig is, kan pit storage toegepast worden.

De kennisvragen geven richting aan de kennisontwikkeling in de komende jaren. In het huidige rapport gaan we niet op alle kennisvragen in. In de volgende hoofdstukken wordt er een eenvoudig rekenmodel gepresenteerd waarmee de kosten en terugverdientijden van een warmtebuffer inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

3 Rekenmodel

Kalavasta heeft in opdracht van InvestNL een rekenmodel ontwikkeld om aan warmtebuffering te rekenen (ref [4]). Dit rekenmodel is vrij gedetailleerd. Om het rekenmodel goed te kunnen begrijpen is gedegen kennis van een warmtesysteem nodig. Om laagdrempelig inzicht te geven in de meerwaarde van buffering is een eenvoudig rekenmodel ontwikkeld voor seizoensopslag en voor dag/week opslag. Het doel van het eenvoudige rekenmodel is om op een laagdrempelige manier te onderzoeken of buffering interessant is om toe te voegen in een warmtenet en hoe de buffer ontworpen moet worden voor een maximaal effect.

disclaimer

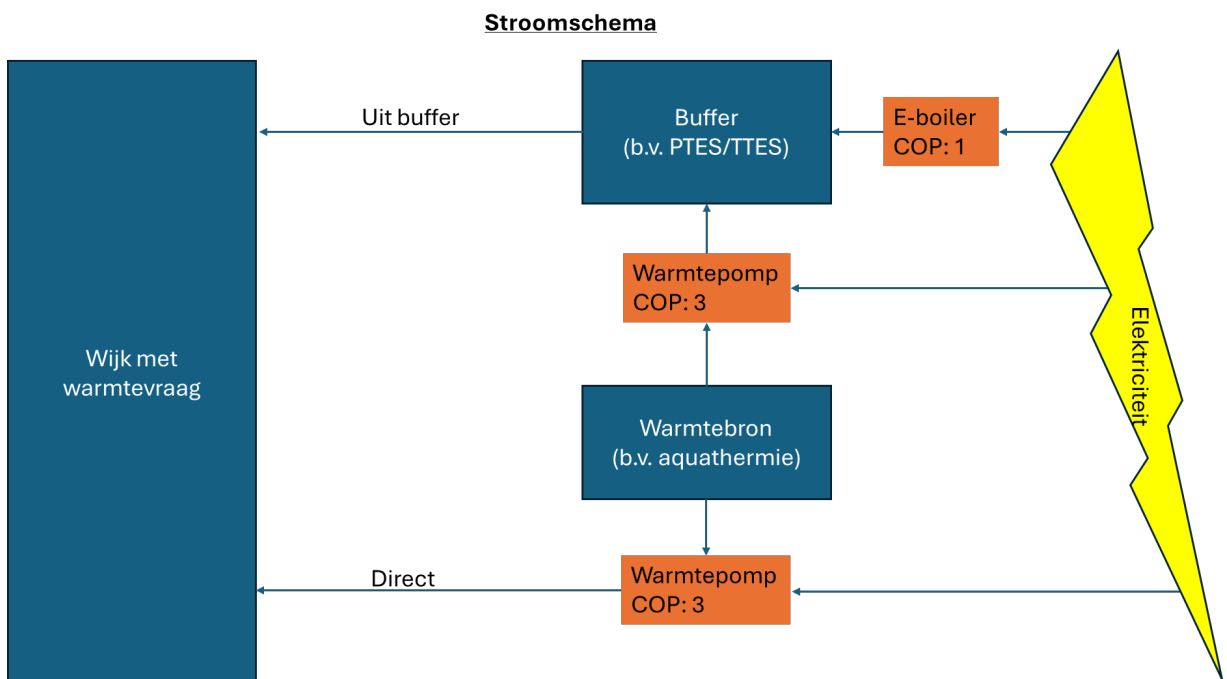
Het staat een ieder vrij de resultaten berekend met het model te gebruiken voor het eigen intern, niet-commercieel gebruik, maar is niet geschikt om (ontwerp)beslissingen op te baseren. Deltares heeft dit rekenmodel opgezet om snel inzicht te kunnen geven over de kansen van buffering in een warmtesystemen. Dit rekenmodel wordt daarom ook aangeboden zonder garantie van welke aard dan ook. Het gebruik ervan is voor eigen rekening en risico. Deltares / Nieuwe Warmte Nu is in geen geval aansprakelijk voor schades ontstaan door gebruik van dit rekenmodel. Als blijkt dat het toevoegen van een buffer interessant is om kosten te besparen of om een warmtenet kleiner te dimensioneren, dan raden we aan om de verdere dimensionering uit te voeren met behulp van een adviesbureau.

3.1 Stroomschema rekenmodel

In het rekenmodel wordt ervan uitgegaan dat overschotten aan duurzame elektriciteit kunnen worden omgezet in warmte die in een buffer wordt opgeslagen. Het stroomschema van het model is schematisch weergegeven in Figuur 3-1. Op basis van dit stroomschema zijn er 3 opties:

- Er wordt direct geleverd
- Er wordt direct geleverd en er wordt warmte gebufferd
- Er wordt geleverd uit de buffer

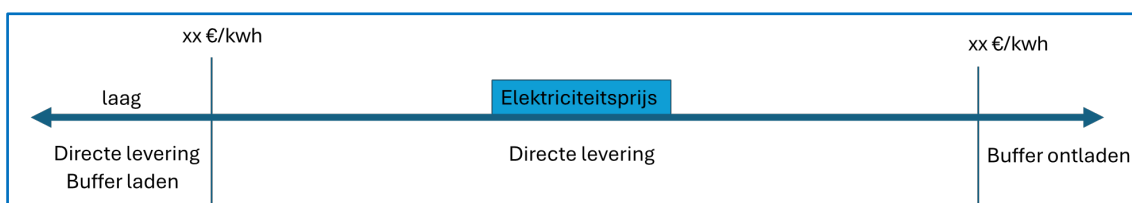
Op basis van dit schema kan zowel de seizoensbuffering als de dag/week buffer worden gedimensioneerd. Bij een seizoensbuffer wordt een PTES (kuil/put/plas) systeem verondersteld en bij een dag/week buffer wordt een TTES (tank) systeem verondersteld. Voor beide systemen is een andere filosofie gehanteerd voor het vullen en legen van de buffer. Deze wordt in de volgende paragrafen uitgelegd.



Figuur 3-1: Stroomschema rekenmodel thermische buffering

3.2 Statisch beheer

Bij de optie statisch beheer wordt de buffer door de warmtepomp geladen als de elektriciteitsprijs onder een bepaalde grens ligt en wordt de buffer ontladen als de prijs boven een bepaalde grens ligt. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3-2. Door de buffer bijvoorbeeld te laden bij een negatieve stroomprijs kan curtailment worden voorkomen. In dat geval is het zelfs mogelijk om de buffer nog eens extra te laden met behulp van een E-boiler (met een COP van 1). Het statisch beheer is weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-2: Statisch beheer buffer

In het rekenmodel wordt de buffer geladen en ontladen op basis van de elektriciteitsprijs. Om te zorgen dat er wel voldoende warmte aanwezig is in de buffer, dient de buffer groot genoeg te zijn, zodat de thermische buffer ten allen tijden voldoende warmte kan leveren. In het rekenmodel wordt aangegeven of de buffer gedurende de analyseperiode leeg raakt, of altijd voldoende gevuld blijft.

3.3 Dynamisch beheer

Naast het rekenmodel met statisch beheer is er ook een rekenmodel ontwikkeld met een dynamisch beheer ontwikkeld. Het principe van laden en ontladen van de buffer is anders dan bij het statisch beheer zoals beschreven in paragraaf 3.2. Bij het dynamisch beheer wordt gekeken wat de huidige elektriciteitsprijs is ten opzichte van de gemiddelde elektriciteitsprijs over een vaste periode (enkele dagen). Als de prijs lager is dan de gemiddelde prijs over die periode, dan wordt de buffer geladen en als de prijs hoger is dan de gemiddelde prijs over die periode, dan wordt de buffer ontladen. Dit is wiskundig weergegeven door middel van de onderstaande formules:

$$E_{prijs} < \frac{1}{T_{uur}} \sum_{i=1}^{T_{uur}} E_{prijs \text{ per uur}} \rightarrow \text{buffer laden}$$

$$E_{prijs} > \frac{1}{T_{uur}} \sum_{i=1}^{T_{uur}} E_{prijs \text{ per uur}} \rightarrow \text{buffer ontladen}$$

Daarnaast is er in het rekenmodel rekening gehouden met de mogelijkheid om de buffer verder te laden bij een negatieve stroomprijs om curtailment te voorkomen. In dat geval is het mogelijk om de buffer extra te laden door ook een E-boiler (met een COP van 1) te gebruiken om de buffer nog sneller te laden.

Om te zorgen dat er wel voldoende warmte aanwezig is in de buffer, dient de buffer groot genoeg te zijn, zodat er ten allen tijden warmte beschikbaar is in de buffer. In het rekenmodel wordt aangegeven of de buffer gedurende de analyseperiode leeg raakt, of altijd voldoende gevuld blijft.

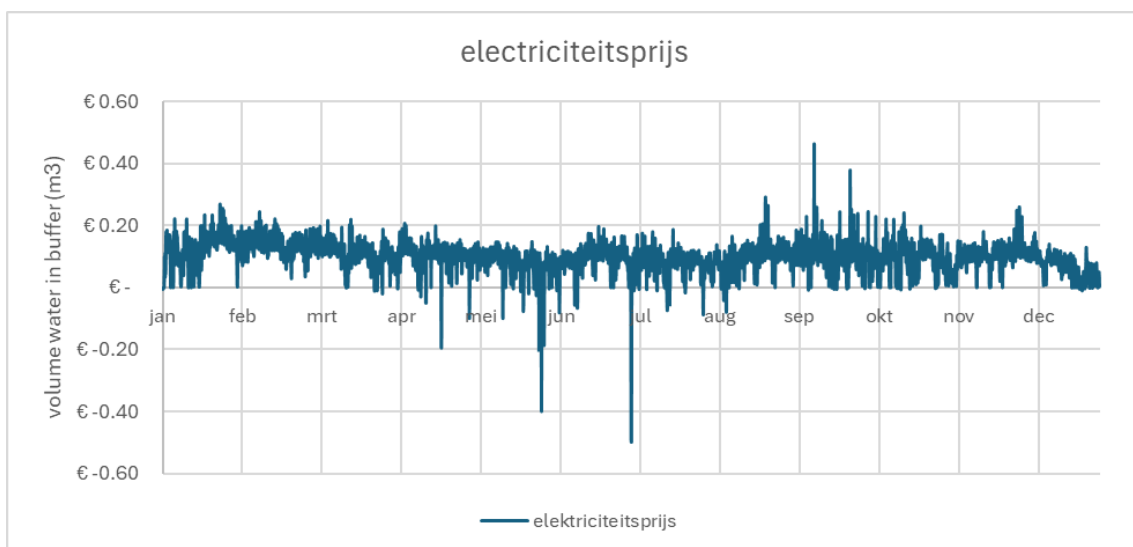
3.4 Gebruikte randvoorwaarden

De randvoorwaarden die gebruikt zijn om het rekenmodel te bouwen zijn de elektriciteitsprijs per uur en de warmtevraag.

Elektriciteitsprijzen

In het rekenmodel is het mogelijk om de elektriciteitsprijs van 2018, 2023, 2035, 2040 en 2050 te

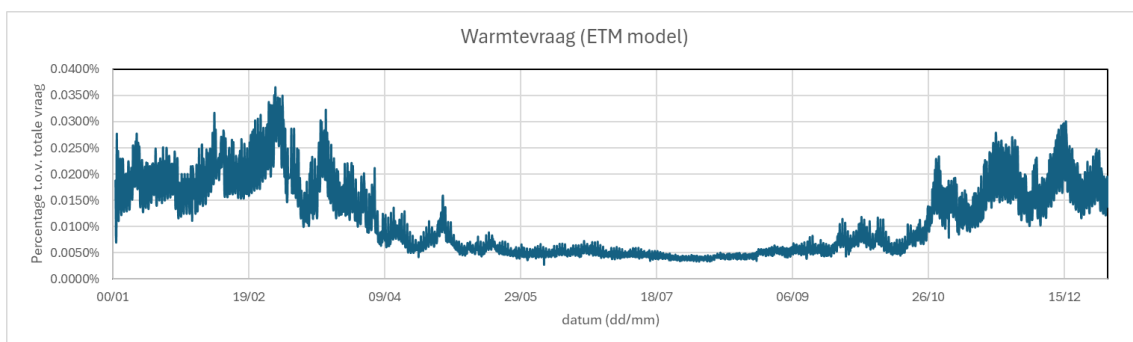
gebruiken. De elektriciteitsprijzen voor de jaren 2018 en 2023 zijn gebaseerd op opgetreden prijzen voor elektriciteit op de energiemarkt (EPEX-prijzen). De elektriciteitsprijzen voor de jaren 2035, 2040 en 2050 zijn gebaseerd op de prijzen zoals gebruikt in het energietransitiemodel van Quintel (<https://energytransitionmodel.com>)



Figuur 3-3: elektriciteitsprijs per uur 2023 (EPEX)

Warmtevraag

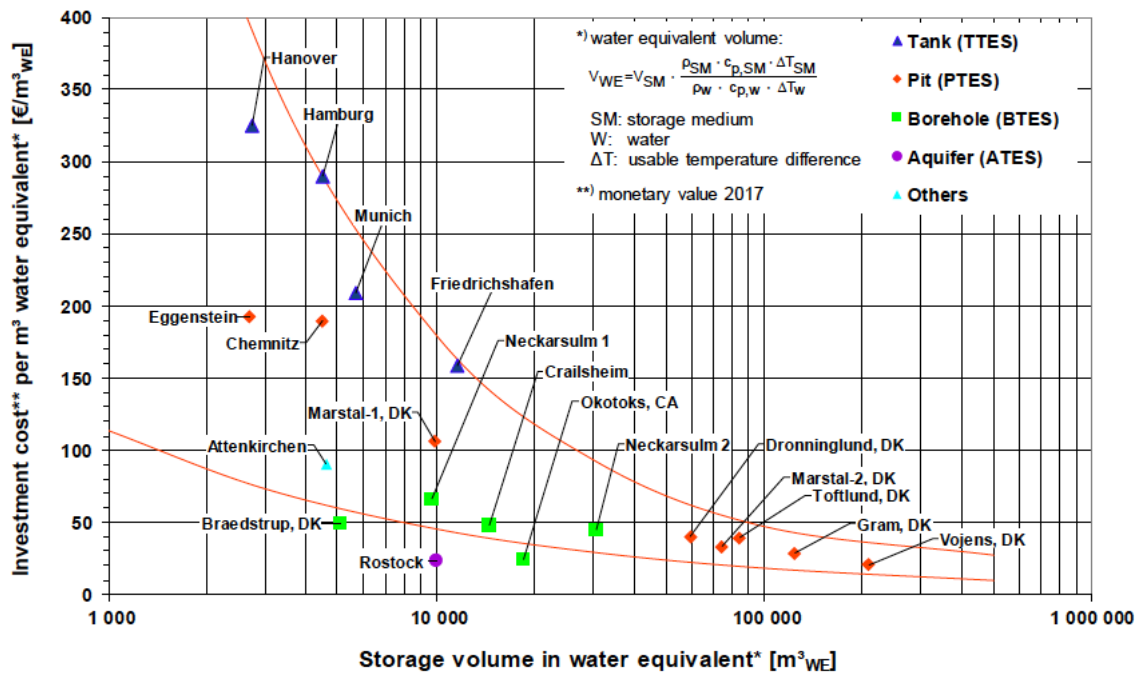
De warmtevraag varieert per jaar. Voor deze analyse is de warmtevraag gebaseerd op de energievraag van het energietransitiemodel (<https://energytransitionmodel.com>). De warmtevraag kan natuurlijk per wijk verschillen, maar voor het doel van ons rekenmodel is deze warmtevraagcurve voldoende representatief voor een gemiddelde wijk. In een detailontwerpfase wordt aangeraden om de echte warmtevraagcurve van de wijk in te voeren.



Figuur 3-4: warmtevraag per uur volgens het energietransitiemodel (<https://energytransitionmodel.com>).

Kosten buffer

De kosten van een TTES buffer of een PTES buffer verschillen. De CAPEX (€/m³) van grootschalige buffers is lager dan van kleinschalige buffers. In onze rekensheet is het mogelijk om de waarde voor de investeringskosten zelf op te geven. Ter referentie zijn de investeringskosten van verschillende bufferoplossingen grafisch weergegeven in Figuur 3-5.



Figuur 3-5: investeringskosten voor verschillende bufferoplossingen van verschillende projecten (bron: <https://solarthermalworld.org/news/seasonal-pit-heat-storage-cost-benchmark-30-eurm3/>)

Kosten warmtebron in buffer

Als warmtebron in de buffer wordt een warmtepomp gebruikt. Naast de warmtepomp kan een E-boiler worden ingezet om bij lage elektriciteitsprijzen de buffer extra te kunnen vullen. Als kostprijs van een warmtepomp en een E-boiler zijn de volgende kostenkentallen gebruikt:

- Warmtepomp: 500€/kW
- E-boiler: 50€/kW

De kosten van deze warmtebronnen zijn gebaseerd op de kostenkentallen zoals gegeven in ref [11]. De kostenkentallen in ref [11] zijn gebaseerd op input van verschillende warmtebedrijven.

4 Voorbeeldcasussen

Met behulp van het rekenmodel zoals beschreven in Hoofdstuk 3, zijn buffers gedimensioneerd op basis van statisch en dynamisch beheer voor 3 casussen. De eerste 2 casussen zijn vliegwielprojecten binnen het Nieuwe Warmte Nu programma. De laatste casus richt zich op een echt groot warmtenet, om te onderzoeken of dit tot andere resultaten leidt.

Casus	Locatie	Aantal woningen	Warmtevraag
1	Warmtenet Noordwest - Groningen	5000	
2	Zandweerd – Deventer	2200	
3	Utrecht	56000	3 PJ

Per casus wordt gekeken of er een kostenbesparing mogelijk is en wat daarbij de terugverdientijd is. Voor de verschillende casussen wordt er per jaar een analyse gemaakt van de grootte van de buffer, het vermogen van de warmtepomp, de prijs waarbij de buffer gevuld moet worden en de prijs waarbij de buffer geleegd moet worden. Het ontwerpen van een optimaal buffersysteem is een samenspel van de grootte van de buffer, het vermogen van de warmtepomp en E-boiler samen met de elektriciteitsprijzen en warmtevraag. Hierbij geldt dat de optimale combinatie voor het ene jaar niet per se de optimale combinatie hoeft te zijn voor een ander jaar.

Bij de optimalisatie wordt ervoor gezorgd dat de buffer nooit leeg raakt tijdens de 5 verschillende analysejaren (zie paragraaf 3.4). Er wordt één buffervolume en één vermogen van een warmtepomp geselecteerd. In de optimalisatie wordt er met de prijs waarbij gevuld en geleegd kan worden gevarieerd om ervoor te zorgen dat de buffer niet leeg raakt.

4.1 Warmtenet gemiddelde wijkgruote: Noordwest Groningen en Zandweerd

Omdat de warmtesystemen voor Noordwest Groningen en Zandweerd wat betreft omvang vergelijkbaar zijn, wordt een waarde gepresenteerd voor de terugverdientijd van beide systemen. De buffervolumes en de vermogens van de warmtepomp zijn niet gelijk. Maar deze zijn schaalbaar in de rekentool. In de rekentool wordt geen rekening gehouden met warmteverlies. Bij een kleine buffer zal dit groter zijn dan bij een grote buffer.

De buffers voor beide warmtesystemen zijn gedimensioneerd op basis van statisch en dynamisch beheer. De analyse methode leidt tot een verschillend buffervolume. Uit de analyse blijkt dat de buffer voldoende groot moet zijn om ten allen tijden warmte te kunnen leveren. Echter als de tank te groot wordt gedimensioneerd, dan nemen de investeringskosten toe terwijl een deel van de buffer niet gebruikt wordt. Hetzelfde geldt voor de warmtepomp. Om een kosten efficiënt systeem te ontwikkelen moet deze niet te groot worden gedimensioneerd vanwege de hoge CAPEX van de warmtepomp. Beide factoren resulteren in een langere terugverdientijd. Voor korte terugverdientijden moeten de buffer volumes groot genoeg zijn om de piek warmtevraag te kunnen leveren, maar klein om geen overbodige kosten te maken. De het vermogen van de warmtepomp moet voldoende zijn om de buffer voldoende snel te kunnen vullen.

De elektriciteitsprijs varieert nogal voor de verschillende jaren die zijn geanalyseerd. Waarbij de elektriciteitskosten op momenten met weinig duurzame energie in de toekomstige jaren 2035-2050 hoog is. Met de buffer moet tijdens deze pieken warmte kunnen worden geleverd. In de analyse is de grootte van het buffersysteem gelijk gehouden. Dat betekent dus dat het systeem voor een bepaald jaar optimaal is gedimensioneerd, maar voor een ander jaar iets te groot.

In Tabel 4-1 zijn de buffervolumes weergegeven voor de verschillende analyse methoden met de terugverdientijden voor de verschillende manieren van beheer.

Tabel 4-1: terugverdiëntijd buffersysteem voor de casussen Groningen en Zandweerd zoals volgt uit de rekentool. Het verschil in terugverdiëntijd tussen PTES en TTES zit in de CAPEX zoals bepaald in paragraaf 3.4.

	Dynamisch beheer		Statisch beheer	
	Groningen / Zandweerd		Groningen / Zandweerd	
Buffervolume	5000 m³ / 2200 m³		2800 m³ / 1200 m3	
P _{th} warmtepomp	4.2 MW / 1.85 MW		0.7 MW / 0.3 MW	
P _E -boiler	10 MW / 3 MW		0 MW / 0.1 MW	
	terugverdientijd (jaar)			
	PTES	TTES	PTES	TTES
2018	3.9	10.8	13.4	nooit
2023	1.7	5.7	7.9	19
2035	2.4	8.3	3.5	8.3
2040	3.8	12.6	6.1	14.6
2050	4.0	13.7	9.0	21.5

Uit deze analyse blijkt dat de terugverdiëntijd voor ieder type van buffer lager is dan 4 jaar voor PTES systemen met dynamisch beheer. Voor TTES systemen is de terugverdiëntijd hoger door een hogere CAPEX van TTES systemen (zie paragraaf 3.4). De terugverdiëntijd bij statisch beheer is langer. De buffer wordt in deze manier van beheer minder vaak gebruikt. De buffervolumes bij statisch beheer zijn echter wel lager, waardoor een systeem kleiner kan worden gedimensioneerd. De terugverdiëntijden voor tanksystemen (TTES) zijn significant hoger dan PTES systemen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat tank systemen een hoger TRL niveau hebben dan PTES systemen in Nederland. Het is daarom belangrijk dat er ook met PTES systemen meer ervaring wordt opgebouwd in de Nederlandse context

4.2 Grootschalig Warmtenet Utrecht

Voor de casus Utrecht is alleen een buffer doorgerekend op basis van de statisch beheer methode. De grootte van de gekozen PTES buffer bedraagt 50000 m³, omdat dit soort volumes niet meer in een tank passen. De terugverdiëntijd met deze buffer is lager dan 5 jaar op basis van de elektriciteitsprijzen van 20235 en de toekomstige elektriciteitsprijzen. De terugverdiëntijd op basis van de elektriciteitsprijzen van 2018 is zo'n 8 jaar.

jaar	terugverdiëntijd (jaar)
2018	7.9
2023	4.7
2035	1.4
2040	3.1
2050	4.0

Uit de gekozen rekenvoorbeelden blijkt dat de terugverdiëntijd van thermische buffers varieert op basis van de gekozen elektriciteitsprijzen. De terugverdiëntijden voor de toekomstige jaren is voor PTES systemen minder dan 10 jaar. Voor TTES systemen waarvoor een hogere CAPEX geldt is de terugverdiëntijd langer. Het beheer van de buffer en het type buffer bepalen de exacte terugverdiëntijd. Omdat deze terugverdiëntijd kan variëren is het belangrijk om hier een scenario analyse op uit te voeren met verschillende elektriciteitsprijsscenario's .

5 Conclusies en aanbevelingen

Momenteel worden warmtebuffers nog beperkt meegenomen in het integraal ontwerp van warmtesystemen. Door warmtebuffers integraal onderdeel te maken van het technisch ontwerp, kunnen warmtesystemen optimaler worden gebruikt. Uit interviews bleek dat de voordelen van warmtebuffers vaak niet bekend zijn, of dat deze lastig zijn te kwantificeren in een business case.

5.1 Kansen door thermische buffering

Door overtollige elektriciteit om te zetten in warmte die wordt opgeslagen in warmtebuffers kan de kostprijs van warmte worden verlaagd en kan netcongestie worden verminderd doordat er op piekmomenten warmte uit de warmtebuffer kan worden geleverd. Daarnaast kan curtailment worden verminderd en kan de duurzame bron langer elektriciteit produceren. Door elektriciteitsoverschotten op te vangen in warmtebuffers, kan een thermische buffer worden ingezet als piekvoorziening in een warmtenet. Aardgasketels zijn tot nu toe de goedkoopste optie als piekvoorziening, maar bij andere prijzen van aardgas en CO₂ heffing kan dit mogelijk verschuiven, ten gunste van warmtebuffers. Door elektriciteitsoverschotten in warmte om te zetten kan duurzame energie langer worden gebruikt en kan zelfs tijdens een dunkelflaute de opgeslagen warmte worden geleverd aan het warmtenet. Daarnaast is er door stabielere levering minder slijtage van de bron, kan de bron vaak kleiner worden uitgevoerd en vermindert het netcongestie op het elektriciteitsnet. Hierdoor kan met de inpassing van warmtebuffers een stabielere en betrouwbaardere en betaalbare energievoorziening worden ontwikkeld. Een uitdaging van het toepassen van warmtebuffers is de ruimtelijke inpassing. Er zijn echter ook warmtebuffers (zoals het systeem van HoCoSto), waarbij de warmtebuffer onder bebouwing zoals parkeerplaatsen en speeltuinen wordt toegepast.

Warmtebuffering in tanks heeft een hoog TRL niveau en wordt momenteel als 'standaard' toegepast in warmtesystemen. Toepassing van andere buffer technieken is nog maar beperkt. Pit storage is nog niet toegepast in Nederland, terwijl er in het buitenland (b.v. Denemarken, Duitsland, etc.) al wel meer ervaring is met dit soort systemen.

Voor innovatieve buffering met andere materialen zoals basalt of een zandbatterij wordt minder snel gekozen. In Finland is een zandbatterij operationeel, waarbij elektriciteitsoverschotten worden omgezet in hoge temperatuurwarmte in zand (600 °C). Bijkomend voordeel van warmteopslag in steen of zand, is dat dit op hoge temperaturen kan gebeuren, met elektriciteitsoverschotten. Met deze temperaturen is het mogelijk ook interessant om naast warmteproductie voor een warmtenet, ook elektriciteit te produceren met deze hoge temperaturen, juist als de elektriciteitsopwekking laag is in de winter.

5.2 Rekenmodel

Om de terugverdientijd van een thermische buffer te bepalen is een eenvoudig rekenmodel opgezet waarmee een warmtebuffer gedimensioneerd kan worden. Het rekenmodel bepaald aan de hand van de elektriciteitsprijs of de buffer gevuld moet worden, of dat de warmtevraag uit de buffer geleverd kan worden. Voor 3 warmtenetten (warmtenet Noordwest Groningen, warmtenet Zandweerd Deventer en warmtenet Utrecht) is onderzocht wat de terugverdientijd van de verschillende buffersystemen zou zijn. Uit de gekozen rekenvoorbeelden blijkt dat de terugverdientijd van thermische buffers varieert op basis van de gekozen elektriciteitsprijzen. De terugverdientijden voor de toekomstige jaren is voor PTES systemen minder dan 10 jaar. Voor TTES systemen waarvoor een hogere CAPEX geldt is de terugverdientijd langer. Het beheer van de buffer en het type buffer bepalen de exacte terugverdientijd.

Met het rekenmodel kan worden gekozen voor een dynamische of een statische regeling. Het rekenmodel geeft een eerste inzicht in de mogelijk haalbaarheid van een thermische buffer. Het is bedoeld om de bewustwording van warmtebuffers in warmtenetten te vergroten. Als blijkt dat het toevoegen van een buffer interessant is om kosten te besparen of om een warmtenet kleiner te dimensioneren, dan raden we aan om de verdere dimensionering uit te voeren met behulp van een adviesbureau.

De huidige wet- en regelgeving zorgt voor onduidelijke rollen/ verantwoordelijkheden bij de aanleg van

warmtesystemen voor wie de baten en verantwoordelijkheid heeft van een warmtebuffer. De ingang van de Wet Collectieve Warmte biedt door de verduidelijkte en verbrede verantwoordelijkheden mogelijk in de toekomst meer ruimte voor het aanleggen van warmtebuffers.

5.3 Aanbevelingen

De mogelijkheden voor het aanleggen van warmtebuffers worden vaak over het hoofd gezien bij het opzetten van collectieve warmtesystemen. Door de kennis over de voordelen van warmtebuffers bij de technisch adviesbureaus en de warmtebedrijven te verbeteren kan dit in de toekomst worden voorkomen.

Om deze kennis en inzichten te vergroten is een eenvoudig rekenmodel opgesteld dat gebruikt kan worden om een thermische buffer te dimensioneren. Indien meer detail nodig is voor het ontwerp, kan het rekenmodel wat opgezet is door Kalavasta worden gebruikt voor verdere detaillering (ref [4]). Het is belangrijk om ervaringen met thermische buffers te delen, de kennis wordt gebundeld en er meerder partijen (kennisinstellingen, netbeheerders etc.) hun kennis bundelen.

Het openbaar delen van kennis zorgt voor een versnelling van de ontwikkeling van warmtebuffers in warmtenetten, hetgeen hard nodig is om de Nederlandse duurzaamheidsdoelstellingen voor duurzame warmte te halen.

Het is aan te bevelen om te onderzoeken of warmtebuffering een oplossing is (technisch en financieel) voor CO₂ vrije piekvoorziening.

Referenties

- [1]. Netbeheer Nederland (2023), Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's – integrale energiesysteemverkenning 2030-2050, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/04/06/het-energiesysteem-van-de-toekomst-de-ii3050-scenarios>
- [2]. TNO (2024), Innovatieroadmap warmteopslag voor de gebouwde omgeving in Nederland, TNO rapport TNO 2024 R11963, https://topsectorenergie.nl/documents/1314/TNO_Innovatieroadmap_warmteopslag_voor_de_gebouwde_omgeving_in_Nederland_v241007_final.pdf
- [3]. Berenschot en InvestNL (2020), Meer duurzame warmte door seizoensopslag – een handreiking voor de toepassing van warmteopslagsystemen in kleinschalige collectieve warmtenetten, <https://www.berenschot.nl/duurzame-warmte-seizoensopslag>
- [4]. Kalavasta (2024), De kosten en baten van warmteopslag in warmtenetten, <https://www.invest-nl.nl/nl/kennis-en-publicaties/de-kosten-en-baten-van-warmteopslag-in-warmtenetten>
- [5]. Kennisdossier: grootschalige en compacte warmteopslag, <https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/grootschalige-en-compacte-warmteopslag/>
- [6]. Yang T., Liu W., Kramer G.J., Sun Q., (2021), Seasonal thermal energy storage: A techno-economic literature review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 139 :110732, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110732>
- [7]. Fleuchaus P., Godschalk B., Stober I., Blum P., (2018), Worldwide application of aquifer thermal energy storage – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 94: 861–876, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.057>
- [8]. IEA (2018), applications of thermal energy storage in the energy transition – benchmarks and developments, Public Report of IEA ECES Annex 30, https://iea-es.org/wp-content/uploads/public/Applications-of-Thermal-Energy-Storage-in-the-Energy-Trenasition-Annex-30_Public-Report.pdf
- [9]. Tracer (2019) ,Factsheets: heat storages, Smart strategies for the transition in coal intensive regions- Project No: 836819, https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/10/TRACER_D2.1-Heat-Storages.pdf
- [10]. IEA (2024), Task 39 - Large Thermal Energy Storages for District Heating Subtask A: Application Scenarios, Assessment of Concepts, Integration Aspects, Deliverable A3: Feasibility Study “Analysis of Large Thermal Energy Storage Application for Public/Military Communities Located in Different Climate Zones, https://iea-es.org/task-39/wp-content/uploads/sites/21/IEA-ES_Task39_WPA_Deliverable_A3_Analysis_of_LTES_application_for_public-military_communities.pdf
- [11]. WarmingUP (2022), Gedetailleerde kostenberekening aquathermie – varianten onderzoek en gedetailleerde kostenberekening (incl. bijlage – kostenberekening varianten en scenario's), ref: 11205156, <https://www.warmingup.info/documenten/gedetailleerde-kostenberekening-aquathermie.pdf>
- [12]. Topsector energie (), <https://topsectorenergie.nl/documents/987/Factsheet-HT-ATES.pdf>
- [13]. CE | Delft (2020), Kansen voor thermische opslagsystemen, CE Delft rapport, Publicatienummer: 20.200124.110, <https://ce.nl/publicaties/kansen-voor-thermische-opslagsystemen/>
- [14]. CE | Delft (2023), Power-to-Heat en warmteopslag in warmtenetten - Businesscase, potentieel en rol in energiesysteem, CE Delft rapport, Publicatienummer: 23.220325.025, <https://ce.nl/publicaties/power-to-heat-en-warmteopslag-in-warmtenetten/>