

# Inventarisatie Thermische wateropslagsystemen

Arjan van Steekelenburg

Wouter Hoogervorst

Arjan van Antwerpen (DLV glas en energie)

Dit project is gefinancierd door:

Productschap  Tuinbouw





# Inleiding

Aanleiding :

In het kader van het programma 'Kas als Energiebron' is het productschap tuinbouw op zoek naar mogelijkheden voor seizoensbuffering. Dit vindt op dit moment plaats in aquifers. Op het moment zijn er geen alternatieven voor de lange termijn opslag van warm water.

Doel:


Het doel is een inventarisatie te maken van de huidige thermische opslagsystemen. Daarnaast heeft HAS KennisTransfer door het bepalen van een aantal kerngetallen onderzocht welke opties er zijn om warm water voor langere tijd op te slaan.

Voor de beschikbare systemen heeft HAS KennisTransfer de volgende onderwerpen onderzocht:

- Omschrijving
- Toepassing
- Technische specificaties
- Kosten
- Efficiëntie
- Wet en regelgeving
- Risico's
- Voor en nadelen

Binnen de beschikbare systemen wordt er onderscheid gemaakt tussen lange en korte termijn opslag. Een aquifer wordt gebruikt voor lange termijn opslag terwijl een klimrek buffer en een warmte opslag tank gebruikt worden voor opslag van warm water voor de korte termijn.

In dit onderzoek met behulp van een aantal kerngetallen onderzocht, hoe efficiënt de verschillende systemen zijn voor de opslag van warm water. Door te variëren met isolatie diktes en opslag temperaturen is een theoretische benadering gegeven van de mogelijkheden van de verschillende systemen.





# Onderzochte systemen

In de praktijk blijkt dat er om dit moment 3 systemen zijn die worden toegepast.

- Aquifers (open bron systeem)
- Klimrek buffer
- Warmte opslag tank
  - Horizontaal
  - verticaal

Aquifers worden gebruikt voor de opslag van de warm water voor de lange termijn. Zowel een warmte opslag tank als een klimrek buffer zijn ontworpen voor de opslag van warm water voor de korte termijn. Dit maakt een vergelijking van de systemen moeilijk. Om een goede vergelijking te kunnen maken zijn er voor elk systeem een aantal aannames gedaan. De aannames worden verderop beschreven.


Tijdens het onderzoek zijn er ook een paar systemen die niet of nauwelijks gebruikt worden voor thermische wateropslag:

- Warmte opslag in een waterkelder
- Gesloten bron systeem
- Opslag van water met hoge temperaturen in de bodem
- Phase changing materials (PCM's)

De opslag van hogere temperaturen in de bodem is niet meegenomen. Er lopen op het moment proeven met dit systeem. Het systeem is nu nog in onderzoek en is daarom in dit onderzoek niet meegenomen.

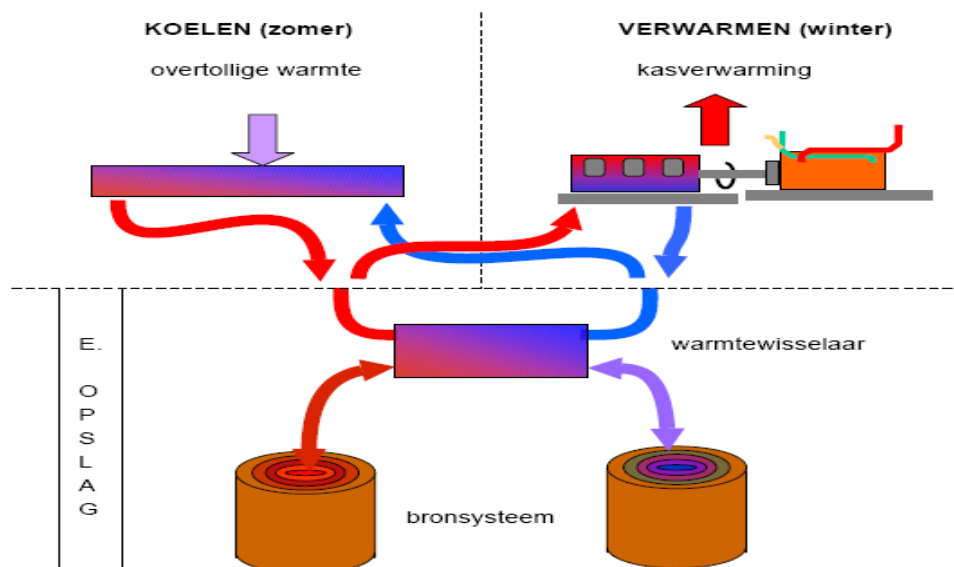
Naast warm water opslag is het ook mogelijk om warmte op te slaan in zogenoemde PCM's (Phase changing materials) of thermochemische opslag. Voor de tuinbouw is deze vorm van opslag op dit moment te duur. Omdat in dit onderzoek is gefocust op warm water opslag is dit niet meegenomen in het onderzoek.

Het onderzoek richt zich op het opslaan van warm water. Mengverliezen, verliezen door (warmte) pompen, standers of door transport zijn niet in het onderzoek meegenomen omdat in dit onderzoek gefocust wordt op opslag van warm water.



# Aquifers (open bron systeem)

Een aquifer is een watervoerende zandlaag in de bodem waarin warm of koud water kan worden opgeslagen. Er zijn 2 opties : monobron of een doublet. In een monobron wordt een enkele bron gebruikt voor zowel warm als koud water boven elkaar. Een doublet bestaat uit 2 bronnen waarbij er 1 wordt gebruikt voor warm water opslag en 1 voor koud water opslag (zie afbeelding).



Dit systeem is gebonden aan regelgeving en vergunningen. Er moet ten eerste een vergunning zijn om te mogen boren in de bodem. Daarnaast is er een vergunning nodig om water te mogen onttrekken of infiltreren. De regels zijn niet in elke provincie gelijk. Vaak wordt er een maximale invoertemperatuur in de vergunning opgenomen. Ook moet er sprake zijn van een zgn. energie balans.

De warmtepomp is essentieel in dit systeem. De warmte pomp zorgt ervoor dat het water wat uit de aquifer naar boven gehaald wordt, verder verwarmd wordt tot de minimum buis temperatuur. Andersom koelt de warmte pomp het water terug tot de gewenste ingangstemperatuur. De warmtepomp wordt echter niet meegenomen in de efficiëntie. De verliezen die hier optreden zijn echter aanzienlijk. Daarnaast is het elektriciteit verbruik van de warmtepompen niet meegenomen.

De volledige informatie is beschikbaar in de bijbehorende sheet [Aquifers](#).



# Warmte opslag tanks

Een warmte opslag tank is een grote geïsoleerde tank waarin warm water kan worden opgeslagen. Er bestaan zowel horizontale als verticale opslagtanks. De tanks worden met name toegepast voor korte termijn warmte opslag.



In een liggende opslagtank kan water met een maximale temperatuur van 105°C worden opgeslagen. Bovendien kan de liggende tank volledig gevuld worden. Een staande buffer heeft een maximale vultemperatuur van 95°C. Een staande tank kan niet volledig gevuld worden. Boven in een staande tank bevindt zich een expansie ruimte.

Voor de bouw van een buffer moet er een bouwvergunning aangevraagd worden. De maximale hoogte van een tank is in de veel bestemmingsplannen vastgelegd op 10 tot 12 meter. Dit is per gemeente verschillend. Er zijn ook uitzonderingen op de regel.

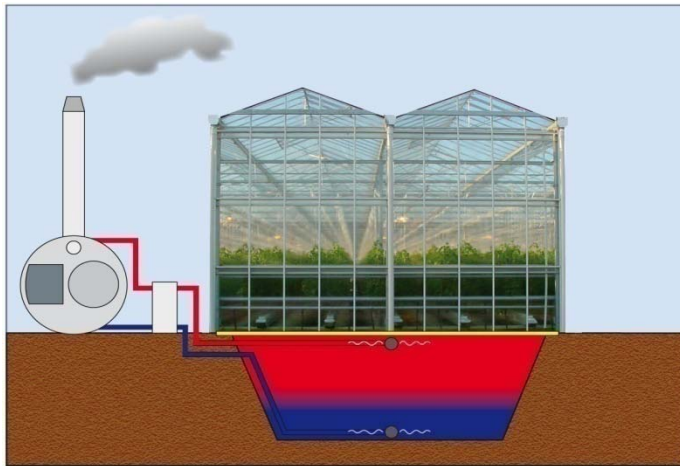
De volledige informatie is beschikbaar in de bijbehorende sheet [Warmte opslag tanks](#).





# Drijvende teeltvloer in bassin (klimrek buffer)

Naast regenwateropslag kan het klimrek buffer systeem ook als warmte opslag systeem functioneren. Het systeem maakt opslag onder grondwater niveau mogelijk. De buffer is altijd gevuld waardoor de drijvende teeltvloer niet zal zakken of stijgen. Het systeem is geschikt voor alle teelten behalve voor grondgebonden teelten.



Het systeem wordt toegepast voor opslag op de korte termijn. De grote van de buffer zal worden bepaald door de breedte van de tralieligger van de kas. De drijvende vloer heeft een hoge draagkracht. Daarnaast heeft de draagvloer ook een hoge isolatiewaarde waardoor de temperatuur in de buffer constant blijft en deze een minimale invloed in de kas heeft.

De volledige informatie is beschikbaar in de bijbehorende sheet [Klimrek buffer](#).



# Kosten

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de kosten. Dit zijn indicatieve kosten gebaseerd op de KWIN glastuinbouw 2010

System	Opslag Capaciteit / debiet	Investering (in €)	Afschrijving (in%)	Onderhoud
<b>Klimrek (breed)</b>	1000 m <sup>3</sup>	€ 40.000-50.000	7%	2%
<b>Klimrek (lang)</b>	1000 m <sup>3</sup>	€ 60.000-70.000	7%	2%
<b>Aquifer*</b>	60 m <sup>3</sup> /h**	€ 42.000	7%	-
	120 m <sup>3</sup> /h (90m diep)	€ 130.000	7%	€ 10.000
	160m <sup>3</sup> /h (170 m diep)	€ 310.000	7%	€ 10.000
	400 m <sup>3</sup> /h	€ 740.000	7%	€ 17.600
	600 m <sup>3</sup> /h	€ 1.060.000	7%	€ 24.000
<b>Warmte opslag tank</b>	90 m <sup>3</sup>	€ 58.000	7%	2%
	120 m <sup>3</sup>	€ 64.000	7%	2%
	350 m <sup>3</sup>	€ 95.000	7%	2%
	500 m <sup>3</sup>	€ 104.000	7%	2%
	1000 m <sup>3</sup>	€ 200.000	7%	2%

\*Een aquifer is niet weer te geven in maximale opslag capaciteit. Een aquifer wordt daarom weergegeven in het aantal kuub water wat per uur omhoog of opgeslagen kan worden.

\*\* De aquifer debiet van 60 m<sup>3</sup>/h is een praktijk voorbeeld. Hiermee worden later in dit rapport ook de kosten per m<sup>2</sup> berekend.

# Voordelen nadelen en risico's

Stelsel	Voordelen	Nadelen	Risico's
<b>Klimrek</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geen verlies van teeltoppervlakte</li> <li>▪ Geen verliezen door weersomstandigheden</li> <li>▪ Weinig tot geen onderhoud</li> <li>▪ Geen vergunningen</li> <li>▪ Grote buffer capaciteit</li> <li>▪ opslag tot onder grondwaterniveau mogelijk</li> <li>▪ Snelle omschakeling van warm naar koud</li> <li>▪ Controle en meetbaarheid van de opgeslagen warmte en benodigde warmte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Punt belasting kan de vloer beschadigen</li> <li>▪ men moet rekening houden met de investeringskosten van de kas</li> <li>▪ folie veroudering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Het vullen en leeghalen van de buffer moet goed op elkaar afgestemd zijn.</li> </ul>
<b>Aquifer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zeer geschikt voor warmte en koude opslag</li> <li>▪ Opslag van zowel warm als koud water voor de lange termijn</li> <li>▪ Hoog rendement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Niet op elke locatie toepasbaar</li> <li>▪ gebonden aan regels en vergunningen</li> <li>▪ Hoge investeringskosten</li> <li>▪ kwaliteit en capaciteit is per regio verschillend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bron vervuiling</li> <li>▪ geen zekerheid over de locatie van de bron</li> <li>▪ Geen garanties over de kwaliteit en capaciteit van de bron</li> <li>▪ Vacuüm trekken van de bron</li> <li>▪ Beïnvloeding van bronnen die dicht bij elkaar liggen.</li> </ul>
<b>Warmte opslag tank</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afvlakken pieken bij het inkopen van stroom</li> <li>▪ Snelle omschakeling van warm naar koud</li> <li>▪ Controle en meetbaarheid van de opgeslagen warmte en benodigde warmte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosie</li> <li>▪ Metaal moeheid</li> <li>▪ Verlies via staanders</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ corrosie kan leiden tot lekkage en mogelijk scheuren</li> <li>▪ Druk in de buffer moet goed gereguleerd worden om metaal moeheid te voorkomen</li> </ul>





# Methode efficiëntie berekeningen

Door middel van het bepalen van een aantal parameters is de efficiëntie per systeem bepaald. Elk systeem heeft een aantal factoren waarbij rekening moet worden gehouden wanneer de efficiëntie wordt berekend. Het doel is om te achterhalen of het mogelijk is om warm water voor een langere termijn op te slaan.

Om de efficiëntie te berekenen van de verschillende opslagmethodes is er uitgegaan van 10 aardgas equivalenten (= 10 m<sup>3</sup> aardgas) die voor een half jaar worden opgeslagen per m<sup>2</sup> kasoppervlak.

1 a/e (= 1 m<sup>3</sup> aardgas) heeft een energetische waarde van 31.650.000 Joules. 10 a/e = 316.500.000 Joules. Dit is de onderwaarde van 1 m<sup>3</sup> gas.

Bij een Aquifer zijn we uitgegaan van bestaande onderzoeksrapporten en gebruikerservaringen. Het aantal parameters die van invloed zijn op de efficiëntie zijn divers en zeer complex. De volgende rapporten zijn hiervoor gebruikt:

- Meervoudige ontwerp en effectenstudie van WKO opslagsystemen in de binnenstad van Den Haag, T U Delft 2005
- Besparingskengetallen WKO, IF technology 2009
- Buffering van aardwarmte en andere duurzame energiebronnen, TNO 2006

Voor een klimrekbuffer is het verlies ook bekend. Door een extern bureau is er een onderzoek uitgevoerd naar de efficiëntie van een klimrek buffer:

- Bepaling van de isolatiewaarde van Klimrek warmtebuffer voor seizoensopslag, Cli Mate 2011

Samen met DLV glas en energie zijn er berekeningen gemaakt die hebben geleid tot de efficiëntie van een warmte opslagtank.

Van de systemen wordt op dit moment alleen een aquifer gebruikt voor de lange termijn opslag. De andere 2 systemen worden gebruikt voor korte termijn opslag. Er moeten daarom een aantal aannames gedaan worden om de systemen met elkaar te kunnen vergelijken. Deze aannames staan beschreven bij de efficiëntie berekeningen.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de factoren die van invloed zijn op de verliezen



# Factoren van invloed op de efficiëntie

	Aquifer	Warmte opslag tank	Klimrek buffer
Gebruikte materialen		X	X
Dikte isolatie		X	X
Grondsoort	X		X
Weersomstandigheden		X	
Grondwaterstroming	X		X
Ingangstemperatuur	X	X	X
Omgevingstemperatuur	X	X	X
Dichtheid van water	X	X	X
Viscositeit van water	X	X	X
Compressibiliteit van water	X	X	x
Dichtheid van de grond	X		X
Porositeit van de grond	X		
Intrinsieke doorlatendheid grond	X		
Compressibiliteit grond	X		
Soortelijke warmte grondwater	X		X
Warmte geleidingcoëfficiënt grondwater	X		
Soortelijke warmte korrels	X		
Warmte geleidingscoëfficiënt korrels	X		



# Efficiëntie Aquifers

De efficiëntie berekening van een aquifer is zeer complex. Veel factoren zijn van invloed op de efficiëntie (zie bovenstaande tabel). De onderstaande tabel geeft een overzicht van de warmtegeleidingcoëfficiënt van diverse grondsoorten.


Medium	Warmtegeleidingcoëfficiënt ( $\text{J/s/m/}^\circ\text{C}$ )	Warmtecapaciteit ( $\text{J/m}^3/^\circ\text{C}$ )
Droog zand	0,4-0,8	$1,9 \cdot 10^6$
Nat zand	2,5-3,5	$1,9 \cdot 10^6$
Droge klei	0,8-2,0	$2,1 \cdot 10^6$
Natte klei	1,2-1,7	$2,3 \cdot 10^6$
Zoet water	0,6	$4,2 \cdot 10^6$
Lucht	0,025	$1,3 \cdot 10^{-3}$

Bron: meervoudige ontwerp- en effectenstudie van koudewarmte opslagsystemen in de binnenstad van Den Haag, TU delft 2005

Deze factoren spelen met name een rol omdat er in bodem interactie plaats vindt tussen het water wat opgeslagen worden, de grond en het aanwezige grondwater. Elke bron heeft andere eigenschappen afhankelijk van de locatie van de bron. Bovendien is ook de warmte dan wel koude vraag van grote invloed op de efficiëntie. Diverse onderzoeken hebben aangetoond dat de efficiëntie tussen 85 en 90% ligt. Er treedt dus een verlies op van 10 tot 15% in de bodem over een half jaar. In het eerste jaar na aanleg zullen de verliezen het grootst zijn. Naast verliezen in de bodem treed er ook een verlies op in de warmtewisselaar. Deze verliezen zijn niet meegenomen.

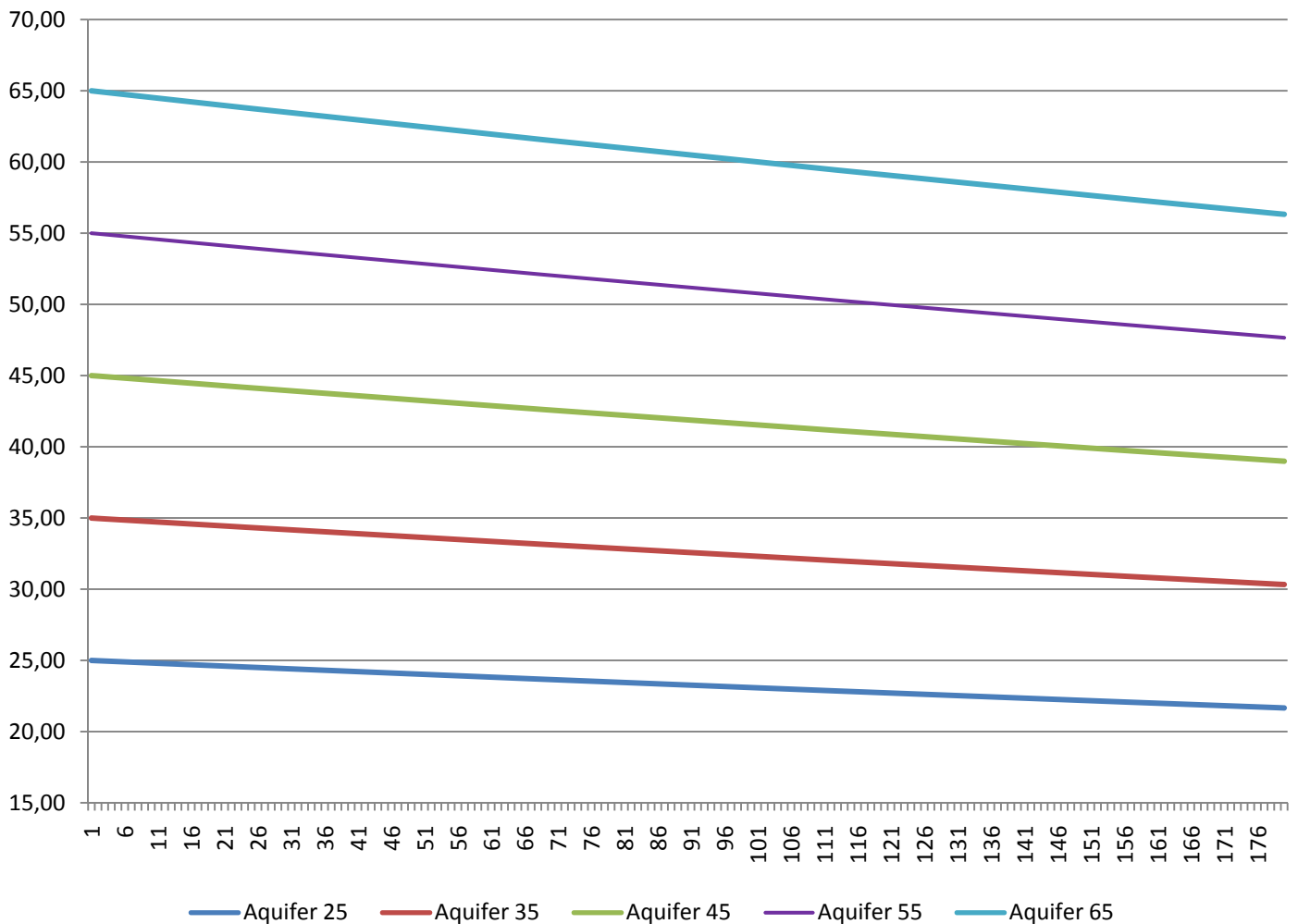
Stilstaand water is een goede isolator. Hoe groter de grondwaterstromen zijn hoe grotere verliezen er zullen optreden. Dit is per locatie verschillend.

Uit de praktijk blijkt dan de maximale invoertemperatuur niet altijd gehaald kan worden. Ook speelt de energie balans een belangrijke rol. Er zijn situaties waarin het warmte overschot groter is dan de koudevraag en de energiebalans in gevaar komt.





# Efficiëntie Aquifers



De bovenstaande grafiek geeft de temperatuursafname weer bij verschillende opslag temperaturen. Respectievelijk 25, 35 45 55 en 65°C. Hoe hoger de opslag temperatuur hoe groter het totale verlies over 180 dagen wordt, er vanuit gaande dat het verlies over 24 uur gelijk blijft gedurende de gehele periode. De verliezen in de warmtepomp worden niet meegerekend.

In de praktijk zal het verliespercentage naarmate de tijd vordert ook afnemen en zal de grafiek er anders uitzien. Er zal sprake zijn van een curve waarbij de lijn steeds minder stijl naar beneden loopt.





# Efficiëntie Klimrek buffer

De efficiëntie van een klimrek buffer wordt bepaald door een aantal factoren. Ook bij dit systeem treden er verliezen op.

- Verlies door de vloer
- Verlies door de zijwanden
- Verlies naar de bodem

De verliezen door de vloer kunnen als niet verloren beschouwd worden aangezien deze de kas in gaan. Ook in het geval van een klimrekbuffer is de locatie afhankelijk.

Het soort grond heeft invloed op de verliezen. Daarnaast is ook de hoogte van het grondwater van belang.


In een eerder onderzoek is gebleken dat een warme buffer 0,8% per etmaal verliest. Dit is gemeten in een bestaande buffer met een inhoud van 1200m<sup>3</sup> over 24 uur. Uitgaande van dit onderzoek kunnen we de warmtestroom door de constructie bepalen.

Uitgaande van de warmtegeleiding coëfficiënten van de verschillende grondsoorten kan gesteld worden dat de warmte geleidingscoëfficiënt over de genoemde grondsoorten 1,5 is. (zie tabel grondsoorten bij efficiëntie aquifers) Op basis van een ingangstemperatuur van 80°C en een omgevingstemperatuur van 15°C kan gesteld worden dat de warmte stroom door de constructie 12,82 W/m<sup>2</sup>. Hierbij is uitgegaan van een eerste isolerende grondlaag van 0,5 meter. De grondsoort en de bijbehorende warmte geleidingscoëfficiënt kan per situatie verschillen. Daarnaast is de vochtigheid van de grond en de hoogte van het grondwater van invloed op de efficiëntie.

Naar aanleiding van het bovenstaande is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden voor de seizoensopslag van warm water. Voor de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

Lengte :	100 meter
Breedte:	15 meter
Diepte :	5 meter
Inhoud:	6125 m <sup>3</sup>

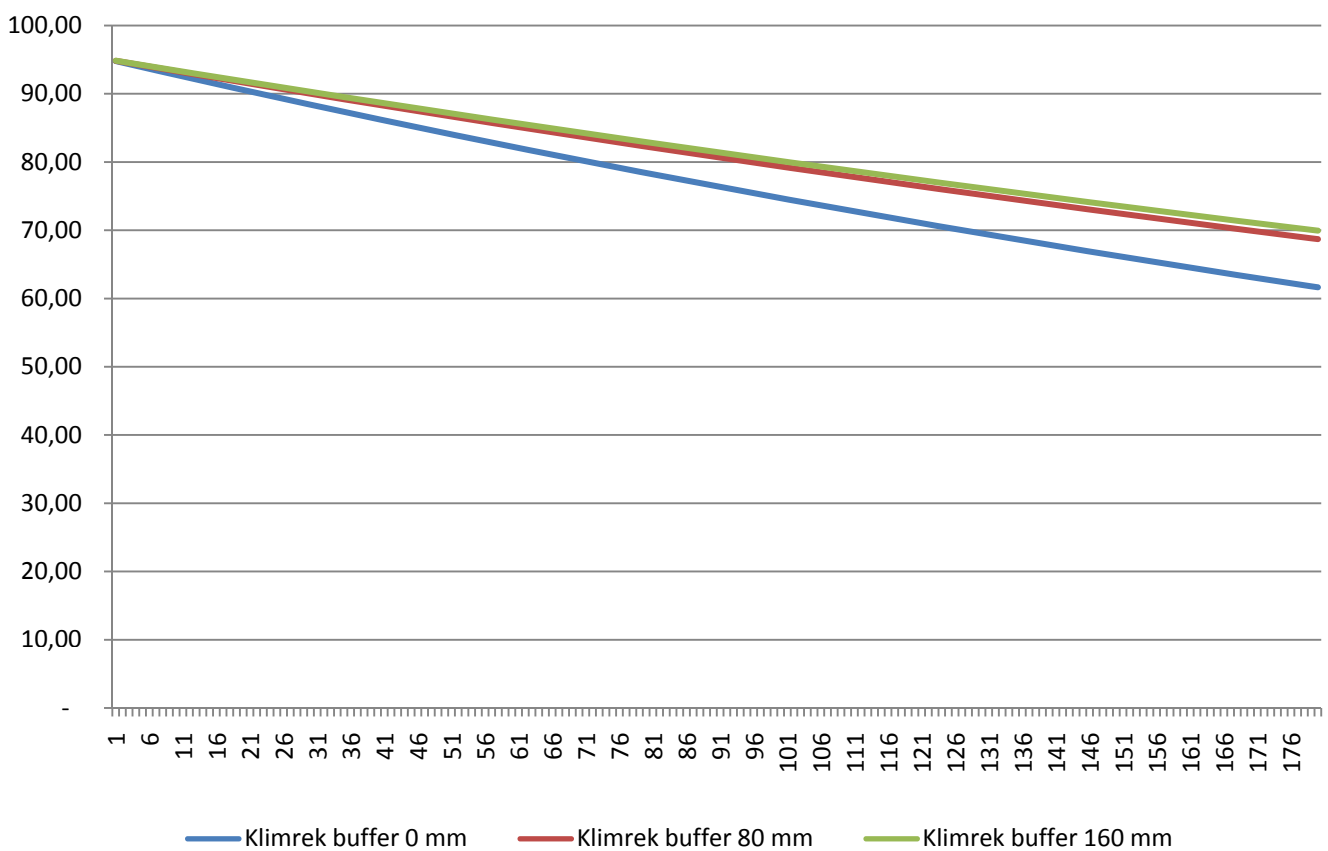
De temperatuur die aangehouden wordt is 95°C. De retour temperatuur is 30 °C.





# Efficiëntie Klimrek buffer

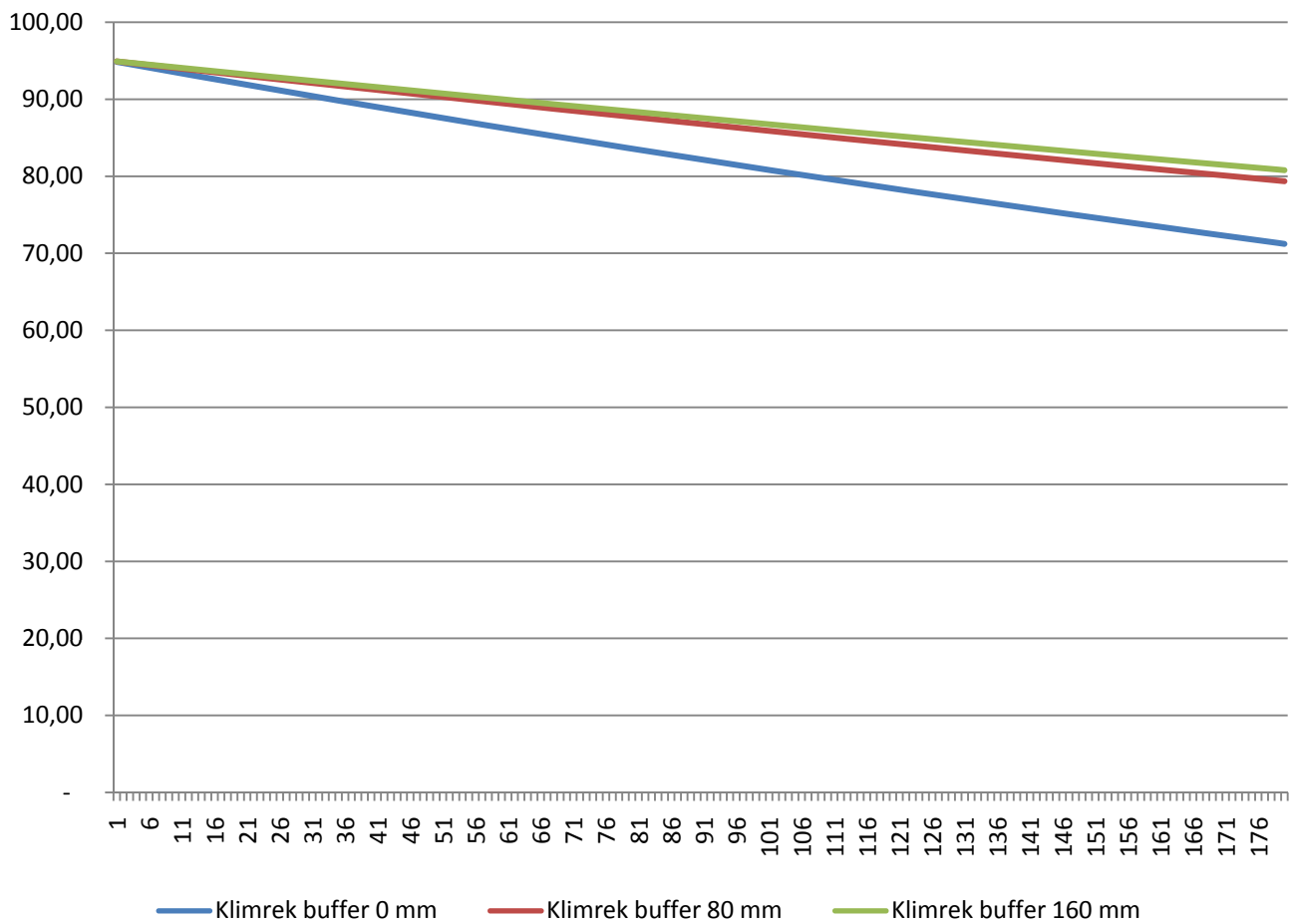
De onderstaand grafiek geeft het verlies over 180 dagen weer bij een isolatie dikte van de vloer van 80 mm. De verschillende lijnen geven isolatiedikte van de wanden aan in respectievelijk 0, 80 en 160 mm. De blauwe lijn geeft de verliezen van de buffer met de op dit moment toegepaste materialen.





# Efficiëntie Klimrek buffer

De onderstaande grafiek geeft het verlies over 180 dagen weer bij een isolatie dikte van de vloer van 160 mm. De verschillende lijnen geven isolatiedikte van de wanden aan in respectievelijk 0, 80 en 160 mm.



Ook bij een klimrek buffer zal in de praktijk zal verliespercentage naarmate de tijd vordert afnemen en zal de grafiek er anders uitzien. Er zal sprake zijn van een curve waarbij de lijn steeds minder stijlt naar beneden loopt.





# Efficiëntie Warmteopslag tanks

Warmte opslag tanks hebben naast de verliezen door de gebruikte materialen ook verliezen richting de buitenlucht. Weersinvloeden hebben daarom een grote impact op de efficiëntie. In samenwerking met DLV glas en energie heeft HAS KennisTransfer een berekening uitgevoerd voor zowel een staande als een liggende buffer. Hiervoor is een aantal uitgangspunten gebruikt.

Liggende buffer:

Diameter: 3,8 meter  
Lengte: 40 meter  
Inhoud: 482,4 m<sup>3</sup>  
Water Temperatuur: 105 °C  
Isolatie : Glaswol 20 cm, 40, 60 en 80 cm.

De maximale water temperatuur zal in de praktijk niet gehaald worden omdat deze temperatuur niet geproduceerd kan worden door een WKK.

Staande buffer:


Diameter: 10 meter  
Hoogte: 12meter  
Inhoud: 942,5 m<sup>3</sup>  
Water Temperatuur: 95 °C  
Isolatie : Glaswol 20 cm, 40, 60 en 80 cm

Koude bruggen zoals bijvoorbeeld verlies door de staanders is niet in het verlies meegerekend. Daarnaast is er geen rekening gehouden met de wind. In de praktijk blijkt het verlies groter te zijn.

De onderstaande grafieken geven het temperatuursverloop weer van een staande en een liggende buffer bij verschillende isolatiediktes. Een liggende buffer is minder goed in staat zijn warmte vast te houden. Ook bij een dikker wordende isolatie. Dit heeft voornamelijk te maken met de maximale opslag capaciteit van een liggende buffer. Hoe groter de buffer hoe beter de buffer in staat is om de warmte vast te houden.

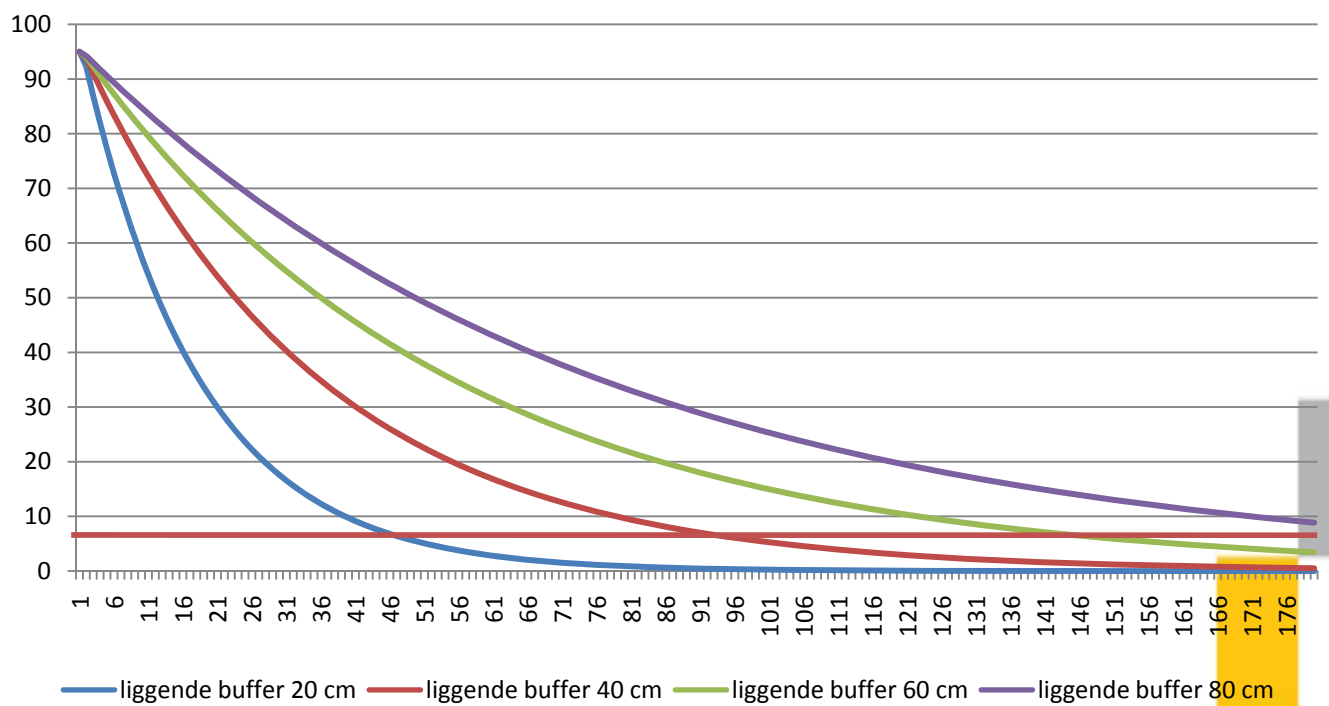
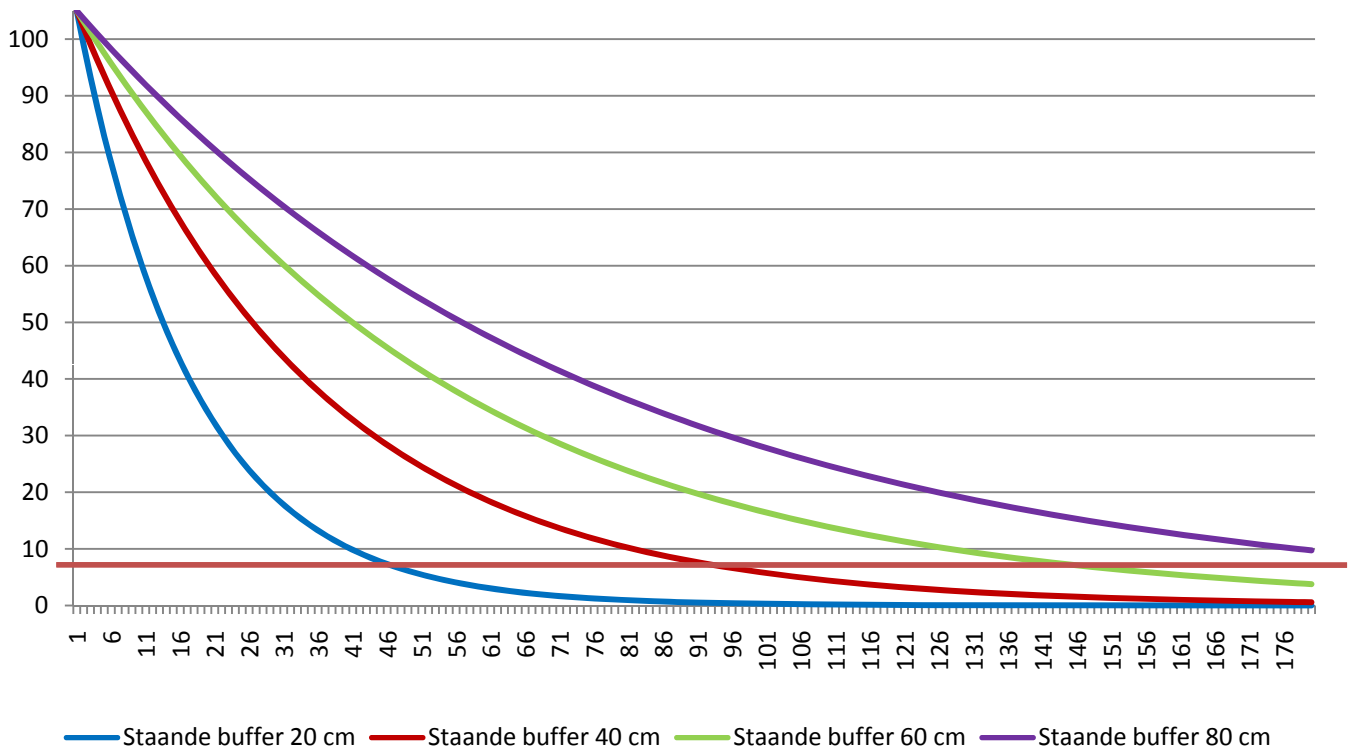
In de berekening is een windsnelheid van 3 m/s meegenomen. Bij hogere windsnelheden zal het verlies toenemen.

De rode lijn is het langjarige gemiddelde buitentemperatuur van de afgelopen 10 jaar. De temperatuur van de buffer kan niet verder dalen dan de omgevingstemperatuur.

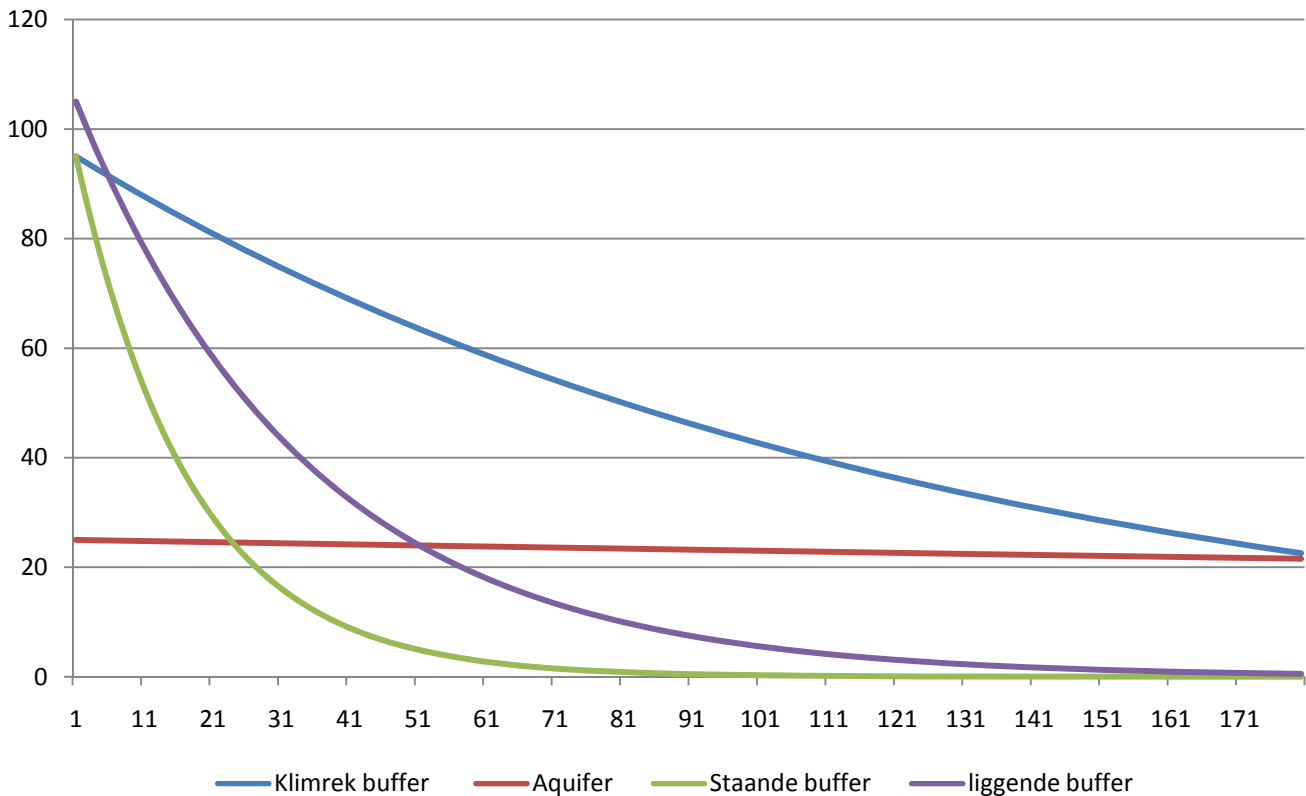




# Efficiëntie Warmteopslag tanks



# Temperatuurverloop systemen



De bovenstaande grafiek geeft het temperatuursverloop over 180 dagen weer. Uitgegaan van verschillende maximum opslag temperatuur per systeem. De maximum opslag temperatuur voor een aquifer is op 25 °C gezet. Dit is niet omdat het technisch niet mogelijk zou zijn, maar omdat deze temperatuur vastgelegd is door wetten en regelgeving. De temperatuur zal niet verder kunnen dalen dan de omgevingstemperatuur. De langjarige gemiddelde temperatuur van de afgelopen 10 jaar ligt rond de 8 °C. (KNMI)

Vermenging tijdens het vullen, transport verliezen, verliezen in de warmtepomp, koude bruggen zijn enkele punten die van invloed zijn op de hoogte van het verlies. Deze items zijn echter niet meegenomen in de grafiek.

Voor de klimrek buffer is in deze grafiek uitgegaan van een bestaande buffer van 1222 m<sup>3</sup>. Daarnaast is er voor de warmte opslagtanks een isolatiedikte van 20 centimeter aangehouden. Dit komt overeen met de praktijk




# Overzichtstabel

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende systemen.

	1 aardgas equivalent (kilo joules)	Ingangstemp (in °C)	max opslag temp (in °C)	delta T (in °C)	Aantal liters wat met de delta T verwarmd kan worden per 10 A/e
klimrek	31.650	35	80	45	1680
aquifer	31.650	10	25	15	5050
warmtebuffer staand	31.650	35	95	60	1260
warmtebuffer liggend	31.650	35	95	60	1260

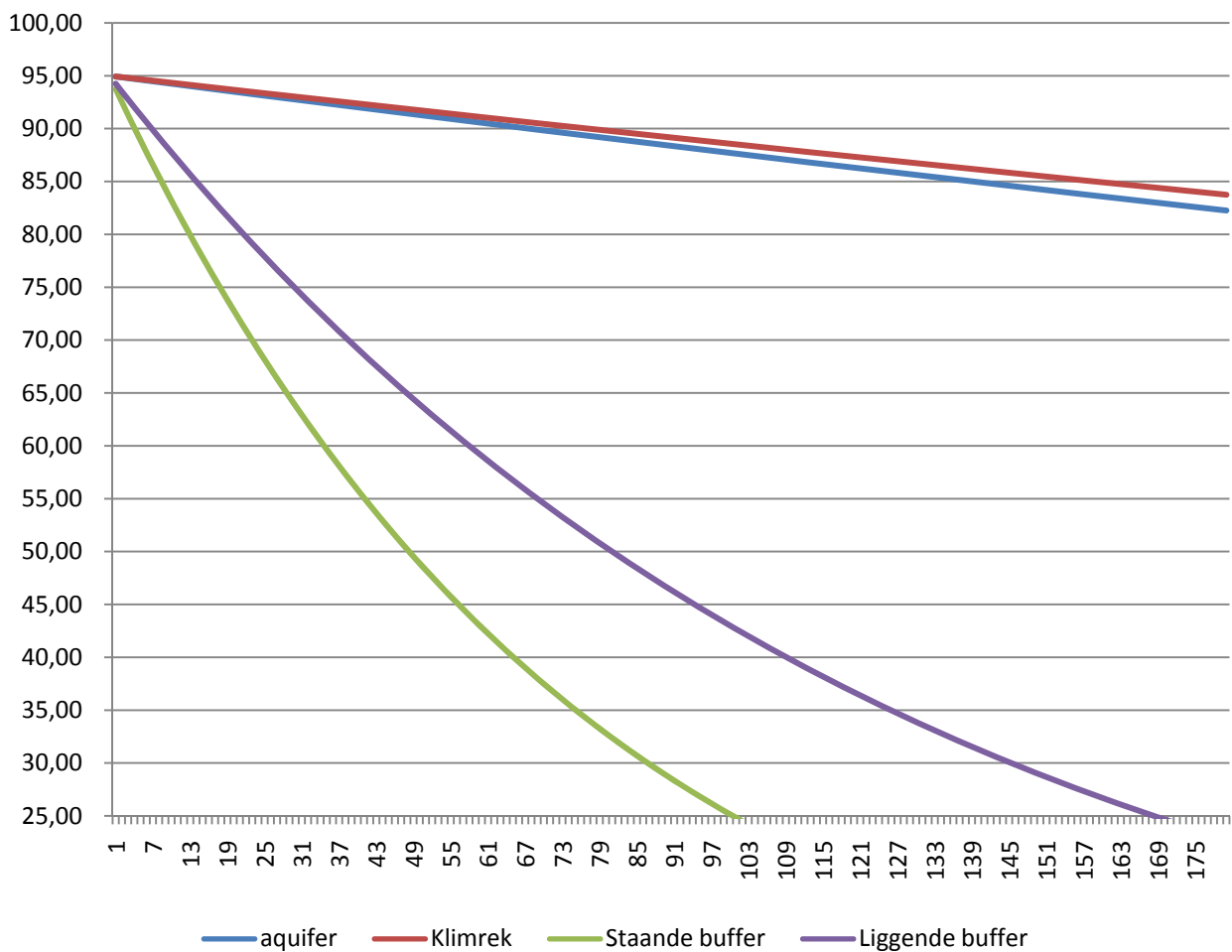
De tweede kolom geeft het aantal joules per aardgasequivalent. De delta T is het temperatuurverschil tussen de ingangstemperatuur en de maximale opslag temperatuur. De zesde kolom geeft het aantal kuub water weer wat verwarmd kan worden van de ingangstemperatuur tot aan de maximale opslagtemperatuur per aardgas equivalent. De laatste kolom geeft het aantal aardgasequivalenten wat opgeslagen kan worden in de verschillende opslagcapaciteit.

In een klimrek en in een staande buffer kunnen de meest aardgas equivalenten worden opgeslagen. De minste in een aquifer. Dit komt met name door de lage delta T. De daadwerkelijke opslagcapaciteit van een aquifer is in de praktijk nog veel groter.



# Theoretische mogelijkheden verschillende systemen

De onderstaande grafiek geeft het verlies over 180 dagen weer. In deze grafiek is echter uit gegaan van theoretische efficiëntie van de verschillende systemen. Dit is gedaan door de temperatuur te verhogen of de isolatie dikte te verhogen. Voor alle systemen is er uitgegaan van een maximale opslag temperatuur van 95 °C. Voor zowel een staande als een liggende buffer is een isolatiedikte van 80 cm gebruikt. Voor een klimrekbuffer is er uitgegaan van een isolatiedikte van de vloer van 24 centimeter en voor de wanden een isolatie dikte van 16 centimeter.





# Conclusie & discussie


## Conclusie

De beste methode om warmte op te slaan voor de lange termijn is in de bodem of in een klimrek buffer. Op het moment zijn er geen alternatieven aangezien een warmte opslag tank te weinig capaciteit heeft. Het klimrek buffer systeem heeft de potentie op meer water op te slaan onder de kas. Op dit moment is er niet zo een grote buffer in gebruik. In combinatie met een betere isolatie zou het wellicht mogelijk zijn op warm water voor een langere termijn op te slaan.

	Verlies over 180 dagen (in %)	Ingangstemp (=max opslag) (in °C)	Geschatte uitgangstemp. (in °C)
Klimrek (dag buffer)	76,4%	80	19
Klimrek (seizoensbuffer)	35%	95	62
aquifer	15%	25	21.5
warmtebuffer staand	91%	95	-
warmtebuffer liggend	99,4%	95	-

De warmte buffers verliezen over 180 dagen meer dan de delta T. Aangezien het verlies niet groter kan worden de omgevingstemperatuur zal de geschatte uitgangstemperatuur gelijk zijn aan de omgevingstemperatuur.

Een grote klimrek buffer als seizoen buffer is veel efficiënter dan als een dagbuffer. Dit is te verklaren door de inhoud van de buffer. Bovendien zijn in de berekeningen van de seizoensbuffer de verliezen naar de bodem niet meegenomen. Een voordeel van de klimrekbuffer is dat er geen warmte pomp tussen zit waarin ook verliezen op treden.



# Conclusie & discussie

	delta T (in °C)	liters /delta T per 10 Ae per m2 teeltopervlak	Verlies per etmaal	Kosten van verliezen aardgas	Totale kosten per jaar per m2	Totale kosten per jaar per m2 (excl. Investeringskosten)
klimrek	45	1680	0,80%	€ 1,68	€ 2,44	€ 1,74
Aquifer	15	5050	0,08%	€ 0,33	€ 4,91	€ 0,71
buffer staand	60	1260	1,33%	€ 2,00	€ 4,18	€ 2,18
buffer liggend	60	1260	2,87%	€ 2,19	€ 4,37	€ 2,37

De bovenstaande tabel geeft een overzicht van de kosten van de verliezen en de totale kosten van het systeem per m2 per jaar. Hierbij is uitgegaan van een afschrijvingstermijn van 7% per jaar voor alle systemen. Voor de verliezen van het aardgas zijn 10 A/E als uitgangspunt genomen bij een gasprijs van € 22 cent per m3. Op basis van de verlies percentages is gekeken naar de totale prijs van 10 A/E minus het verlies vermenigvuldigt met 180 dagen.

De totale kosten per m2 per jaar zijn berekend op basis van een afschrijvingstermijn volgens de KWIN glastuinbouw 2010. Hierbij wordt uitgegaan van een opslagcapaciteit van 1000 m3. Voor een liggende buffer is uitgegaan van 500m3.

Voor een aquifer deze berekening zeer complex voornamelijk omdat elke situatie anders is. Bij de berekening van het debiet en de daarmee samenhangende kosten moet men rekening houden met:

- Grondsoort
- Diepte bron
- Kwaliteit bron
- Warmtebehoefte

Op basis van het bovenstaand kan het debiet en de investeringskosten bepaald worden. Goed en gedegen onderzoek door een gespecialiseerd bureau is noodzakelijk voordat men besluit om aquifers daadwerkelijk aan te leggen.



# Conclusie & discussie

Voor de bovenstaande tabel is uitgegaan van een debiet van 60 m<sup>3</sup>/h. De jaarkosten zijn gesteld op 2% van de investering. De investeringen zijn omgerekend naar investeringskosten per hectare. Voor de investeringskosten van een aquifer is uitgegaan van een praktijksituatie van een debiet van 60 m<sup>3</sup> per uur en de daarbij behorende investeringskosten toegepast op een kas van 1 Ha.

De gebruiker van het systeem moet eerst bepalen wat de warmtebehoefte van zijn kas in de winter is. Vervolgens kan het bijbehorende debiet bepaald worden. In principe geldt hoe kleiner het debiet hoe lager de investering. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de geschiktheid van de bodem en de diepte van de bron ook een behoorlijke invloed op de investeringkosten hebben.

De tabellen en grafieken geven slechts een indicatie. Voor elk bedrijf zal de situatie anders zijn. Wat uit de tabel blijkt is dat het op dit moment niet mogelijk is om warm water voor 180 dagen op te slaan met de bestaande systemen klimrek en warmte opslag tank. De opslag in de bodem door middel van een aquifer is wel mogelijk. Dit is duidelijk weergegeven in de kolom kosten na aftrek input 10 A/E.

Opvallend is dat uit de berekeningen blijkt dat een klimrek buffer, bij een grotere opslagcapaciteit en een betere isolatie de warmte beter vast kan houden dan een aquifer.

## Discussie

- De maximale opslag temperatuur in Aquifers is beperkt door wet en regelgeving. Als er hogere temperatuur opslag mogelijk is kan de efficiëntie en de besparing stijgen.
  - In de praktijk wordt de maximale opslag temperatuur vaak niet gehaald.
  - De verliezen door de vloer van een klimrek buffer zijn 'nuttige verliezen' doordat deze in de kas terecht komen.
  - De praktijk komt niet altijd overeen met de theorie. Er zijn voor de berekeningen verschillende aannames gedaan.
  - Warmte kan op verschillende manieren geoogst worden.
  - De verliezen in een warmtepomp zijn niet meegenomen in het onderzoek. De voornaamste reden hiervoor is dat dit onderzoek zich richt op de opslag van warm water.
  - Bij een goede isolatie van een klimrekbuffer met een inhoud van meer dan 5000 m<sup>3</sup> is seizoensbuffering in theorie mogelijk en wellicht een betere en goedkopere oplossing voor het opslaan van warm water dan een aquifer.
  - In dit onderzoek is uitgegaan van een seizoensbuffering van 6 maanden. De zon geeft vanaf begin maart tot eind oktober voldoende warmte. In principe hoeft er maar 4 maanden overbrugt te worden. In veel gevallen zit er nog een teeltwisseling tussen.
  - Er gestreefd worden naar een optimale benutting van de warmte. Dit kan door het combineren van systemen. Bijvoorbeeld door het hoge temperatuur net en het lage temperatuurnet in combinatie met een luchtbehandelingkast. Door een warmtepomp zou het water nog verder teruggekoeld kunnen worden waardoor meer dan 90% van de opgeslagen warmte benut zou kunnen worden.
- 