TNO-Milieu en Energie

Instituut voor Milieu- en
Energietechnologie TNO (IMET)

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telex 36395 tnoap nl
Fax 055 - 41 98 37
Telefoon 055 - 49 34 93

*TNO-rapport*

# Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding
# Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen

Referentienummer 92-044
Dossiernummer 112325-22641
Datum januari 1992
NP

Auteur
G.J. Afink

Met medewerking van
G. Wentink
J. van Wolferen

Trefwoorden
- warmtapwater
- energiegebruik
- milieubelasting
- systeemsimulatie

Bestemd voor
NV Nederlandse Gasunie
VEG-GASINSTITUUT n.v.

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeksopdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

TNO-Milieu en Energie stelt zich ten doel om, gebaseerd op de noodzaak van een duurzame ontwikkeling van de maatschappij, door middel van onderzoek en advisering bij te dragen aan een goed milieubeheer, een verantwoord energiegebruik en een doelmatig beheer en gebruik van de ondergrondse natuurlijke hulpbronnen.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

*Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding*
*Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen*

## Samenvatting

Bij de opstelling van het Milieu Actie Plan is, uitgaande van de verwachte milieuvoordelen, onder andere het advies geformuleerd om elektrische boilers bij de warmtapwaterbereiding voor huishoudens op grote schaal te vervangen door gasgestookte warmtapwatertoestellen.
Naar aanleiding van dit advies en gegeven het feit dat er meer en meer gecombineerde energiebedrijven ontstaan (die zowel gas als elektriciteit distribueren en vaak de bijbehorende warmwatertoestellen verhuren), is er een duidelijke behoefte ontstaan aan een objectieve studie, waarbij de diverse opties voor huishoudelijke warmtapwaterbereiding onderling worden vergeleken voor wat betreft energiegebruik en milieubelasting.

In dit rapport worden het doel, de opzet, de uitvoering en de resultaten van deze studie beschreven.
Ten behoeve van de onderlinge vergelijking van de verschillende warmtapwatersystemen is door IMET-TNO, afdeling Warmte- en Koudetechniek, een rekenmodel opgesteld, waarmee uitgaande van specifieke parameters de warmtapwaterbereiding kan worden gesimuleerd.
De benodigde toestelparameters zijn door middel van onderzoek aan verschillende toestellen in het laboratorium bepaald. De overige parameters zijn uit de beschikbare en ter zake relevante literatuur verkregen.

Bij de simulaties is steeds uitgegaan van een zo reëel mogelijk aangenomen tapprogramma en warmtapwaterleidingnet.

Naast de simulaties met het standaard tappatroon en centrale- en emissiegegevens volgens de brandstofmix SEP 1990 zijn enkele additionele simulaties uitgevoerd. Deze simulaties hebben betrekking op een toestelvervanging, de elektriciteitsopwekking met een verhoogd centrale rendement, de elektriciteitslevering door een gasgestookte centrale en twee tappatronen met een groot aantal kortstondige tappingen.

De resultaten voor de verschillende systemen zijn als resultaat van dit onderzoek nader gekwantificeerd.

Als eindconclusie kan gesteld worden dat de warmtapwaterbereiding op aardgas voor alle onderzochte systemen minder primaire energie vergt en een aanzienlijk lagere milieubelasting geeft dan de bereiding van eenzelfde hoeveelheid warmtapwater onder gelijke condities door middel van elektriciteit.
$SO_2$ wordt bij aardgastoestellen niet of nauwelijks (door toepassing van elektrische hulpenergie) geproduceerd.

*Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding*
*Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen*

# Inhoudsopgave


**Samenvatting** ..... 2

1 **Inleiding** ..... 5

2 ..... 6
2.1 Doel van het onderzoek ..... 6
2.2 Toestelindeling ..... 6

3 **Onderzoek** ..... 8
3.1 Uitvoering van het onderzoek ..... 8
3.2 Opbouw van het energiegebruik van een warmtapwaterinstallatie. ..... 8
3.2.1 Toestelgebonden grootheden ..... 9
3.2.2 Leidingnetverliezen ..... 12
3.2.3 Tappatroon ..... 13
3.3 Rendement en emissiewaarden elektriciteitsopwekking ..... 14

4 **Uitgangspunten modelvorming** ..... 16
4.1 Tappatroon ..... 16
4.2 Leidingnet & tappunten ..... 17
4.3 Toestel ..... 18
4.4 Elektriciteitsopwekking ..... 19

5 **Validatie simulatiemodel** ..... 20
5.1 Analytische verificatie ..... 20
5.2 Validatie met meetresultaten ..... 21
5.2.1 Metingen ..... 21
5.2.2 Simulatie versus metingen ..... 22
5.3 Uitwerking van de modelvorming ..... 23
5.4 Conclusies met betrekking tot het model ..... 24

6 **Resultaten systeemsimulaties** ..... 25

7 **Gevoeligheidsanalyse tappatroon** ..... 31
7.1 Verlaging van de taphoeveelheid met 10% ..... 31
7.2 Vermindering van het aantal tappingen ..... 31

8 **Aanvullende simulaties** ..... 32
8.1 Resultaten aanvullende simulaties ..... 33
8.1.1 Elektrische boiler opgesteld in de keuken ..... 33
8.1.2 Elektriciteitsopwekking door een gasgestookte centrale ..... 33
8.1.3 Elektriciteitsopwekking door een centrale met een netto rendement van 45% ..... 34
8.1.4 Aanpassing van de tappatronen ..... 34

9 **Conclusies** ..... 38

# Inhoudsopgave

**10 Referenties** ..... 40

**11 Verantwoording** ..... 41

*Bijlage*

*1 Meetresultaten toestelonderzoek*
*2 Resultaten systeemsimulaties*
*3 Tappatronen volgens figuur IV.12 uit het rapport van de Beijer RTB*

*Figuren*

*6.1 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: rendement*
*6.2 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: energiegebruik*
*6.3 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: milieubelasting per dag*
*6.4 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: milieubelasting per netto getapte MJ*
*8.1 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: rendement*
*8.2 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: energiegebruik*
*8.3 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: milieubelasting per dag*
*8.4 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: milieubelasting per nettogetapte MJ*
*8.5 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's: rendement*
*8.6 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's:energiegebruik*
*8.7 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's:milieubelasting per dag*
*8.8 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's: milieubelasting per netto getapte MJ*

# 1 Inleiding

De milieuproblematiek staat heden ten dage sterk in de belangstelling. Allerwegen wordt getracht om de milieubelasting tot aanvaardbare proporties terug te brengen. Ook de energiedistributiesector heeft deze doelstelling inmiddels tot een voornaam onderdeel van het beleid gemaakt.
Op dit moment is door deze sector een plan opgesteld en in uitvoering gebracht, waarbij energiebesparing en – in het verlengde daarvan – reductie van de milieubelasting centraal staan.
In dit plan zijn onder andere de huishoudens, het midden- en kleinbedrijf, de non-profit sector en de industrie als doelgroepen opgenomen.
Binnen de doelgroep "huishoudens" is gezocht naar optimale vormen van woningverwarming en warmtapwaterbereiding.
Uitgaande van de verwachte milieuvoordelen is in dit kader onder andere geadviseerd om elektrische boilers op grote schaal te vervangen door gasgestookte warmtapwatertoestellen. Hierover is echter een discussie ontstaan binnen de energie distributiesector.
In deze discussie, en gegeven het feit dat er voortdurend meer gecombineerde energiebedrijven ontstaan (die zowel gas als elektriciteit distribueren en vaak de bijbehorende warmwatertoestellen verhuren), is er een duidelijke behoefte ontstaan aan een objectieve studie, waarbij de diverse opties voor huishoudelijke warmtapwaterbereiding onderling worden vergeleken voor wat betreft energiegebruik en milieubelasting.

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek weergegeven.

# 2

## 2.1 Doel van het onderzoek

Het inzicht verschaffen in het energiegebruik en de direct daarmee samenhangende milieu-effecten van de hierna te noemen warmtapwaterbereiders en/of combinaties hiervan inclusief het bijbehorende warmtapwaterleidingnet:
- gaskeukengeiser;
- kleine badgeiser;
- grote badgeiser;
- elektrische boiler (80 liter inhoud);
- elektrische boiler (120 liter inhoud);
- gasboiler (112 liter inhoud);
- combi-toestel volgens doorstroomprincipe (kleine capaciteit);
- combi-toestel volgens doorstroomprincipe (grote capaciteit);
- VR-ketel met CV-boiler (80 liter inhoud);
- HR-ketel met CV-boiler (combitoestel, 25 liter inhoud);
- HR-ketel met CV-boiler (80 liter inhoud);
- elektrische keukenboiler (10 liter inhoud).

Bij het onderzoek worden (voor een onderling gelijk verbruik aan warmtapwater) deze toestellen vergeleken voor wat betreft rendementen, energiegebruiken en emissies, rekening houdend met de plaats van het toestel in de woning en de wijze waarop het toestel normaliter wordt gebruikt.

Bij de configuratie van de verschillende warmtapwaterinstallaties wordt uitgegaan van de door de KIWA werkgroep Technische Aspecten van Warm Water aangehouden indeling in comfortklassen [1].

Van elk van deze configuraties wordt een karakteristieke dimensionering (leidinglengten en leidingdiameters) vastgesteld, alsmede het bijbehorende tappatroon (tapfrequentie, tapdebieten, taphoeveelheid over een etmaal) en een gevoeligheidsanalyse op afwijkingen van het tappatroon.

## 2.2 Toestelindeling

Op twee elektrische boilers na, zijn de geselecteerde toestellen op a-selecte wijze uit de markt gehaald. De elektrische boilers zijn nieuw aangekocht.

*Tabel 2.1 Toesteloverzicht*

| Soort toestel | Fabrikaat | $T_{toestel}$ °C | Comfort klasse |
|---|---|---|---|
| keukengeiser | Vaillant MAG 135/7 | 69 | 1 |
| kleine badgeiser | Fasto F 2755A | 62 | 2a |
| grote badgeiser | Jnkers WR 400 KT | 62 | 2b |
| el. boiler 80 l inhoud | Daalderop 80/250 DUO | 85 | 2a |
| el. boiler 120 l inhoud | Daalderop 120/250 DUO | 85 | 3 |
| gasboiler 112 l inhoud | A.O. Smith T PGCS 30T | 65 | 3 |
| VR-combi ketel kleine capaciteit doorstroomprincipe | HA-ES Kiddy 18 VRW | 65 | 2a |
| VR-combi ketel grote capaciteit doorstroomprincipe | ATAG CMA 652 | 62 | 2b |
| VR-ketel + CV-boiler 80 l | Radson ER 160E + Inventum CV-boiler | 75 | 3 |
| HR-combi ketel voorraad 25 l | Nefit Turbo 21 combi HR | 72 | 2a |
| HR-ketel + CV-boiler 80 l | Nefit Turbo 21HR + Inventum CV-boiler | 75 | 3 |
| el. keukenboiler 10 l | Inventum RPV 10 | 85 | – |

Een aantal toestellen dat voor een bepaalde comfortklasse in aanmerking komt, heeft een zekere beperking in het gebruik in verband met de beperkte watervoorraad.
Bij toepassing van elektrische voorraadtoestellen op nachtstroom kan een combinatie met een elektrische keukenboiler (10 l) ten behoeve van het keukengebruik worden overwogen.
In het onderzoek is hiertoe een elektrische keukenboiler (Inventum RPV 10) opgenomen.

# 3 Onderzoek

## 3.1 Uitvoering van het onderzoek

Om een vergelijking naar energiegebruik en milieubelasting van de genoemde tapwatersystemen te kunnen uitvoeren, wordt gebruik gemaakt van een speciaal voor dit onderzoek ontwikkeld simulatieprogramma (TAPSIM).
Om de simulatie op een correcte wijze te laten verlopen, moeten een aantal parameters worden bepaald welke het energiegebruik van de installatie bepalen. De toestel- en installatierendementen worden betrokken op primaire energie.

## 3.2 Opbouw van het energiegebruik van een warmtapwaterinstallatie

Van een warmtapwaterinstallatie wordt verwacht dat op elk gewenst moment water met een bepaalde temperatuur geleverd kan worden. De toegepaste warmtapwaterbereiders moeten dus bedrijfsgereed zijn, dat wil zeggen er wordt gedurende de tapping warmte in het toestel ontwikkeld of een warme voorraad wordt aangesproken die vervolgens weer op temperatuur wordt gebracht.
Niet alle toegevoerde energie (via gasbranders of elektrische verwarmingselementen) komt nuttig in de vorm van warmwater uit het tappunt. Een gedeelte van de toegevoerde energie zal worden aangewend om verschillende verliesposten te dekken.

Het energiegebruik van een warmtapwaterinstallatie wordt bepaald door:

- toestelgebonden verliezen
  - toestelrendement
  - startverliezen
  - stilstandsverliezen
  - hulpenergie

- leidingnetverliezen
  - leidingnet dimensionering inclusief plaats toestel ten opzichte van tappunt
  - opwarmen leidingen
  - verdringen koudwater
  - warmteverliezen naar omgeving

- tapwaterpatroon
  - soort tappunt
  - taphoeveelheid
  - tapfrequentie
  - tapwatertemperatuur

### 3.2.1 Toestelgebonden grootheden

Door middel van metingen in het laboratorium zijn de volgende grootheden bepaald:

a. toestelbelasting
Van elk der genoemde toestellen is de nominale belasting bepaald. Om het dynamische gedrag van direct gestookte toestellen (gas), uitgevoerd met een modulerende brander, vast te leggen, zijn bij verschillende tapdebieten de belastingen bepaald. De metingen zijn uitgevoerd bij $2^1/_2$, $3^1/_2$, 6 liter per minuut en bij het maximum tapdebiet bij 65 °C.

b. emissiewaarden $CO_2$, CO, $NO_x$ en $SO_2$
Van alle gasgestookte toestellen zijn tijdens de onder punt a genoemde bedrijfsinstellingen de concentraties van $CO_2$, CO en $NO_x$ bepaald.
De concentraties hebben betrekking op de onder a genoemde instellingen en in evenwicht situatie gemeten.
Aardgas bevat nauwelijks zwavelverbindingen. De aanwezige zwavel vindt zijn oorzaak in de odorisatie van het gas met THT (tetra hydro tiofeen). Gemiddeld bevat aardgas als gevolg hiervan 7 mg S/m$^3$ of wel $0{,}7.10^{-3}$ g/Kwh. Vanwege deze geringe omvang wordt het verwaarloosd.

c. waterzijdig rendement
Van alle toestellen zijn tijdens de onder punt a genoemde bedrijfsinstellingen de optredende waterzijdige rendementen bepaald.
Bij doorstroomtoestellen is dit on line bepaald dat wil zeggen door de doorstromende waterhoeveelheid, het temperatuurverschil over het toestel en de branderbelasting te meten.
Bij voorraad toestellen is het waterzijdige rendement op indirecte wijze bepaald door binnen het normale werkingsgebied (40 - 85 °C) de opwarmsnelheid van de watervoorraad (inclusief de toestelmassa) te bepalen en deze te relateren aan de belasting van het toestel.

d. stilstandsverliezen
Van elk toestel zijn de procentuele stilstandsverliezen bepaald. Bij de geisers bestaan deze verliezen enkel uit het waakvlamverbruik in relatie tot de nominale (gemeten) belasting van het toestel.
Bij de voorraadtoestellen (gas- en CV-boilers) en de combi-toestellen volgens het doorstroomprincipe (primaire circuit) zijn de stilstandsverliezen bepaald volgens de standaardmeetmethode [2].

e. wachttijd toestel
Van elk doorstroomtoestel is de wachttijd bepaald, dat wil zeggen de tijd die verloopt tussen het openen van een warmwaterkraan en het bereiken van een temperatuurverschil tussen warm en koud water dat gelijk is aan 90% van het temperatuurverschil dat wordt bereikt bij continu tappen.

f. wachttijd primaire circuit
Bij de toestellen met CV-boilers koelt het primaire circuit (ketel + leidingen van het verwarmingscircuit van de boiler) tijdens de uit-periode van de brander af. De onderzochte toestellen zijn alle voorzien van een pompschakeling,

zodat de warmte in de CV-boiler niet of nauwelijks door het primaire circuit wordt afgevoerd.
Na een nieuwe branderstart zal het enige tijd duren voordat het primaire circuit voldoende is opgewarmd om de warmteoverdracht in de CV-boiler op gang te brengen. Dit opwarmen moet als verlies worden beschouwd.
De wachttijd van het primaire circuit is de tijdsduur tussen het moment dat de brander de maximum belasting bereikt en het moment waarop de temperatuur van het primaire circuit hoger is dan de boilertemperatuur (begin van de warmteoverdracht in de CV-boiler).

g. wachttijd brander
De branders van gastoestellen worden meestal gestart met een belasting die lager is dan de nominale belasting om een rustige en veilige branderstart te garanderen, waarna een geleidelijke opsturing naar de nominale belasting plaatsvindt.
De wachttijd van de brander is de tijdsduur tussen het starten van de brander en het moment dat de maximum branderbelasting wordt bereikt.
In deze periode is het gasverbruik lager dan bij de nominale belasting, de brander is echter wel in staat om warmte aan het toestel te leveren.
Van elk gasgestookt toestel is de wachttijd van de brander bepaald.

h. brandstofverbruik tijdens wachttijd brander
Gedurende de wachttijd van de brander is het gasverbruik niet constant. Dit gasverbruik is echter wel te kwantificeren door het gemeten gasverbruik tijdens de wachttijd van de brander te relateren aan het nominale gasverbruik. Dit wordt weergegeven met de tijdsduur waarin bij nominale belasting eenzelfde hoeveelheid gas wordt verbruikt.

i. aanspreekvolume bij voorraadtoestel
De branderstart wordt bij voorraadtoestellen ingeleid door de boilerthermostaat, die in het onderste deel van het vat in een dompelbuis is gemonteerd. Het koude water wordt aan de onderzijde van het vat via een spreidbuis toegelaten, het warme water wordt aan de bovenzijde onttrokken. Hierdoor worden het warme en koude water in het vat bij tappen nagenoeg niet met elkaar gemengd. Er ontstaat hierdoor een zekere gelaagdheid van de temperatuur in het vat. Het moment van aanspreken van de thermostaat wordt dus in hoofdzaak bepaald door het voorbijkomen van het "koude" water, waarbij een temperatuursprong wordt gedetecteerd.
Het moment waarop de heersende watertemperatuur ter plaatse van de thermostaatvoeler lager is dan de schakeltemperatuur van de thermostaat, is door eventuele warmtegeleiding in de watervoorraad moeilijk te definiëren. Indien geen rekening met deze warmtegeleiding wordt gehouden, kan gebruik gemaakt worden van de gelaagdheid van het water in het vat. Het moment waarop de thermostaat moet schakelen, wordt dan alleen bepaald door de gelijkmatige verdringing van het warme water door het toegevoerde koude water. Door middel van metingen is vastgesteld hoeveel liter water getapt moet worden om de thermostaat te laten schakelen. Uitgangspunt hierbij is dat de watervoorraad op de gewenste temperatuur moet zijn.
Door de metingen een aantal keren te herhalen is een gemiddelde waarde van het volume bepaald. Dit volume wordt aangeduid met het aanspreekvolume (in liters) bij voorraadtoestellen.

j. hulpenergie pomp en/of ventilator
Van elk toestel dat elektrische hulpenergie nodig heeft ten behoeve van de circulatiepomp, ventilator en/of elektronica wordt het opgenomen vermogen in Watt per onderdeel vastgelegd.

k. nadraaitijden pomp en/of ventilator
De totale tijd die de pomp voor en na de aan-periode van de brander in bedrijf is, wordt als één tijd vastgelegd (voor- en nadraaitijd). Dit wordt bij een eventueel aanwezige ventilator op gelijke wijze bepaald.

De middels metingen vastgestelde waarden zijn weergegeven in bijlage 1.

**Opmerkingen**

Tijdens de uitvoering van de metingen in het laboratorium van IMET-TNO is bij enkele toestellen het volgende geconstateerd:

*Keukengeiser*
Onder vollast condities wordt ca. 30 mg/MJ CO geproduceerd. Deze produktie kan alleen verlaagd worden door de branderbelasting op een lager niveau in te stellen.

*Combi-toestel met grote doorstroom capaciteit*
Dit toestel is voorzien van een keramische stralingsbrander met een hoge branderpoort belasting. Bij deze toepassing is de produktie van $NO_x$ laag, doch een zekere CO-produktie is niet te voorkomen. Bij dit toestel is onder de beproevingscondities een CO-produktie van 11 - 17 mg/MJ vastgesteld.

*CV-ketel met CV-boiler*
Het leidingsysteem tussen de CV-ketel en de CV-boiler (80 l) is in het laboratorium gerealiseerd door middel van twee gewapende rubberslangen met een standaard lengte van ca. 2,5 meter per slang. In dit circuit is tevens een druk-expansievat opgenomen. De toepassing van deze slangen heeft enige nadelige invloed op het vollastrendement voor warmtapwaterbereiding (afkoeling en langere opwarmtijd van het primaire circuit tot warmteoverdracht in de boiler plaatsvindt). Indien de afstand tussen de CV-ketel en de CV-boiler kleiner is en dit leidingsysteem beter geïsoleerd wordt, zal het rendement enigszins toenemen.
Voorbeeld:
Nefit Turbo 21 combi HR met een leidinglengte van het primaire circuit van ca. 1 meter, heeft een ca. 2% hoger vollastrendement dan de Nefit turbo 21 HR met CV-boiler waarvan de lengte van het primaire circuit ca. 5 meter is.
De start van de warmteoverdracht in de boiler begint bij de laatst genoemde ketel-boiler combinatie ca. 10 seconden later dan bij de combi-ketel.

### 3.2.2 Leidingnetverliezen

De leidingnetverliezen worden door middel van berekeningen vastgesteld.
Bij de berekeningen wordt uitgegaan van een bepaald leidingnet waarbij wordt aangenomen dat de warmteafgifte naar de omgeving continu is en het opwarmen van de leiding en het verdringen van koudwater eindigt op het moment dat het temperatuurverschil tussen warm- en koudwater aan het tappunt gelijk is aan 90% van het temperatuurverschil dat wordt bereikt bij continu tappen.

De volgende fenomenen treden in het leidingnet op per tapping:
1. het verdrijven van "koud" tapwater;
2. het opwarmen van de leiding bij het begin van de tapping;
3. het warmteverlies van de leiding naar de omgeving tijdens de tapping;
4. het afkoelen van de leiding na beëindiging van de tapping.

De eerste twee eigenschappen bepalen de totale wachttijd en daarmee een deel van het tapverlies. De derde eigenschap bepaalt het warmteverlies tijdens het normale tapbedrijf. De vierde eigenschap bepaalt de temperatuur van het water in de leidingen bij aanvang van een tapping. Dit laatste kan van belang zijn als meerdere tappingen kort na elkaar worden uitgevoerd en de watertemperatuur nog zo hoog is dat opwarmen van de leiding niet vereist is.

Bij de berekening van het warmteverlies en de afkoeling wordt ervan uitgegaan dat het leidingnet zijn warmte afstaat aan de omgeving (lucht en wanden) met een uniforme temperatuur.

Bij de vergelijking van de verschillende tapwatersystemen is een gemeenschappelijk ongeïsoleerd leidingnet in koper gedimensioneerd. De afmetingen die als gemiddelde waarden zijn afgeleid uit gegevens van KIWA [1], zijn:

*toestel op zolder*
- toestel tot splitsing badkamer/keuken, lengte 5.7 m, diameter 15/13 mm;
- splitsing tot tappunt badkamer, lengte 2 m, diameter 15/13 mm;
- splitsing tot tappunt keuken, lengte 5.3 m, diameter 12/10 mm.

*toestel in keuken (keukengeiser):*
- toestel tot tappunt keuken, lengte 0 m;
- toestel tot tappunt badkamer, lengte 7.3 m, diameter 12/10 mm.

De leidinglengte bij toepassing van een elektrische keukenboiler (10 l), geplaatst in het aanrechtblok, is 0.5 m met een diameter van 12/10 mm.

De afmetingen en opbouw van het leidingnet worden ten behoeve van de simulatieberekeningen met het programma TAPSIM in een invoer-file opgegeven. Hierdoor kan op eenvoudige wijze het leidingnet worden gewijzigd.

*Figuur 3.1 Samenstelling van de leidingnetten die bij de simulaties zijn gebruikt*

### 3.2.3 Tappatroon

De hoeveelheid netto te tappen water aan het tappunt en de tapfrequenties zijn gebaseerd op KIWA gegevens en in onderling overleg tussen Gasunie, VEEN, KEMA en Veg-Gasinstituut als realistische aanname vastgesteld op:
- keuken 39,2 liter van 65 °C bij 25 tappingen;
- badkamer 66 liter van 65 °C bij 6 tappingen.

Het genoemde tappatroon (hoeveelheid en tapdebiet per tapping en frequentie), weergegeven in tabel 3.1 kan fysiek met elk geselecteerd toestel worden uitgevoerd.
Het tapdebiet is op twee vaste waarden gesteld omdat er wordt uitgegaan van een constante waterlevering op een tappunt (keuken en wastafel 2,5 l/min en douche 3,5 l/min).
Deze aannames zijn voor een onderlinge vergelijking van de verschillende warmwatersystemen goed te gebruiken.

*Tabel 3.1 Gegevens van het tappatroon, zoals dit is toegepast bij de simulatieberekeningen*

| Tap nr. | Uur h | Tijd sec | Tappunt nr. | Taptemp °C | Tapdebiet l/min | Tap hoeveelheid liter | Gebruik |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | 1800 | 1 | 65 | 3,5 | 25,0 | douche |
| 2 | 8 | 0 | 1 | 65 | 2,5 | 4,0 | wastafel |
| 3 | 8 | 900 | 1 | 65 | 2,5 | 4,0 | wastafel |
| 4 | 9 | 1800 | 2 | 65 | 2,5 | 5,0 | vaatwas |
| 5 | 10 | 1800 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 6 | 12 | 0 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 7 | 12 | 300 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 8 | 12 | 600 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 9 | 13 | 0 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 10 | 13 | 120 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 11 | 13 | 240 | 2 | 65 | 2,5 | 6,0 | vaatwas |
| 12 | 13 | 480 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 13 | 13 | 600 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 14 | 14 | 0 | 2 | 65 | 2,5 | 0,1 | keuken |
| 15 | 15 | 0 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 16 | 16 | 0 | 2 | 65 | 2,5 | 0,1 | keuken |
| 17 | 17 | 0 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 18 | 17 | 120 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 19 | 17 | 240 | 2 | 65 | 2,5 | 2,0 | keuken |
| 20 | 18 | 0 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 21 | 18 | 120 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 22 | 18 | 240 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 23 | 18 | 360 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 24 | 18 | 480 | 2 | 65 | 2,5 | 6,0 | vaatwas |
| 25 | 18 | 720 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 26 | 18 | 840 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 27 | 18 | 960 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 28 | 18 | 1080 | 2 | 65 | 2,5 | 0,5 | keuken |
| 29 | 21 | 0 | 1 | 65 | 2,5 | 4,0 | wastafel |
| 30 | 23 | 0 | 1 | 65 | 3,5 | 25,0 | douche |
| 31 | 23 | 1800 | 1 | 65 | 2,5 | 4,0 | wastafel |

## 3.3 Rendement en emissiewaarden elektriciteitsopwekking

Voor de bepaling van het primaire energiegebruik en de milieubelasting van elektrische warmtapwaterbereiding is gebruik gemaakt van gegevens uit "Elektriciteit in Nederland 1990", SEP [3]. De bij de simulatie gebruikte gegevens zijn gebaseerd op de gemiddelde waarden van de brandstofmix (gewogen gemiddelde van steenkool, olie, aardgas, overig gas en uranium).

De transport- en transformatieverliezen van elektrische energie van de centrale naar de warmtapwaterbereider worden in rekening gebracht met een vaste gemiddelde waarde gebaseerd op primaire energie (verlies ca. 1,8%).

De waarden zijn:

| | | |
|---|---|---|
| bruto centrale rendement | 39,9 | % (o.w) |
| transport- en transformatieverliezen | 1,8 | % (o.w.) |
| netto centrale rendement | 38,1 | % (o.w) |
| emissie $CO_2$ | 73,66 | gr/MJ |
| emissie CO | 0 | mg/MJ |
| emissie $NO_x$ | 139 | mg/MJ |
| emissie $SO_2$ | 95,25 | mg/MJ |

As en stof worden in de berekeningen niet meegenomen.

# 4 Uitgangspunten modelvorming

Gezien de wensen ten aanzien van het warmtapwatermodel is gekozen voor modelvorming op tijdbasis. Dit wil zeggen dat de simulatieberekeningen in achtereenvolgende periodes worden uitgevoerd, waarbij per periode een constante bedrijfstoestand heerst en onder andere de eventuele tapopbrengst, het brandstofverbruik en de emissie wordt berekend. De lengte van de periodes wordt door het programma berekend. De simulatieberekening wordt uitgevoerd voor een tappatroon van één dag.

*Flowschema simulatiemodel*

Hierna wordt ingegaan op de uitgangspunten van de modelvorming voor de afzonderlijke onderdelen van het programma. De gedetailleerde uitwerking van de modelvorming en de structuur van het programma wordt gegeven in de handleiding van het programma voor warmtapwatervoorziening TAPSIM [4].

## 4.1 Tappatroon

Het tappatroon heeft in principe de volgende vorm:

*Tabel 4.1 Voorbeeld vorm tappatroon*

| Taptijdstip | | Tappunt | Taptemperatuur [°C] | Tapdebiet [l/min] | Taphoeveelheid [liter] |
|---|---|---|---|---|---|
| [uur] | [sec] | [nr.] | | | |
| 7 | 1800 | 2 | 65 | 3.5 | 25 |
| 8 | 0 | 3 | 65 | 2.0 | 4 |
| 8 | 900 | 3 | 65 | 2.0 | 4 |
| 9 | 1800 | 1 | 65 | 2.5 | 5 |
| .... | | | | | |

In het programma is de mogelijkheid ingebouwd dat meerdere tappingen op verschillende tappunten (deels) gelijktijdig plaatsvinden.
De gewenste taphoeveelheid is betrokken op water van 65 °C; het water dat (aan het begin van de tapping) geleverd wordt maar nog niet de gewenste temperatuur heeft bereikt, levert geen bijdrage aan de gewenste netto taphoeveelheid en wordt aangeduid als tapverlies. Dit verlies kan ontstaan ten gevolge van de wachttijd van het toestel en de verdrijf- en opwarmtijd van de leidingen.

Als de temperatuur van het tapwater van het toestel hoger ligt dan de gevraagde taptemperatuur wordt het gevraagde warmtapwaterdebiet herberekend, uitgaande van een zodanige bijmenging met koud tapwater dat de gewenste taptemperatuur wordt bereikt. Dit herberekend tapdebiet wordt in de verdere berekeningen gebruikt en in de print-uitvoer weergegeven.

De temperatuur van het tapwater, zoals geleverd door het toestel, mag lager zijn dan de gevraagde taptemperatuur; de toegestane afwijking van de gewenste taptemperatuur is een invoerparameter. Binnen deze marge wordt de gewenste hoeveelheid water getapt; anders wordt de tapping niet uitgevoerd.

## 4.2 Leidingnet & tappunten

De modelvorming van het leidingnet is erop gericht de netto tapopbrengst aan de tappunten en de bruto warmtelevering door het toestel te berekenen.

Voor het leidingnet wordt uitgegaan van een net met één of meer aansluitpunten aan het toestel en verder uitsluitend vertakkingen naar de tappunten (zie figuur 4.1). Bij de opzet van het programma dient tevens de mogelijkheid van een ringleiding te worden opengelaten.
De modelvorming maakt het mogelijk om, uitgaande van het gebruik van de tappunten, de resulterende debieten in de afzonderlijke leidingdelen te berekenen.

*Figuur 4.1 Voorbeeld toestel met twee aansluitpunten en drie tappunten*

De volgende fysische eigenschappen van de leidingen worden gemodelleerd:
- verdrijftijd van het tapwater;
- opwarmen van de leiding bij het begin van de tapping (aanwarmtijd);
- warmteverlies van de leiding tijdens de tapping;
- afkoelen van de leiding na beëindiging van de tapping.

Ten gevolge van het warmteverlies van het tapwater in de leidingen zal de feitelijke warmwatertemperatuur aan het tappunt lager zijn dan de gewenste. Dit leidt ertoe dat – bij een leidingnet met verliezen – de netto tapopbrengst altijd kleiner is dan de gevraagde tapopbrengst.

## 4.3 Toestel

Uitgegaan wordt van de toesteltypen van tabel 4.2.

*Tabel 4.2 Overzicht toesteltypen*

| Warmtebron | Regeling warmtebron | Tapwater bereiding | Wijze van warmte-overdracht |
|---|---|---|---|
| elektrisch | aan/uit | voorraad | direct |
| gas | aan/uit | doorstroom | direct |
| gas | aan/uit | voorraad | direct |
| gas | aan/uit | voorraad | indirect |
| gas | modulerend | doorstroom | direct |
| gas | modulerend | doorstroom | indirect |

Voor de berekening zijn de volgende gegevens beschikbaar:
- vollastrendement en eventueel deellastrendement;
- emissie, afhankelijk van branderbelasting;
- stilstandsverlies;
- start/opwarmverlies;
- wachttijd bij start tapping.

Bij de modulerende doorstroomtoestellen wordt zowel een tapdrempel gemodelleerd waaronder geen levering van warmtapwater plaatsvindt, als een maximum debiet, waarboven eveneens geen levering van warmtapwater plaatsvindt. Als in het gebied tussen nominaal en maximaal tapdebiet de taptemperatuur niet de gewenste waarde kan bereiken, wordt deze herberekend.

Bij de voorraadtoestellen wordt de begrenzing van de taphoeveelheid tengevolge van de omvang van de buffer gemodelleerd. Het vertraagd inkomen van de brander bij een tapping wordt gesimuleerd met een drempelvolume; pas als de totale tapping groter is dan dit drempelvolume komt de brander in. Tevens is het aanwarmen van de buffer na een tapping gemodelleerd.

Bij de elektrisch voorraadtoestellen wordt de vrijgave van het elektrisch vermogen en de afkoeling van het toestel in de overige uren gemodelleerd.

Voor combi-toestellen is het mogelijk de berekening uit te voeren voor de situatie zonder en met gebruik van de cv-functie.

## 4.4 Elektriciteitsopwekking

De elektriciteitsopwekking wordt gekenmerkt door de opwekkings-, transport- en transformatorrendementen en door de emissies. Het brandstofverbruik en de emissies die optreden bij de produktie van de voor de diverse warmwatersystemen benodigde elektriciteit worden berekend nadat de gehele simulatie van het tappatroon afgerond is. Deze berekening heeft daarom het karakter van een nabewerking.

# 5 Validatie simulatiemodel

De validatie van het programma TAPSIM is op twee manieren uitgevoerd. Eerst is een analytische verificatie uitgevoerd met behulp van testinvoer en controleberekeningen. Daarna is een empirische validatie uitgevoerd. Hieronder worden de validaties beschreven en de resultaten besproken.

## 5.1 Analytische verificatie

Bij de analytische verificatie van een programma worden de resultaten van de modelberekening vergeleken met relatief eenvoudig te berekenen exacte oplossingen. Hierbij wordt niet de juistheid van het model getest, maar de juistheid van de vertaling van het model in het programma.

Om deze controle uit te voeren is een testprogramma opgezet en is een serie test invoerfiles opgesteld. Het betreft hier files voor de vijf typen toestellen, zoals genoemd in tabel 4.2. Voor alle voorraadtoestellen is een testfile gemaakt zonder en met een drempelvolume, zodat uiteindelijk 8 toestelvarianten doorgerekend zijn. Al deze toestelvarianten zijn doorgerekend met een leidingnet, bestaandeuit twee tappunten en drie leidingdelen met lengte nul. Er treden dus geen wachttijden en verliezen op ten gevolge van dit net; het wordt alleen gebruikt om de twee tappunten direct te koppelen aan het toestel, waardoor de beoordeling van de berekeningsresultaten vereenvoudigd wordt.
Voor de centrale wordt een file met standaardgegevens gebruikt. Omdat deze parameters op een zeer eenduidige manier in een nabewerking gebruikt worden, kon de validatie hiervan in één keer worden uitgevoerd.

Het test-tappatroon bevat 22 tappingen en is zo gekozen dat modelmatig gezien een groot aantal uiteenlopende situaties optreedt, zoals:
- uur met stilstandsverlies;
- uur met eenmalige tapping, bij zowel klein, normaal als groot tap-debiet;
- uur met twee gelijktijdige startende tappingen;
- uur met twee direct na elkaar startende tappingen (tweede tapping in wachttijd leidingnet of toestel);
- zeer grote taphoeveelheid.

Al deze tappingen worden zowel aan het begin als vlak voor het eind van een uur uitgevoerd; hierdoor is het mogelijk om te testen of de uur-doorgang geen fout in de simulatie veroorzaakt.

Het functioneren van de leidingnetberekeningen is voor één toestel uitgevoerd met een reëel leidingnet.

De resultaten van het programma zijn vergeleken met handmatig berekende uitkomsten. Hierdoor is een aantal onjuistheden in het programma gesignaleerd en verholpen.

Gebleken is dat de met deze testinvoer verkregen resultaten geheel voldoen aan de handmatig berekende uitkomsten. De uitgewerkte resultaten van de analytische verificatie liggen ter inzage bij de auteur van het programma.

## 5.2 Validatie met meetresultaten

### 5.2.1 Metingen

Nadat de analytische verificatie was afgerond is een aantal validatiemetingen uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van een tweetal toestellen, namelijk een direct gasgestookt doorstroomtoestel (DGD) en een indirect gasgestookt voorraadtoestel (IGV). De toestellen zijn aangesloten op een leidingnet met meerdere leidingen en tappunten (figuur 5.1), zodat verschillende met het model vergelijkbare tapsituaties in het lab kunnen worden nagebootst.

*Figuur 5.1 Leidingnet ten behoeve van validatiemetingen*

In de proefstand kan een aantal grootheden worden gemeten, zoals:
- watertemperatuur voor en na het toestel en aan de tappunten;
- condities en verbruik gas;
- getapte hoeveelheid water (gewichtsmeting).

Bij de metingen is gebruik gemaakt van het VADAS-ASYST data-acquisitiesysteem van IMET-TNO [5]. De sample-tijd bedraagt 5 sec.

Voor beide toestellen zijn twee korte tapprogramma's van ongeveer 1½ uur afgewerkt, die ieder op één tappunt betrekking hebben (keuken en badkamer).

Voor iedere validatiemeting zijn hiermee per tapping vastgesteld:
- taptijdstip en tapduur;
- taptemperatuur (zowel toestel als tappunt);
- taphoeveelheid (netto en verlies);
- tapdebiet (= bruto taphoeveelheid / tapduur).

Tevens is het totale gasverbruik en de gemiddelde temperatuur van het koude water gemeten.

De resultaten van de metingen en de validatie zijn ter inzage bij de auteur van het programma.

### 5.2.2 Simulatie versus metingen

De in 5.2.1 bepaalde gegevens zijn gebruikt om de juiste invoerfile voor het tapprogramma samen te stellen. Tevens is een tweetal invoerfiles voor de twee leidingnetvarianten opgesteld.

Met deze invoer en de betreffende toestelfiles zijn vervolgens de benodigde berekeningen uitgevoerd. De berekeningsresultaten zijn vervolgens vergeleken met de gemeten waarden.

Bij de tweede toetsing zijn de volgende correcties toegepast:
- het gemeten gasverbruik is gecorrigeerd voor de gemeten druk en temperatuur;
- het berekend gasverbruik is gecorrigeerd voor de stilstandsverliezen in de ongeveer 22,5 uur die buiten de validatiemeting vallen;
- tevens is gecorrigeerd voor het verschil tussen het gemeten en berekend tapvolumeverlies (verschil tussen netto-bruto); deze waarden lopen soms zeer uiteen (zie tabel 5.1).

Hierna is de tapopbrengst aan de uitlaat van het toestel gelijk aan de gemeten waarden en is het verschil tussen het gemeten en gecorrigeerd berekend gasverbruik een maat voor de kwaliteit van het model. Zoals uit tabel 5.1 blijkt ligt de afwijking voor beide toestellen en beide tapprogramma's en leidingnetten binnen de 7,5%.
Gezien de haalbare nauwkeurigheid is dit alleszins acceptabel.

*Tabel 5.1 Overzicht van de resultaten van de validatiemetingen*

| Algemene gegevens<br>Soort toestel<br>Tappunt | | Grote badgeiser | | HR-combi-voorraad | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | badkamer | keuken | badkamer | keuken |
| **meting** | | | | | |
| Totale meetduur | [min] | 92,9 | 85,6 | 93,5 | 80,35 |
| Nuttig getapt | [kg] | 27,53 | 21,00 | 27,59 | 20,81 |
| Verlies getapt | [kg] | 10,18 | 14,69 | 7,90 | 7,81 |
| Taptemperatuur koud | [ °C] | 13,0 | 13,0 | 13,9 | 14,1 |
| Taptemperatuur toestel | [ °C] | 62,0 | 62,0 | 70,4 | 70,0 |
| Gasverbruik | [lt] | 405,1 | 366,5 | 367,1 | 274,4 |
| Correctiefactor | [–] | 0,95 | 0,95 | 0,96 | 0,96 |
| Gasverbruik b.w. | [MJ] | 13,51 | 12,22 | 12,32 | 9,21 |
| **simulatie** | | | | | |
| Nuttig getapt | [kg] | 27,53 | 21,01 | 27,59 | 20,81 |
| Verlies getapt | [kg] | 11,22 | 17,62 | 8,69 | 13,96 |
| Taptemperatuur koud | [ °C] | 13,00 | 13,00 | 13,9 | 14,1 |
| Taptemperatuur toestel | [ °C] | 62,0 | 62,0 | 70,4 | 70,0 |
| Gasverbruik | ~~[lt]~~ [M3] | 20,84 | 21,52 | 17,55 | 16,64 |
| Rendement | [-] | 0,70 | 0,70 | 0,835 | 0,835 |
| Qs(stilst.verl) per uur | [MJ] | 0,356 | 0,356 | 0,216 | 0,216 |
| Correctie gasverbruik Qs | [MJ] | -7,993 | -8,036 | -4,847 | -4,895 |
| Verschil tapverlies | [lt] | -1,045 | -2,927 | -0,790 | -6,780 |
| Correctie gasverbr. tapverl. | [MJ] | -0,306 | -0,858 | -0,224 | -1,902 |
| Gasverbruik (gecorrigeerd) | [MJ] | 12,541 | 12,625 | 12,479 | 9,843 |
| **vergelijking** | | | | | |
| Afwijking gasverbruik | [MJ] | -0,969 | 0,403 | 0,154 | 0,631 |
| Afwijking gasverbruik | [%] | -7,2 | 3,3 | 1,3 | 6,9 |

## 5.3 Uitwerking van de modelvorming

De uitwerking van de modelvorming en de wijze van het gebruik van het programma zijn in de handleiding van het programma [4] weergegeven.

## 5.4 Conclusies met betrekking tot het model

Bij het trekken van conclusies uit validaties is enige voorzichtigheid vereist. Alle gehanteerde methoden kennen namelijk hun beperkingen, zoals:

- *analytische verificatie*
  bij een complex programma is het niet goed mogelijk een testprogramma samen te stellen dat het programma voor alle situaties op de proef stelt;
- *validatie met meetresultaten*
  ogenschijnlijk de meest harde test, maar in de praktijk minder eenduidig, onder andere door de bescheiden meetnauwkeurigheid; hierdoor is het niet goed mogelijk op grond van praktijkmetingen subtiele fouten in de modelvorming op te sporen.

Bij het gebruik van het programma zijn andere foutbronnen van belang; de belangrijkste hiervan zijn:

- *definitie parameters*
  niet alle gebruikte parameters zijn in een norm of richtlijn gedefinieerd; voor de niet-gedefinieerde parameters heeft dit tot gevolg dat in dit rapport slechts een werk-definitie gegeven is en dat er geen genormeerde meetmethoden zijn om deze parameters te bepalen
- *gevoeligheid voor parameters*
  hiernaar is geen systematisch onderzoek gedaan; in samenhang met het vorige punt kan dit tot fouten leiden.

Behoudens de bovengenoemde opmerkingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- het programma functioneert conform het opgestelde model;
- het berekende gasverbruik van zowel een direct gasgestookt doorstroomtoestel als een indirect gasgestookt voorraadtoestel vertoont een afwijking van maximaal 7,5% met de gemeten resultaten bij identieke tapvolumes en -temperaturen.

# 6 Resultaten systeemsimulaties

Van de in hoofdstuk 3 genoemde toestelparameters, gegevens van elektriciteitscentrales, leidingnetgegevens en tappatroon zijn invoerfiles gemaakt, die gebruikt worden voor de simulatie van de warmtapwaterbereiding.
Bij de simulaties zijn met uitzondering van de keukengeiser en de elektrische keukenboiler alle toestellen op de zolderverdieping geplaatst. Hierdoor wordt voor de keukengeiser een ander leidingnet gebruikt dan bij de toestellen met zolderopstelling (afmetingen zijn in hoofdstuk 3.2.2 genoemd). Doordat de elektrische keukenboiler meestal in het aanrechtblok wordt geplaatst, is voor de aansluiting op het keukentappunt een leiding nodig (zie hoofdstuk 3.2.2).

Met de 11 geselecteerde warmtapwaterbereiders, aangesloten op een gecombineerd leidingnet (keuken + badkamer), kan het aangenomen tapprogramma zonder meer worden uitgevoerd. Hiervoor moet de elektrische voeding van de elektrische voorraadtoestellen op elk gewenst moment beschikbaar zijn.
Indien gebruik gemaakt moet worden van "nachtstroomlevering" bij elektrische voorraadtoestellen, is het echter niet mogelijk om het tapprogramma geheel uit te voeren (te kleine warmwatervoorraad), zelfs niet bij een hoge ingestelde temperatuur van 85 °C. Ten behoeve van zowel deze bedrijfsvoering als een eventueel bewust gescheiden warmtelevering aan badkamer en keuken (twee toestellen), is het leidingnet opgesplitst in een keuken- en badkamerleidingnet. Tevens is het tapprogramma opgedeeld in een keuken- en badkamertapprogramma.
De op zolder geplaatste toestellen leveren in deze situatie alleen warmwater aan de badkamer, de keukengeiser of de elektrische keukenboiler voeden dan het keukentappunt.
Van alle hierboven genoemde systeemvarianten zijn simulaties uitgevoerd.
Ten behoeve van de elektrische voorraadtoestellen die gedurende de nacht worden verwarmd (nachtstroom), zijn simulaties voor badkamergebruik uitgevoerd.

Bij systemen waar combi-toestellen en ketels met een CV-boiler worden toegepast, worden de simulaties 2 keer uitgevoerd, een voor bedrijfsvoering in de zomer en een voor de winterperiode. Tijdens de winterperiode wordt een deel van het stilstandsverlies van het combi-toestel toegekend aan de ruimteverwarming, hetgeen resulteert in een lager energiegebruik voor warmtapwaterbereiding.

In bijlage 2 zijn de resultaten van de simulaties over één dag van 34 verschillende installatie-uitvoeringen weergegeven.
Ten aanzien van de posten "tapvolume netto", "tapvolume verlies" en "tapvolume totaal" moet enige reserve worden betracht. De vermelde waarden hebben betrekking op naar toesteltemperatuur omgerekende hoeveelheden. Het programma gaat er van uit dat de gevraagde waterhoeveelheid met de gewenste temperatuur aan het tappunt wordt geleverd. Dit betekent dat indien het water dat het toestel verlaat een hogere temperatuur heeft dan de gewenste temperatuur er minder water door het toestel geleverd hoeft te worden omdat de gewenste temperatuur door bijmenging van koud water in het tappunt wordt verkregen. De gevraagde en geleverde waterhoeveelheden komen overeen met de gevraagde warmtehoeveelheden aan de uitlaat van het toestel.

De elektrische boiler met 80 liter inhoud kan bij nachtstroom toepassing niet aan het gevraagde tappatroon voldoen. Dit systeem heeft bij zolderopstelling ter completering van het tappatroon een extra toestel voor keukengebruik nodig (een keukenopstelling van de 80 liter boiler bij nachtstroom toepassing is niet in de simulaties opgenomen).
Om de nachtstroom toepassing van de 80 liter boiler met zolderopstelling in de vergelijkingen te kunnen betrekken, kan een combinatie met een keukengeiser of een elektrische keukenboiler (10 liter) worden overwogen. Beide worden meegenomen in de vergelijkingen (combinatie installatienummer 7 met 1 en 7 met 2).

De resultaten van de simulaties van 20 systemen en/of toepassingen zijn weergegeven in de tabellen 6.1 t/m 6.3.

*Tabel 6.1 Rendement en primair energiegebruik over een etmaal*

| Nr. | Warmtapwaterbereider | $Q_{tap}/Q_{vraag}$ % | Rendement op prim. energie (o.w.) | | Primair energie verbruik $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | toestel % | systeem % | |
| 3 | keukengeiser | 98 | 58,3 | 53,5 | 1,40 |
| 4 | kleine badgeiser | 91 | 61,4 | 37,8 | 1,84 |
| 5 | grote badgeiser | 91 | 56,8 | 34.9 | 1,99 |
| 6 | elektrische boiler 80 l [1)] | 94 | 32,6 | 22,3 | 3,23 |
| 35 | elektrische boiler 80 l [2)] | 96 | 31,8 | 26,8 | 2,73 |
| 8 | elektrische boiler 120 l [1)] | 94 | 31,7 | 21,7 | 3,32 |
| 12 | elektrische boiler 120 l [3)] | 94 | 33,4 | 23,2 | 3,11 |
| 14 | gasboiler 112 l | 96 | 60,4 | 37,9 | 1,94 |
| 15 | VR-combi doorstr. kleine cap.[4)] | 96 | 63,0 | 40,8 | 1,80 |
| 16 | VR-combi doorstr. grote cap.[4)] | 91 | 69,6 | 42,5 | 1,63 |
| 21 | VR-ketel met CV-boiler 80 l [4)] | 95 | 50,7 | 35,3 | 2,06 |
| 22 | HR-combi voorraad 25 l [4)] | 95 | 71,3 | 50,6 | 1,44 |
| 23 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [4)] | 95 | 58,7 | 40,9 | 1,78 |
| 24 | VR-combi doorstr. kleine cap.[5)] | 96 | 79,1 | 51,2 | 1,43 |
| 25 | VR-combi doorstr. grote cap.[5)] | 91 | 82,1 | 50,1 | 1,39 |
| 26 | VR-ketel met CV-boiler 80 l [5)] | 95 | 51,2 | 35,6 | 2,04 |
| 27 | HR-combi voorraad 25 l [5)] | 95 | 72,0 | 51,0 | 1,43 |
| 28 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [5)] | 95 | 58,9 | 41,0 | 1,77 |
| 17 | el. boiler 80 $l^2$+ keukengeiser | 97 | 32,2 | 27,5 | 2,70 |
| 18 | el. boiler 80 $l^2$+ keukenboiler | 97 | 30,9 | 26,4 | 2,82 |

1) continue elektriciteitslevering
2) keukenopstelling, cont. el.levering
3) nachtstroomlevering
4) toestel zonder CV-functie
5) toestel met CV-functie

In tabel 6.1 worden de rendementen (gebruiksrendementen) en energiegebruiken per etmaal weergegeven. In de tabel is tevens de netto getapte warmtehoeveelheid in relatie tot de gevraagde warmtehoeveelheid ($Q_{tap}/Q_{vraag}$) weergegeven. Hierin is $Q_{tap}$ de geleverde hoeveelheid energie aan het tappunt en $Q_{vraag}$ de gevraagde hoeveelheid energie welke door het toestel wordt geleverd. Een afwijking van 5 tot 10% ten opzichte van de vraag treedt in de regel op door afkoeling van het water in de leidingen.

De toestel- en systeemrendementen zijn gebaseerd op primaire energie op onderwaarde, zodat een onderlinge vergelijking mogelijk is.

Met het toestelrendement wordt de verhouding tussen de door het toestel afgegeven warmte en de totaal aan het toestel toegevoerde primaire energie bedoeld. Het systeemrendement is de verhouding tussen de nuttig getapte hoeveelheid warmte en de totaal toegevoerde primaire energie.

Bij aardgas liggen de toestel- en systeemrendementen tussen ca. 50 en 82% respectievelijk 35 en 54% met een gemiddelde waarde van ca. 64 respectievelijk 42%.
Bij elektrische toestellen liggen de toestel- en systeemrendementen gemiddeld op ca. 33 respectievelijk 22%.

Tussen het toestel en het tappunt treden bij een bepaald tappatroon en leidingnet verliezen op, die de (warmte)overdrachtsfactor van het leidingnet bepalen.
Deze overdrachtsfactor is de verhouding tussen het systeem- en het toestelrendement, waarmee de invloed van het leidingnetgedrag (omvang van de verliezen) op een bepaalde warmwaterbereider zichtbaar gemaakt kan worden.
Van de onderzochte systemen met gasgestookte doorstroomtoestellen en gasboiler op de zolderverdieping geplaatst, zijn deze factoren gemiddeld 0,62. Bij deze toestellen was de watertemperatuur aan de uitlaat van het toestel ca. 65 °C.
Bij de twee systemen met elektrische boilers liggen deze factoren gemiddelde op 0,68. De voorraadtemperatuur van deze toestellen was ca. 85 °C.
Bij de systemen met combi-toestellen met voorraadboiler liggen de factoren gemiddeld op 0,70. De voorraadtemperatuur bij deze toestellen was ca. 70 °C.
Bij het systeem met de keukengeiser (kleiner leidingnet) ligt de factor op 0,92 De watertemperatuur aan de uitlaat van het toestel is ca. 70 °C.

Hieruit blijkt dat de opstellingsplaats van het toestel ten opzichte van de tappunten en de toesteltemperatuur een aanzienlijke invloed hebben op het niveau van het systeemrendement en dus op het energiegebruik.

Het primaire energiegebruik is omgerekend naar kubieke meters aardgas.
In grafiek 6.1 zijn de rendementen weergegeven op basis van de energieomzetting in megajoule (MJ) onderwaarde (inclusief centralerendement + transport- en transformatieverliezen).

Het primaire energiegebruik in kubieke meters aardgasequivalent is bij elektrische tapwatertoestellen ca. 1,8× zo hoog als bij de aardgas toestellen.
De toepassing van nachtstroom resulteert bij de 120 l boiler in ca. 6% lager energiegebruik (0,21 $m^3$/etmaal) op ten opzichte van daglevering.
De toepassing van een 80 l boiler op nachtstroom in combinatie met een elektrische keukenboiler levert ca. 13% (0,41 $m^3$/etmaal) energiebesparing op als ge-

volg van een gemiddeld lagere temperatuur van de inhoud. In combinatie met een keukengeiser ligt dit op ca. 16% (0,53 $m^3$/etmaal) ten opzichte van daglevering.

In tabel 6.2 is de milieubelasting per etmaal weergegeven in absolute waarden.

*Tabel 6.2 Milieubelasting over een etmaal*

| Nr. | Warmtapwaterbereider | $CO_2$ gr/24h | CO mg/24h | $NO_x$ mg/24h | $SO_2$ mg/24h |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | keukengeiser | 2481 | 1505 | 1756 | – |
| 4 | kleine badgeiser | 3266 | – | 1803 | – |
| 5 | grote badgeiser | 3534 | – | 1342 | – |
| 6 | elektrische boiler 80 l [1] | 7535 | – | 14219 | 9745 |
| 35 | elektrische boiler 80 l [2] | 6379 | – | 12037 | 8248 |
| 8 | elektrische boiler 120 l [1] | 7754 | – | 14633 | 10027 |
| 12 | elektrische boiler 120 l [3] | 7258 | – | 13697 | 9386 |
| 14 | gasboiler 112 l | 3444 | – | 2000 | – |
| 15 | VR-combi doorstr. kleine cap.[4] | 3240 | – | 2607 | 236 |
| 16 | VR-combi doorstr. grote cap. [4] | 2947 | 625 | 490 | 230 |
| 21 | VR-ketel met CV-boiler 80 l [4] | 3681 | – | 2529 | 113 |
| 22 | HR-combi voorraad 25 l [4] | 2579 | 3 | 863 | 104 |
| 23 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [4] | 3180 | 4 | 1093 | 112 |
| 24 | VR-combi doorstr. kleine cap.[5] | 2572 | – | 2057 | 134 |
| 25 | VR-combi doorstr. grote cap.[5] | 2485 | 516 | 308 | 123 |
| 26 | VR-ketel met CV-boiler 80 l [5] | 3640 | – | 2458 | 59 |
| 27 | HR-combi voorraad 25 l [5] | 2556 | 3 | 819 | 74 |
| 28 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [5] | 3166 | 4 | 1066 | 94 |
| 17 | el. boiler 80 $l^2$+ keukengeiser | 5900 | 784 | 9610 | 5959 |
| 19 | el. boiler 80 $l^2$+ keukenboiler | 7056 | – | 13314 | 9124 |

1) continue elektriciteitslevering
2) keukenopstelling, cont. el.levering
3) nachtstroomlevering
4) toestel zonder CV-functie
5) toestel met CV-functie

De produktie van $CO_2$ bij gasgestookte toestellen ligt tussen 2500 en 3700 gram per etmaal met een gemiddelde waarde van ca. 3150 gram per etmaal.
Bij elektrische toestellen ligt de produktie tussen 7200 en 7800 gram per etmaal met een gemiddelde waarde van ca. 7500 gram per etmaal. Deze produktie ligt ca. 2,4× hoger dan bij gas.

De CO-produktie van 1505 mg/etmaal bij de keukengeiser wordt veroorzaakt door een niet optimale verbranding (geringe overbelasting van het toestel) tijdens de capaciteitsmetingen.
De CO-produktie van 625 mg/etmaal bij de VR-combiketel met grote doorstroomcapaciteit is inherent aan de hoge branderpoortbelasting die wordt toegelaten bij keramische stralingsbranders.

De geringe CO-produktie bij de HR-ketels vindt zijn oorzaak in de optimale afstelling van de brander, doch is verwaarloosbaar.

Bij de aardgas toestellen liggen de $NO_x$-waarden tussen ca. 500 en 2600 milligram per etmaal met een gemiddelde waarde van ca. 1600 milligram per etmaal.
Bij de elektrische toestellen liggen deze waarden tussen ca. 13700 en 14600 milligram per etmaal met een gemiddelde waarde van ca. 14200 milligram per etmaal.
Bij de warmtapwaterbereiding op elektriciteit wordt gemiddeld ca. 9× meer $NO_x$ geproduceerd dan bij de warmtapwaterbereiding op aardgas.

Bij elektrische warmtapwaterbereiding wordt per etmaal gemiddeld 9700 milligram $SO_2$ geproduceerd. Bij de gasgestookte toestellen is alleen sprake van $SO_2$-produktie indien elektrische hulpenergie voor pompen, ventilatoren en elektronica nodig is (gemiddeld 160 milligram per etmaal).

In tabel 6.3 is de milieubelasting per netto getapte megajoule weergegeven.

*Tabel 6.3 Milieubelasting per MJ netto getapte warmte*

| Nr. | Warmtapwaterbereider | $CO_2$ gr/MJ | CO mg/MJ | $NO_x$ mg/MJ | $SO_2$ mg/MJ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | keukengeiser | 105 | 64 | 74 | – |
| 4 | kleine badgeiser | 149 | – | 82 | – |
| 5 | grote badgeiser | 161 | – | 61 | – |
| 6 | elektrische boiler 80 l [1] | 330 | – | 623 | 427 |
| 35 | elektrische boiler 80 l [2] | 275 | – | 518 | 355 |
| 8 | elektrische boiler 120 l [1] | 340 | – | 641 | 439 |
| 12 | elektrische boiler 120 l [3] | 317 | – | 598 | 410 |
| 14 | gasboiler 112 l | 148 | – | 86 | – |
| 15 | VR-combi doorstr. kleine cap.[4] | 139 | – | 112 | 10 |
| 16 | VR-combi doorstr. grote cap. [4] | 134 | 28 | 22 | 11 |
| 21 | VR-ketel met CV-boiler 80 l [4] | 160 | – | 110 | 5 |
| 22 | HR-combi voorraad 25 l [4] | 112 | – | 37 | 5 |
| 23 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [4] | 137 | - | 47 | 5 |
| 24 | VR-combi doorstr. kleine cap.[5] | 111 | – | 89 | 6 |
| 25 | VR-combi doorstr. grote cap.[5] | 113 | 24 | 14 | 6 |
| 26 | VR-ketel met CV-boiler 80 l [5] | 158 | – | 106 | 3 |
| 27 | HR-combi voorraad 25 l [5] | 111 | – | 36 | 3 |
| 28 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [5] | 137 | – | 46 | 4 |
| 17 | el. boiler 80 $l^2$+ keukengeiser | 262 | 33 | 429 | 268 |
| 19 | el. boiler 80 $l^2$+ keukenboiler | 301 | – | 567 | 389 |

1) continue elektriciteitslevering
2) keukenopstelling, cont. el.levering
3) nachtstroomlevering
4) toestel zonder CV-functie
5) toestel met CV-functie

De produktie van $CO_2$ ligt bij gasgestookte toestellen tussen 105 en 161 g/MJ met een gemiddelde waarde van ca. 140 g/MJ. Bij elektrische toestellen ligt dit tussen 317 en 340 g/MJ met een gemiddelde waarde van ca. 330 g/MJ.

De produktie van CO komt bij 2 gasgestookte toestellen (keukengeiser en VR-combi volgens doorstroom met grote capaciteit) voor met waarden ca. 64 respectievelijk 28 mg/MJ.

De produktie van $NO_x$ ligt bij gasgestookte toestellen tussen 22 en 112 mg/MJ met een gemiddelde waarde van ca. 70 mg/MJ. Bij elektrische toestellen ligt de produktie tussen 598 en 641 mg/MJ met een gemiddelde waarde van ca. 620 mg/MJ.

De produktie van $SO_2$ is bij elektrische toestellen ca. 425 mg/MJ. Bij de gasgestookte toestellen met elektrische hulpenergie ligt dit tussen 5 en 11 mg/MJ.

# 7 Gevoeligheidsanalyse tappatroon

Om de invloed van een afwijking op het tappatroon zichtbaar te maken, is het tappatroon zowel qua hoeveelheid als qua aantal tappingen gewijzigd.
Bij een verlaging van de taphoeveelheid is voor het oorspronkelijke tappatroon bij elke tapping 10% minder water opgegeven.
Bij een vermindering van het aantal tappingen zijn twee tappingen in de keuken van 0,1 liter achterwege gelaten.
Voor een aantal systemen zijn met de gewijzigde tappatronen simulaties uitgevoerd.

## 7.1 Verlaging van de taphoeveelheid met 10%

De toestelrendementen op onderwaarde nemen bij elektrische toestellen met 0,3 tot 0,4% af, bij de overige toestellen ligt de verlaging tussen 0,6 en 1,7% (deze waarden zijn absoluut).
De systeemrendementen op onderwaarde nemen bij elektrische toestellen met 0,8% af, bij de overige toestellen ligt de verlaging tussen 1,8 en 2,5% (absoluut).

De energiegebruiken nemen bij de elektrische toestellen af met ca. 6,5%, bij de overige toestellen varieert dit tussen 0,6 en 6,4% met en gemiddelde waarde van ca. 4,7% (relatieve waarden).

De $CO_2$- en $NO_x$-emissie nemen relatief toe met waarden tussen ca. 3,5 en 7%.

## 7.2 Vermindering van het aantal tappingen

De toestelrendementen op onderwaarde nemen bij elektrische toestellen met 0,1 tot 0,4% af, bij de gasgestookte doorstroomtoestellen neemt het rendement iets toe met 0,2 tot 0,3%, bij de overige toestellen treedt een geringe verlaging van 0,1 tot 0,7% op (deze waarden zijn absoluut).
De systeemrendementen op onderwaarde nemen bij elektrische toestellen met 0,7% toe, bij de overige toestellen is de toename tussen 0,3 en 1,7% (absoluut).

De energiegebruiken nemen bij de elektrische toestellen af met ca. 3,4%, bij de overige toestellen varieert dit tussen 0,7 en 3,5% met een gemiddelde waarde van ca. 2,4% (relatieve waarden).

De $CO_2$- en $NO_x$-emissie nemen relatief af met waarden van ca. 3,2% bij elektrische toestellen en ca. 2,2% bij de overige toestellen.

# 8 Aanvullende simulaties

Om inzicht te verkrijgen van de energiegebruiken en de milieubelastingen bij een afwijkende installatie configuratie of andere tappatronen zijn de volgende systeem configuraties doorgerekend:

a. Een elektrische boiler met 80 l inhoud die is opgesteld in de keuken.
De leidingconfiguratie is:
- toestel tot keukentappunt, lengte 2.0 meter, diameter 12/10 mm;
- toestel tot badkamertappunt, lengte 7.3 meter, diameter 12/10 mm.
Het tappatroon is gelijk aan het standaard tappatroon, genoemd in hoofdstuk 3.2.3.
De bovengenoemde installatie is vergelijkbaar met installatienummer 3 met uitzondering van de extra leiding vanaf het toestel tot het keukentappunt (de boiler is niet boven het keukentappunt geplaatst).

b. Berekeningen met het standaard tappatroon (105,2 liter, 65 °C), met standaard leidingconfiguratie en elektriciteitslevering door een gasgestookte elektriciteitscentrale.
De gegevens van het centrale opwekkingsrendement en emissies zijn volgens SEP 1990:

$\eta_{bruto}$ = 42,4 %
$\eta_{netto}$ = 40,5 %
$NO_x$ = 113 g/GJ
$CO_2$ = 55,7865 kg/GJ
CO = 0 g/GJ
$SO_2$ = 0 g/GJ

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een elektrische boiler 80 l (installatienummer 36) en een HR-combi ketel (installatienummer. 37 en 38).

c. Berekeningen met het standaard tappatroon (105,2 liter, 65 °C), met standaard leidingconfiguraties en elektriciteitslevering door een elektriciteitscentrale met een netto opwekkingsrendement van 45% en emissies volgens de brandstofmix SEP 1990 (standaard emissies, gebruikt voor de installaties 1 t/m/ 34).
De berekeningen zijn uitgevoerd voor een elektrische boiler 80 l (installatie nummer 39) en een HR-combi ketel (installatienummer 40 en 41).

d. Berekeningen met de standaard leidingconfiguraties en centralegegevens (zie hoofdstuk 3.3) met aangepaste tappatronen.
De tappatronen zijn:
- tappatroon 1:
100 liter van 55 °C, gelijkmatig verdeeld over een dagperiode (06:00 -24:00 h) bestaande uit 25 tappingen met een tapinterval van 45 minuten (zie bijlage 3.1).
- tappatroon 4
101,5 liter van 55 °C, gelijkmatig verdeeld over een dagperiode (07:00 - 22:00 h) bestaande uit 46 tappingen met een tapinterval van 20 minuten (zie bijlage 3.2).

De aangepaste tappatronen zijn verkregen uit eerdere onderzoekingen [6], waarbij ervan wordt uitgegaan dat de leiding en eventueel het toestel is afgekoeld tot omgevingstemperatuur.
De berekeningen zijn uitgevoerd voor een elektrische boiler 120 l (installatienummer 42 en 46), een grote badgeiser (installatienummer 43 en 47) en een HR-ketel met CV-boiler 80 l (installatienummer 44, 45, 48 en 49).

## 8.1 Resultaten aanvullende simulaties

### 8.1.1 Elektrische boiler opgesteld in de keuken

De simulatieberekening van een elektrische boiler met 80 l inhoud (installatienummer 35), geeft als resultaat dat het systeemrendement op primaire energie met ca. 4,5% (absolute waarde) toeneemt ten opzichte van de zolderopstelling. Het energiegebruik per dag neemt daarbij af met ca. 15% (≈ 0,5 $m^3$/dag). In tabel 6.1 zijn de berekende rendementen en het energiegebruik van installatienummer 35 opgenomen.

Indien de genoemde installatie wordt vergeleken met een keukengeiser (installatienummer 3) blijkt dat het systeemrendement van de elektrische boiler ca. 27% (absolute waarde) lager is. Het energiegebruik per dag is 1,33 $m^3$ hoger.

De milieubelasting neemt ten opzichte van de installatie met zolderopstelling van het toestel met ca. 17% af.
Vergeleken met de keukengeiser is de $CO_2$-produktie bij toepassing van de elektrische boiler ca. 2,6 maal hoger. De $NO_x$-produktie is ca. 6,9 maal hoger.
In tabel 6.2 en 6.3 zijn de berekende emissie-waarden van installatienummer 35 opgenomen.

### 8.1.2 Elektriciteitsopwekking door een gasgestookte centrale

De simulatieberekening van een elektrische boiler met 80 l inhoud (installatienummer 36) geeft als resultaat dat het systeemrendement op primaire energie met ca. 1,4% (absolute waarde) toeneemt ten opzichte van de elektriciteitslevering gebaseerd op de brandstofmix 'SEP 1990' (installatienr. 6). Het energiegebruik neemt daarbij af met ca. 6% (0,19 $m^3$/dag).

De $CO_2$-produktie neemt met ca. 29% af. De $NO_x$- produktie neemt met ca. 23% af. $SO_2$ wordt bij elektriciteitsopwekking in een gasgestookte centrale niet geproduceerd.

Het effect van de elektriciteitsopwekking door een gasgestookte centrale is voor een HR-combi ketel ten aanzien van het rendement en energiegebruik gering.
De produktie van $CO_2$, $NO_x$ en $SO_2$ neemt met respectievelijk 6, 4 en 100% af (de afnames zijn absoluut gezien verwaarloosbaar).

### 8.1.3 Elektriciteitsopwekking door een centrale met een netto rendement van 45%

De simulatieberekening van de warmtapwaterbereiding door een elektrische boiler met 80 l inhoud (installatienummer. 39) geeft als resultaat dat het systeemrendement op primaire energie met ca. 4% (absolute waarde) toeneemt ten opzichte van installatienummer 6. Het energiegebruik neemt daarbij af met ca. 15% (0,5 $m^3$/dag).

De milieubelasting neemt met ca. 15% af.

Het effect van de elektriciteitsopwekking door een centrale met een netto rendement van 45% is voor een HR-combi ketel is ten aanzien van het rendement en energiegebruik gering.
De produktie van $CO_2$, $NO_x$ en $SO_2$ neemt met respectievelijk 1, 3 en 15% af (de afnames zijn absoluut gezien verwaarloosbaar).

### 8.1.4 Aanpassing van de tappatronen

Bij tappatroonnummer 1 wordt door middel van 25 tappingen 100 liter water van 55 °C getapt. Bij tappatroonnummer 4 worden 46 tappingen uitgevoerd, waarbij 101,5 liter water van 55 °C wordt getapt.
De tijdsduur tussen twee opeenvolgende tappingen is constant en zo groot gehouden dat het leidingnet zal zijn afgekoeld voordat de nieuwe tapping plaatsvindt.
De totale netto getapte hoeveelheid water is vrijwel gelijk (verschil is 1,5%). De resultaten van de simulatieberekeningen hebben vooral betrekking op het verschil in het aantal tappingen en de hoeveelheid water per tapping.

In de tabellen 8.1 tot en met 8.6 zijn de resultaten van de genoemde simulaties weergegeven.
Opgemerkt moet worden dat de in de tabellen 8.1 t/m 8.6 weergegeven uitkomsten niet rechtstreeks vergeleken mogen worden met de waarden in de tabellen 6.1 tot en met 6.3 (tappatronen verschillen ten aanzien van taphoeveelheden en tapfrequentie).

Het systeemrendement van de elektrische boiler met een inhoud van 120 liter is bij toepassing van tappatroonnummer 1 ca. 16%. De systeemrendementen van de grote badgeiser en de HR-ketel met CV-boiler zijn bij tappatroonnummer 1 ca. 34 respectievelijk 32% (zie tabel 8.1).
Het primaire energiegebruik in kubieke meters aardgasequivalent is bij de elektrische boiler ca. 2× zo hoog als bij de twee aardgas toestellen.

Bij toepassing van tappatroonnummer 4 nemen de systeemrendementen van de elektrische boiler ca. 4%, van de HR-ketel met CV-boiler met ca. 6% en van de badgeiser met ca. 8% af (absolute waarden). Ook hier blijkt dat het primaire energiegebruik van de elektrische boiler ca. 2× zo hoog is als het gemiddelde energiegebruik van de twee aardgas toestellen (zie tabel 8.2). Het energiegebruik van de badgeiser neemt meer toe dan dat van de HR-ketel.

De toename van het aantal tappingen van 25 naar 46, waarbij tevens de gemiddelde waterhoeveelheid per tapping (4 respectievelijk 2,2 liter/tapping) kleiner wordt (meer kleine tappingen, zie bijlage 3, resulteert in een lager systeemrendement (4-8% absoluut) en een forse toename van het energiegebruik met ca. 25-34%. Deze verschillen ten opzichte van tappatroonnummer 1 worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de leidingnetverliezen en eventuele startverliezen van het toestel, omdat als uitgangspunt gesteld is dat het leidingnet en eventueel het toestel voordat een nieuwe tapping plaatsvindt, tot omgevingstemperatuur is afgekoeld.

*Tabel 8.1 Rendement en primair energiegebruik over een etmaal bij toepassing van tappatroonnummer 1*

| Nr. | Warmtapwaterbereider met tappatroon nr. 1 | $Q_{tap}/Q_{vraag}$ % | Rendement op prim. energie (o.w.) | | Primair energie-verbruik $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | toestel % | systeem % | |
| 42 | elektrische boiler 120 l [1] | 93 | 31,9 | 16,2 | 3,39 |
| 43 | grote badgeiser | 95 | 55,4 | 33,6 | 1,68 |
| 44 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [2] | 94 | 58,3 | 31,9 | 1,75 |

1) continue elektriciteitslevering*
2) toestel zonder CV-functie

*Tabel 8.2 Rendement en primair energiegebruik over een etmaal bij toepassing van tappatroonnummer 4*

| Nr. | Warmtapwaterbereider met tappatroon nr. 1 | $Q_{tap}/Q_{vraag}$ % | Rendement op prim. energie (o.w.) | | Primair energie-verbruik $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | toestel % | systeem % | |
| 46 | elektrische boiler 120 l [1] | 92 | 33,4 | 12,4 | 4,49 |
| 47 | grote badgeiser | 99 | 54,1 | 25,3 | 2,26 |
| 48 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [2] | 93 | 63,0 | 25,7 | 2,19 |

1) continue elektriciteitslevering*
2) toestel zonder CV-functie
* Zoals uit tabel 6.1 blijkt, ligt het rendement van een nachtstroomboiler ongeveer 1,5% hoger ten opzichte van het rendement van een elektrischeboiler die overdag wordt bijverwarmd, vanwege de gemiddelde lagere watertemperatuur.

De milieubelasting door $CO_2$ per etmaal en per MJ netto getapte warmte is weergegeven in de tabellen 8.3 en 8.4. Hieruit blijkt dat de produktie van $CO_2$ bij de elektrische boiler met een inhoud van 120 liter bij toepassing van tappatroonnummer 1 en 4 ca. 2,6× hoger is dan bij gas (badgeiser en HR-ketel met CV-boiler).

De milieubelasting door $NO_x$ is bij de elektrische boiler bij toepassing van beide tappatronen ca. 14× hoger dan bij gas (badgeiser en HR-ketel met CV-boiler).

De milieubelasting door $SO_2$ is bij de elektrische boiler bij toepassing van tappatroonnummer 1 en 4 ca. 10 respectievelijk 13,5 gram per etmaal en ca. 590 respectievelijk 770 mg per MJ netto getapte warmte.
De $SO_2$-produktie (en tevens de CO-produktie) van de HR-ketel is verwaarloosbaar.

*Tabel 8.3 Milieubelasting over een etmaal bij toepassing van tappatroonnummer 1*

| Nr. | Warmtapwaterbereider met tappatroon nr. 1 | CO gr/24h | CO mg/24 h | $NO_x$ mg/24h | $SO_2$ mg/24h |
|---|---|---|---|---|---|
| 42 | elektrische boiler 120 l [1] | 7922 | – | 14949 | 10244 |
| 43 | grote badgeiser | 2992 | – | 1061 | – |
| 44 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [2] | 3122 | 4 | 1075 | 112 |

[1] continue elektriciteitslevering
[2] toestel zonder CV-functie

*Tabel 8.4 Milieubelasting over een etmaal bij toepassing van tappatroonnummer 4*

| Nr. | Warmtapwaterbereider met tappatroon nr. 4 | CO gr/24h | CO mg/24 h | $NO_x$ mg/24h | $SO_2$ mg/24h |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | elektrische boiler 120 l [1] | 10477 | – | 19770 | 13548 |
| 47 | grote badgeiser | 4022 | – | 1469 | – |
| 48 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [2] | 3919 | 5 | 1352 | 143 |

[1] continue elektriciteitslevering
[2] toestel zonder CV-functie

*Tabel 8.5 Milieubelasting per MJ netto getapte warmte bij toepassing van tappatroonnummer 1*

| Nr. | Warmtapwaterbereider met tappatroon nr. 1 | CO gr/MJ | CO mg/MJ | $NO_x$ mg/MJ | $SO_2$ mg/MJ |
|---|---|---|---|---|---|
| 42 | elektrische boiler 120 l [1] | 454 | – | 857 | 587 |
| 43 | grote badgeiser | 167 | – | 59 | – |
| 44 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [2] | 177 | – | 61 | 6 |

[1] continue elektriciteitslevering
[2] toestel zonder CV-functie

*Tabel 8.6 Milieubelasting per MJ netto getapte warmte bij toepassing van tappatroonnummer 4*

| Nr. | Warmtapwaterbereider met tappatroon nr. 4 | CO gr/MJ | CO mg/MJ | $NO_x$ mg/MJ | $SO_2$ mg/MJ |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | elektrische boiler 120 l [1] | 595 | – | 1122 | 769 |
| 47 | grote badgeiser | 222 | – | 81 | – |
| 48 | HR-ketel met CV-boiler 80 l [2] | 220 | – | 76 | 8 |

[1] continue elektriciteitslevering
[2] toestel zonder CV-functie

# 9 Conclusies

De hierna volgende conclusies zijn gebaseerd op het aangenomen tappatroon en leidingnet.

De warmtapwaterbereiding op aardgas geeft weliswaar een grote spreiding in het primaire energiegebruik (ca. 0,66 $m^3$/dag), doch het totale energiegebruik is gemiddeld 46% lager dan bij elektrische warmtapwaterbereiding.

De warmtapwaterbereiding op aardgas resulteert in een beduidend lagere milieubelasting dan bij de elektrische bereiding, met name ca. 59% minder $CO_2$ en ca. 89% minder $NO_x$. $SO_2$ wordt hierbij niet of nauwelijks (door toepassing van elektrische hulpenergie) geproduceerd.

De spreiding in de milieubelasting bij gastoestellen ($CO_2$ 56 g/MJ en $NO_x$ 90 mg/MJ) wordt in hoofdzaak bepaald door het soort toestel en het toegepaste brandersysteem.

**Gevoeligheidsanalyse op aanpassing van het standaard tappatroon**

Bij vermindering van de gewenste tapwaterhoeveelheid met ca. 10% bij een gelijkblijvend aantal tappingen, treedt een geringe daling op van het toestel- respectievelijk systeemrendement (op onderwaarde) bij elektrische toestellen van ca. 0,4 respectievelijk 0,8%.
Bij de gasgestookte toestellen treedt een verlaging op van de genoemde rendementen, variërend tussen 0,6 en 1,7% respectievelijk tussen en 1,8 en 2,5%.
De genoemde percentages zijn absoluut.

Bij het achterwege laten van twee tappingen met geringe waterhoeveelheid (0,1 liter/tapping) treedt bij elektrische toestellen een lichte daling van het toestelrendement op (gemiddeld 0,3%), terwijl het systeemrendement met ca. 0,7% toeneemt.
Bij de gasgestookte doorstroomtoestellen neemt het toestelrendement iets toe (ca. 0,3%), bij de overige gastoestellen treedt een verlaging op van 0,1 tot 0,7%. Het systeemrendement neemt bij alle gastoestellen toe met 0,3 tot 0,7%.

De energiegebruiken nemen bij de elektrische toestellen bij verlaging van de taphoeveelheid (met 10%) af met ca. 6,5%, Bij de overige toestellen varieert dit tussen 0,6 en 6,4% met een gemiddelde waarde van ca. 4,7% (relatieve waarden).

Bij achterwege blijven van twee kleine tappingen (0,1 liter/tapping) nemen de energiegebruiken bij de elektrische toestellen af met ca. 3,4%, Bij de overige toestellen varieert dit tussen 0,7 en 3,5% met een gemiddelde waarde van ca. 2,4% (relatieve waarden).

Bij vermindering van de taphoeveelheid met 10% nemen de $CO_2$- en $NO_x$-emissie (relatief) toe met waarden tussen ca. 3,5 en 7%.

Bij achterwege blijven van de twee kleine tappingen nemen de $CO_2$- en $NO_x$-emissies (relatief) af met waarden van ca. 3,2% bij elektrische toestellen en ca. 2,2% bij de overige toestellen.

**Installatiewijziging**

Vervanging van een keukengeiser door een elektrische boiler met 80 liter inhoud, geplaatst in de keuken, resulteert bij toepassing van het standaard tappatroon in een ca. 27% lager systeemrendement en een toename van het energiegebruik met 1,33 $m^3$/dag (ca. 95% meer).

**Invloed van de elektriciteitsopwekking**

Bij de warmtapwaterbereiding door een elektrische boiler (80 l) met elektriciteitslevering door een **gasgestookte centrale** en bij toepassing van het standaard tappatroon wordt ca. 6% minder energie verbruikt (ca. 0,2 $m^3$ aardgasequivalent/dag) ten opzichte van de elektriciteitsopwekking met een gemiddelde brandstofmix [2]. De $CO_2$- en $NO_x$-produktie nemen met ca. 29 respectievelijk 23% af. $SO_2$ wordt bij deze elektriciteitsopwekking niet geproduceerd.

Indien de elektriciteit wordt geleverd door een **centrale met een netto rendement van 45%**, zal bij toepassing van een elektrische boiler (80 l) ca. 15% minder energie worden verbruikt (ca. 0,5 $m^3$ aardgasequivalent/dag) dan bij toepassing van een centrale met een gemiddeld netto rendement van 38,1% en emissies volgens de brandstofmix [2]. De milieubelasting neemt eveneens met ca. 15% af.

Het effect van bovengenoemde wijzen van elektriciteitslevering op de warmtapwaterbereiding door een HR-combi ketel is absoluut gezien verwaarloosbaar.

**Toepassing van andere tappatronen**

Bij de warmtapwaterbereiding van ca. 100 l warmwater van 55 °C verdeeld over 25 respectievelijk 46 tappingen per dag [6], blijkt dat het primaire energiegebruik van een elektrische boiler (120 l) voor beide tappatronen ca. 2× zo hoog is als het gemiddelde energiegebruik van een grote badgeiser en een HR-ketel met CV-boiler.

De toename van het aantal tappingen van 25 naar 46, waarbij tevens de gemiddelde waterhoeveelheid per tapping (4 respectievelijk 2,2 liter/tapping) kleiner wordt, resulteert in een lager systeemrendement (4-8% absoluut) en een forse toename van het energiegebruik met ca. 25-34%.
Deze verschillen worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de leidingnetverliezen (afkoeling van de leiding tot omgevingstemperatuur na elke tapping) en eventuele startverliezen van het toestel.

# 10 Referenties

[1] KIWA mededeling nr. 110
Technische aspecten van warmwatervoorzieningen

[2] Gebruiksrendement 4e druk 1981
Gezamenlijke uitgave van:
VEG-GASINSTITUUT n.v.
CTI-TNO, afdeling Warmte- en Koudetechniek
N.V. Nederlandse Gasunie
N.V. Bouwfonds Nederlandse Gemeenten

[3] Elektriciteit in Nederland 1990
Brandstof-/emissiegegevens centrales 1990

[4] Handleiding programma warmwatervoorziening TAPSIM versie 1.3a
J. van Wolferen
TNO-rapport nr. 91-321, september 1991

[5] Vadas, The VECTRA-ASYST data-aquisition system
J. Boot, H. Schiphouwer
MT-TNO, Apeldoorn, 1990

[6] Vergelijking Milieuaspecten Warmtapwatertoestellen
De Beijer Raadgevend Technisch Bureau B.V.
Arnhem/Groessen, maart 1990

# 11 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
NV Nederlandse Gasunie
Energieweg 17
9743 AN Groningen

VEG-GASINSTITUUT n.v.
Wilmersdorf 50
7327 AC Apeldoorn

Namen en functies van deTNO medewerkers
G.J. Afink – onderzoekleider
G. Wentink – onderzoekmedewerker
J. van Wolferen – onderzoekmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed
Niet van toepassing

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
januari – september 1991

Ondertekening

G.J. Afink
onderzoekleider

Goedgekeurd door

Ir. L. van der Snoek
werkgroepleider

# Bijlage 1 Meetresultaten toestelonderzoek

*Meetresultaten toegeleverde tapwatertoestellen (belastingen, rendementen op b.w.)*

| Toestel | | Tapdebiet [l/min] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | max. | $2\frac{1}{2}$ | $3\frac{1}{2}$ | 6 |
| **Inventum RPV 10** | | | | | |
| vermogen | kW | 1,8 | | | |
| rendement | % | 97,4 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 85,0 | | | |
| stilst.verlies | % | 2,2 | | | |
| aanspreekvolume | l | 4,0 | | | |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | | | |
| **Vaillant MAG 135/7 TSO/17** | | | | | |
| max. debiet | l/min | 2,4 | | | |
| belasting | kW | 12,6 | | | |
| rendement | % | 73,4 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 69,0 | | | |
| stilst.verlies | % | 0,89 | | | |
| wachttijd toestel | s | 12,0 | | | |
| wachttijd brander | s | 3,6 | | | |
| looptijd 1 br.verb [1)] | s | 3,4 | | | |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 35,83 | | | |
| emissie CO | mg/MJ | 30,7 | | | |
| **Fasto F 2755A** | | | | | |
| max. debiet | l/min | 6,3 | | | |
| belasting | kW | 24,54 | 11,1 | 15,4 | 22,6 |
| rendement | % | 80,4 | 76,8 | 78,9 | 80,6 |
| toesteltemperatuur | °C | 62,0 | 62,0 | 62,0 | 62,0 |
| stilst.verlies | % | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| wachttijd toestel | s | 17,0 | 16,0 | 14,0 | 16,0 |
| wachttijd brander | s | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 |
| looptijd 1 br.verb [1)] | s | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 41,2 | 27,4 | 35,9 | 40,8 |
| emissie CO | mg/MJ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| **Junkers WR 400KT** | | | | | |
| max. debiet | l/min | 8,0 | | | |
| belasting | kW | 35,8 | 12,5 | 17,5 | 26,5 |
| rendement | % | 75,5 | 68,9 | 71,5 | 74,5 |
| toesteltemperatuur | °C | 62,0 | 62,0 | 62,0 | 62,0 |
| stilst.verlies | % | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| wachttijd toestel | s | 12,0 | 8,0 | 9,0 | 11,0 |
| wachttijd brander | s | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| looptijd 1 br.verb [1)] | s | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 34,3 | 17,1 | 20,7 | 27,3 |
| emissie CO | mg/MJ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

1) looptijd brandstofverbruik in wachttijd brander op basis van nom. gasverbruik.

*Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding*
*Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen*

*Meetresultaten toegeleverde tapwatertoestellen (belastingen, rendementen op b.w.)*

| Toestel | | Tapdebiet [l/min] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | max. | $2\frac{1}{2}$ | $3\frac{1}{2}$ | 6 |
| **Daalderop 80/250 DUO** | | | | | |
| vermogen | kW | 2,76 | | | |
| rendement | % | 98,0 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 85,0 | | | |
| stilst. verlies | % | 2,1 | | | |
| aanspreekvolume | l | 22,0 | | | |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | | | |
| Daalderop 120/250 DUO | | | | | |
| vermogen | kW | 3,25 | | | |
| rendement | % | 98,0 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 85,0 | | | |
| stilst. verlies | % | 2,36 | | | |
| aanspreekvolume | l | 28,0 | | | |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | | | |
| **AO Smith T PGCS 30T** | | | | | |
| belasting | kW | 8,6 | | | |
| rendement | % | 76,7 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 65,0 | | | |
| stilst.verlies | % | 2,9 | | | |
| aanspreekvolume | l | 27,0 | | | |
| wachttijd | s | – | | | |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 29,4 | | | |
| emissie CO | mg/MJ | 0,0 | | | |
| **HA-ES Kiddy 18 VRW** | | | | | |
| max. debiet | l/min | 5,0 | | | |
| belasting | kW | 22,8 | 12,9 | 18,4 | |
| rendement | % | 78,4 | 74,4 | 78,3 | |
| toesteltemperatuur | °C | 65,0 | 65,0 | 65,0 | |
| stilst.verlies | % | 0,6 | 0,6 | 0,6 | |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| wachttijd brander | s | 12,0 | 12,0 | 12,0 | |
| looptijd 1 br.verb [1] | s | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| el.vermogen vent. | W | 50,0 | 50,0 | 50,0 | |
| el.vermogen pomp | W | 87,0 | 87,0 | 87,0 | |
| nadraaitijd vent [2] | s | 15,0 | 15,0 | 15,0 | |
| nadraaitijd pomp | s | 180,0 | 180,0 | 180,0 | |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 40,4 | 37,7 | 39,3 | |
| emissie CO | mg/MJ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |

[1] looptijd brandstofverbruik in wachttijd brander op basis van nom. gasverbruik.
[2] eventuele draaitijd in voorventilatie wordt bij nadraaitijd geteld.

*Meetresultaten toegeleverde tapwatertoestellen (belastingen, rendementen op b.w.)*

| Toestel | | Tapdebiet [l/min] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | max. | $2\frac{1}{2}$ | $3\frac{1}{2}$ | 6 |
| **ATAG CMA 652** | | | | | |
| max. debiet | l/min | 7,0 | | | |
| belasting | kW | 30,2 | 12,0 | 15,4 | 27,1 |
| rendement | % | 82,8 | 76,7 | 81,8 | 82,4 |
| toesteltemperatuur | °C | 62,0 | 62,0 | 62,0 | 62,0 |
| stilst.verlies | % | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| wachttijd brander | s | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| looptijd 1 br.verb [1] | s | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 |
| el.vermogen vent. | W | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 |
| el.vermogen pomp | W | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 |
| nadraaitijd vent [2] | s | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| nadraaitijd pomp | s | 300,0 | 300,0 | 300,0 | 300,0 |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 6,9 | 2,2 | 2,9 | 4,9 |
| emissie CO | mg/MJ | 16,8 | 10,8 | 10,8 | 14,8 |
| **Radson ER 160e + INVENTUM CV 80** | | | | | |
| belasting | kW | 23,4 | | | |
| rendement | % | 73,0 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 75,0 | | | |
| stilst.verlies | % | 1,1 | | | |
| aanspreekvolume | l | 23,0 | | | |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | | | |
| wachttijd brander | s | 6,0 | | | |
| looptijd 1 br.verb [1] | s | 4,8 | | | |
| looptijd 2 br.verb [3] | s | 35,0 | | | |
| el.vermogen vent. | W | – | | | |
| el.vermogen pomp | W | 78,0 | | | |
| nadraaitijd vent [2] | s | – | | | |
| nadraaitijd pomp | s | 450,0 | | | |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 33,3 | | | |
| emissie CO | mg/MJ | 0,0 | | | |

1) looptijd brandstofverbruik in wachttijd brander op basis van nom. gasverbruik.
2) eventuele draaitijd in voorventilatie wordt bij nadraaitijd geteld.
3) looptijd brandstofverbruik tot begin warmteoverdracht op basis van nominaal gasverbruik (opwarmen prim. circuit).

*Meetresultaten toegeleverde tapwatertoestellen (belastingen, rendementen op b.w.)*

| Toestel | | Tapdebiet [l/min] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | max. | $2\frac{1}{2}$ | $3\frac{1}{2}$ | 6 |
| **NEFIT TURBO 21** | | | | | |
| combi HR | | | | | |
| belasting | kW | 21,8 | | | |
| rendement | % | 83,5 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 72,0 | | | |
| stilst.verlies | % | 0,28 | | | |
| aanspreekvolume | l | 5,5 | | | |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | | | |
| wachttijd brander | s | 23,0 | | | |
| looptijd br.verb [1] | s | 0,32 | | | |
| looptijd br.verb [2] | s | 20,0 | | | |
| el.vermogen vent. | W | 52,0 | | | |
| el.vermogen pomp | W | 73,0 | | | |
| nadraaitijd vent [3] | s | 21,0 | | | |
| nadraaitijd pomp | s | 180,0 | | | |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 14,4 | | | |
| emissie CO | mg/MJ | 0,06 | | | |
| **NEFIT TURBO 21 HR + INVENTUM CV 80** | | | | | |
| belasting | kW | 20,7 | | | |
| rendement | % | 81,5 | | | |
| toesteltemperatuur | °C | 75,0 | | | |
| stilst.verlies | % | 0,97 | | | |
| aanspreekvolume | l | 20,0 | | | |
| wachttijd toestel | s | 0,0 | | | |
| wachttijd brander | s | 22,0 | | | |
| looptijd br.verb [1] | s | 0,31 | | | |
| looptijd br.verb [2] | s | 30,0 | | | |
| el.vermogen vent. | W | 50,0 | | | |
| el.vermogen pomp | W | 75,0 | | | |
| nadraaitijd vent [3] | s | 21,0 | | | |
| nadraaitijd pomp | s | 180,0 | | | |
| emissie $NO_x$ | mg/MJ | 15,2 | | | |
| emissie CO | mg/MJ | 0,07 | | | |

[1] looptijd brandstofverbruik in wachttijd brander op basis van nom.gasverbruik.
[2] looptijd brandstofverbruik tot begin warmteoverdracht op basis van nominaal gasverbruik (opwarmen prim. circuit).
[3] eventuele draaitijd in voorventilatie wordt bij nadraaitijd geteld.

# Bijlage 2 Resultaten systeemsimulaties

Omschrijving van de installaties:

1. keukengeiser met voeding keukentappunt, vast debiet
2. keukenboiler 10 l met voeding keukentappunt, vast debiet
3. keukengeiser met voeding keuken- en badkamertappunt, vast debiet
4. kleine badgeiser met voeding keuken- en badkamertappunt, vast debiet, zolderopstelling
5. grote badgeiser met voeding keuken- en badkamertappunt, vast debiet, zolderopstelling
6. elektrische boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt, 24 uren vrijgave
7. elektrische boiler 80 l met voeding badkamertappunt, 24 uren vrijgave
8. elektrische boiler 120 l met voeding keuken- en badkamertappunt, 24 uren vrijgave
9. elektrische boiler 120 l met voeding badkamertappunt, 24 uren vrijgave
10. elektrische boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt, 8 uren vrijgave
11. elektrische boiler 80 l met voeding badkamertappunt, 8 uren vrijgave
12. elektrische boiler 120 l met voeding keuken- en badkamertappunt, 8 uren vrijgave
13. elektrische boiler 120 l met voeding badkamertappunt, 8 uren vrijgave
14. gasboiler 112 l met voeding keuken- en badkamertappunt
15. combi doorstroom klein met voeding keuken- en badkamertappunt zonder CV-functie
16. VR combi doorstroom groot met voeding keuken- en badkamertappunt zonder CV-functie
17. keukengeiser ten behoeve van voeding keukentappunt + elektrische boiler 80 l ten behoeve van voeding badkamer
18. keukengeiser ten behoeve van voeding keukentappunt + elektrische boiler 120 l ten behoeve van voeding badkamer
19. keukenboiler 10 l ten behoeve van voeding keukentappunt + elektrische boiler 80 l ten behoeve van voeding badkamer
20. keukenboiler 10 l ten behoeve van voeding keukentappunt + elektrische boiler 120 l ten behoeve van voeding badkamer
21. VR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt
22. HR-combi met kleine voorraad met voeding keuken- en badkamertappunt
23. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt
24. combi doorstroom klein met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie
25. VR combi doorstroom groot met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie
26. VR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie
27. HR-combi met kleine voorraad met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie
28. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie
29. VR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding badkamertappunt
30. VR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding badkamertappunt met CV-functie

31. HR-combi met kleine voorraad met voeding badkamertappunt
32. HR-combi met kleine voorraad met voeding badkamertappunt met CV-functie
33. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding badkamertappunt
34. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding badkamertappunt met CV-functie

Installaties met wisselende uitgangspunten ten aanzien van het tappatroon en/of elektriciteitsopwekking

35. elektrische boiler 80 l, opstelling keuken, voeding keuken (2 m lengte) en badkamer (7,3 m lengte)
36. elektrische boiler 80 l, voeding keuken- en badkamertappunt, elektriciteitslevering door gasgestookte centrale
37. HR-combi met kleine voorraad met voeding keuken- en badkamertappunt zonder CV-functie, elekticiteitslevering door gasgestookte centrale
38. HR-combi met kleine voorraad met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie, elekticiteitslevering door gasgestookte centrale
39. elektrische boiler 80 l, voeding keuken- en badkamertappunt, elekticiteitslevering door centrale met netto rendement = 45%, emissiegegevens SEP 1990
40. HR-combi met kleine voorraad met voeding keuken- en badkamertappunt zonder CV-functie, elekticiteitslevering door centrale met netto rendement = 45%, emissiegegevens SEP 1990
41. HR-combi met kleine voorraad met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie, elekticiteitslevering door centrale met netto rendement = 45%, emissiegegevens SEP 1990

Installaties met afwijkend tappatroon volgens [6] (te weten tappatroon 1 en 4) en emissiegegevens SEP 1990:

42. elektrische boiler 120 l met voeding keuken- en badkamertappunt, tappatroon 1, 24 uren vrijgave
43. grote badgeiser met voeding keuken- en badkamertappunt, tappatroon 1
44. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt zonder CV-functie, tappatroon 1
45. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie, tappatroon 1
46. elektrische boiler 120 l met voeding keuken- en badkamertappunt, tappatroon 4, 24 uren vrijgave
47. grote badgeiser met voeding keuken- en badkamertappunt, tappatroon 4
48. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt zonder CV-functie, tappatroon 4
49. HR-ketel met CV-boiler 80 l met voeding keuken- en badkamertappunt met CV-functie, tappatroon 4

*Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding*
*Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen*

| installatienummer | | 1) | 2) | 3) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 39,20 | 39,20 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 36,54 | 28,75 | 98,07 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 11,65 | 0,60 | 20,26 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 48,19 | 29,35 | 118,69 |
| toesteltemperatuur | °C | 69 | 85 | 69 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 9,03 | 9,03 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 9,03 | 9,00 | 23,68 |
| tapopbrengst netto/ gevraagd | 100 | 99,59 | 97,68 | |
| tapopbrengst verlies | MJ | 0 | 0,01 | 0,54 |
| leidingverlies | MJ | 0 | 0,22 | 1,55 |
| afgifte toestel | MJ | 9,03 | 9,22 | 25,77 |
| brandstofverbruik | MJ | 25,52 | 12,66 | 49,01 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 23,03 | 33,22 | 44,23 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 0,73 | 1,05 | 1,40 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | 38,1 | - |
| rend. sys & centr ow | % | 39,2 | 27,1 | 53,5 |
| rend. toestel & centr ow | % | 39,2 | 27,8 | 58,3 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 1291,9 | 2447,3 | 2480,7 |
| emissie CO | mg | 783,5 | 0 | 1504,5 |
| emissie $NO_x$ | mg | 914,4 | 4618,1 | 1755,9 |
| emissie $SO_2$ | mg | 0 | 3164,6 | 0 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 143,0 | 272 | 104,8 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 86,7 | 0 | 63,5 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 101,2 | 513,3 | 74,2 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 0 | 351,7 | 0 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | | | |

1 keukengeiser, voeding keuken
2) elektrische keukenboiler, voeding keuken
3) keukengeiser, voeding keuken + badkamer

*Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding*
*Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen*

| installatienummer | | 4) | 5) | 6) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 105,2 | 105,2 | 77,15 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 79,93 | 73,66 | 29,08 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 185,13 | 178,86 | 106,22 |
| toesteltemperatuur | °C | 62 | 62 | 85 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 22,00 | 22,00 | 22,82 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 90,73 | 90,73 | 94,13 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 8,11 | 8,11 | 1,96 |
| leidingverlies | MJ | 5,66 | 5,66 | 8,60 |
| afgifte toestel | MJ | 35,77 | 35,77 | 33,38 |
| brandstofverbruik | MJ | 64,51 | 69,82 | 38,97 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 58,22 | 63,00 | 102,29 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,84 | 1,99 | 3,23 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | - | 38,1 |
| rend. sys & centr ow | % | 37,8 | 34,9 | 22,3 |
| rend. toestel & centr ow | % | 61,4 | 56,8 | 32,6 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 3265,7 | 3534,1 | 7534,9 |
| emissie CO | mg | 0 | 0 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 1802,7 | 1342,1 | 14218,7 |
| emissie $SO_2$ | mg | 0 | 0 | 9743,4 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 148,5 | 160,7 | 330,2 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 82,0 | 61,0 | 623,1 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 427 |

4) kleine badgeiser, zolderopstelling
5) grote badgeiser, zolderopstelling
6) elektrische boiler 80 l, zolderopstelling, 24 uren vrijgave

| installatienummer | | 7) | 8) | 9) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 66,0 | 105,2 | 66,0 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 48,4 | 77,15 | 48,4 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 10,42 | 29,08 | 10,42 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 58,82 | 106,22 | 58,82 |
| toesteltemperatuur | °C | 85 | 85 | 85 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 15,21 | 24,24 | 15,21 |
| tapopbrengst netto | MJ | 14,48 | 22,82 | 14,48 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,19 | 94,13 | 95,19 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 1,21 | 1,96 | 1,21 |
| leidingverlies | MJ | 2,80 | 8,60 | 2,80 |
| afgifte toestel | MJ | 18,49 | 33,38 | 18,49 |
| brandstofverbruik | MJ | 23,84 | 40,11 | 25,17 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 62,56 | 105,27 | 66,05 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,97 | 3,32 | 2,09 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | 38,1 | 38,1 | 38,10 |
| rend. sys & centr ow | % | 23,1 | 21,7 | 21,9 |
| rend. toestel & centr ow | % | 29,6 | 31,7 | 28,0 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 4608,2 | 7754,4 | 4865,3 |
| emissie CO | mg | 0 | 0 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 8695,9 | 14632,9 | 9181 |
| emissie $SO_2$ | mg | 5958,9 | 10027,2 | 6291,3 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 318,3 | 339,8 | 336,1 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 600,6 | 641,3 | 634,1 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 411,6 | 439,4 | 434,6 |

7) elektrische boiler 80 l, voeding badkamer, zolderopstelling, 24 uren vrijgave
8) elektrische boiler 120 l, zolderopstelling 24 uren vrijgave
9) elektrische boiler 120 l, voeding badkamer, zolderopstelling, 8 uren vrijgave

*Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding*
*Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen*

| installatienummer | | 10) | 11) | 12) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,20 | 66,00 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 54,69 | 51,68 | 81,42 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 25,31 | 10,42 | 29,08 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 80,00 | 62,10 | 110,50 |
| toesteltemperatuur | °C | 85 | 85 | 85 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 15,21 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 15,62 | 14,53 | 22,90 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 64,43 | 95,52 | 94,46 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 1,52 | 1,17 | 1,94 |
| leidingverlies | MJ | 7,13 | 2,60 | 8,11 |
| afgifte toestel | MJ | 24,27 | 18,29 | 32,95 |
| brandstofverbruik | MJ | 27,36 | 22,28 | 37,54 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 71,81 | 58,49 | 98,54 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 2,27 | 1,85 | 3,11 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | 38,1 | 38,1 | 38,1 |
| rend. sys & centr ow | % | 21,8 | 24,8 | 23,2 |
| rend. toestel & centr ow | % | 33,8 | 31,3 | 33,4 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 5289,7 | 4308,4 | 7258,4 |
| emissie CO | mg | 0 | 0 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 9981,9 | 8130,2 | 13697 |
| emissie $SO_2$ | mg | 6840,1 | 5929,8 | 9385,9 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 338,6 | 315,8 | 317,0 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 639 | 595,8 | 598,1 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 437,9 | 408,3 | 409,9 |

10) elektrische boiler 80 l, zolderopstelling, 8 uren vrijgave
11) elektrische boiler 80 l, voeding badkamer, zolderopstelling, 8 uren vrijgave
12) elektrische boiler 120 l, zolderopstelling, 8 uren vrijgave

| installatienummer | | 13) | 14) | 15) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 66,00 | 105,20 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 51,31 | 105,20 | 105,2 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 10,42 | 55,70 | 66,46 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 61,73 | 160,90 | 171,66 |
| toesteltemperatuur | °C | 85 | 65 | 65 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 15,21 | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 14,52 | 23,25 | 23,25 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,49 | 95,92 | 95,92 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 1,17 | 7,77 | 6,59 |
| leidingverlies | MJ | 2,62 | 6,06 | 6,05 |
| afgifte toestel | MJ | 18,31 | 37,08 | 35,89 |
| brandstofverbruik | MJ | 23,72 | 68,13 | 60,40 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 62,26 | 61,39 | 56,98 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,97 | 1,94 | 1,80 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | 38,1 | - | - |
| rend. sys & centr ow | % | 23,3 | 37,9 | 40,8 |
| rend. toestel & centr ow | % | 29,4 | 60,4 | 63,0 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 4585,7 | 3443,5 | 3240 |
| emissie CO | mg | 0 | 0 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 8653,5 | 2000,0 | 2606,7 |
| emissie $SO_2$ | mg | 5929,8 | 0 | 236,3 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 315,8 | 148,1 | 139,3 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 595,8 | 86,0 | 112,1 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 408,3 | 0 | 10,2 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | | | 0,95 |

13) elektrische boiler 120 l, voeding badkamer, zolderopstelling, 8 uren vrijgave
14) gasboiler 112 l, zolderopstelling
15) combi-ketel doorstroom kleine capaciteit, zolderopstelling, zonder CV-functie

| installatienummer | | 16) | 17) | 18) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 105,2 | 84,94 | 84,94 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 62,26 | 22,07 | 22,07 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 167,46 | 107,01 | 107,01 |
| toesteltemperatuur | °C | 62 | 69/85 | 69/85 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 22,00 | 23,51 | 23,51 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 90,73 | 96,99 | 96,99 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 8,39 | 1,21 | 1,21 |
| leidingverlies | MJ | 5,66 | 2,8 | 2,8 |
| afgifte toestel | MJ | 36,05 | 27,52 | 27,52 |
| brandstofverbruik | MJ | 54,70 | 49,36 | 50,69 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 51,78 | 85,59 | 89,08 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,63 | 2,7 | 2,82 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | | |
| rend. sys & centr ow | % | 42,5 | 27,5 | 26,4 |
| rend. toestel & centr ow | % | 69,6 | 32,2 | 30,9 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 2946,9 | 5900,1 | 6157,2 |
| emissie CO | mg | 624,5 | 783,5 | 783,5 |
| emissie $NO_x$ | mg | 490,1 | 9610,3 | 10095,4 |
| emissie $SO_2$ | mg | 229,9 | 5958,9 | 6291,3 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 134,0 | 251,0 | 261,9 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 28,4 | 33,3 | 33,3 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 22,3 | 408,8 | 429,4 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 10,5 | 253,5 | 267,6 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,92 | | |

16) VR-combi ketel doorstroom grote capaciteit, zolderopstelling, zonder CV-functie
17) keukengeiser + elektrische boiler 80 l
18) keukengeiser + elektrische boiler 120 l

| installatienummer | | 19) | 20) | 21) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 77,15 | 77,15 | 89,02 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 11,02 | 11,02 | 32,36 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 88,17 | 88,17 | 121,37 |
| toesteltemperatuur | °C | 85 | 85 | 75 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 23,48 | 23,48 | 23,04 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 96,86 | 96,86 | 95,02 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 1,22 | 1,22 | 2,72 |
| leidingverlies | MJ | 3,02 | 3,02 | 7,3 |
| afgifte toestel | MJ | 27,71 | 27,71 | 33,06 |
| brandstofverbruik | MJ | 36,50 | 37,83 | 71,0 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 95,78 | 99,27 | 65,26 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 3,02 | 3,14 | 2,06 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | | |
| rend. sys & centr ow | % | 24,5 | 23,7 | 35,3 |
| rend. toestel & centr ow | % | 28,9 | 27,9 | 50,7 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 7055,5 | 7312,6 | 3681,3 |
| emissie CO | mg | 0 | 0 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 13314 | 13799,1 | 2529,1 |
| emissie $SO_2$ | mg | 9123,5 | 9455,9 | 113,0 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 300,5 | 311,4 | 159,8 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 567,0 | 587,7 | 109,8 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 388,6 | 402,7 | 4,9 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | | | 0,45 |

19) elektrische keukenboiler 10 l + elektrische boiler 80 l
20) elektrische keukenboiler 10 l + elektrische boiler 120 l
21) VR-ketel met CV boiler 80 l, zonder CV-functie

| installatienummer | | 22) | 23) |
|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 93,3 | 89,02 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 32,4 | 32,36 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 125,7 | 121,37 |
| toesteltemperatuur | °C | 72 | 75 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 23,1 | 23,04 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,29 | 95,02 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 2,65 | 2,72 |
| leidingverlies | MJ | 6,89 | 7,30 |
| afgifte toestel | MJ | 32,65 | 33,06 |
| brandstofverbruik | MJ | 49,36 | 61,10 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 45,64 | 56,32 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,44 | 1,78 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | |
| rend. sys & centr ow | % | 50,6 | 40,9 |
| rend. toestel & centr ow | % | 71,3 | 58,7 |
| emissie centr + toestel | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 2579,1 | 3180,0 |
| emissie CO | mg | 3 | 3,8 |
| emissie $NO_x$ | mg | 862,5 | 1092,8 |
| emissie $SO_2$ | mg | 103,9 | 112,4 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 111,7 | 138,0 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0,1 | 0,2 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 37,3 | 47,4 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 4,5 | 4,9 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,42 | 0,45 |

22) HR-combi ketel met voorraad 25 l, zonder CV-functie
23) HR-ketel met CV boiler 80 l, zonder CV-functie

| installatienummer | | 24) | 25) | 26) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 105,2 | 105,2 | 89,02 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 66,46 | 62,26 | 32,36 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 171,66 | 167,46 | 121,37 |
| toesteltemperatuur | °C | 65 | 62 | 75 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 23,25 | 22,00 | 23,04 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,92 | 90,73 | 95,02 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 6,59 | 8,39 | 2,72 |
| leidingverlies | MJ | 6,05 | 5,66 | 7,30 |
| afgifte toestel | MJ | 35,89 | 36,05 | 33,06 |
| brandstofverbruik | MJ | 48,76 | 47,21 | 71,0 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 45,41 | 43,9 | 64,69 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,43 | 1,39 | 2,04 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | | |
| rend. sys & centr ow | % | 51,2 | 50,14 | 35,6 |
| rend. toestel & centr ow | % | 79,1 | 82,1 | 51,1 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 2571,8 | 2485,0 | 3639,7 |
| emissie CO | mg | 0 | 516,0 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 2057,3 | 300,6 | 2450,6 |
| emissie $SO_2$ | mg | 134,0 | 123,3 | 59,1 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 110,6 | 113,0 | 158,0 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0,0 | 23,5 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 88,5 | 13,7 | 106,4 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 5,8 | 5,6 | 2,6 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,54 | 0,49 | 0,24 |

24) combi-ketel doorstroom kleine capaciteit, met CV-functie
25) VR-combi ketel doorstroom grote capaciteit, met CV-functie
26) VR-ketel met CV boiler 80 l, met CV-functie

| installatienummer | | 27) | 28) |
|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 93,22 | 89,02 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 32,36 | 32,36 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 125,68 | 121,37 |
| toesteltemperatuur | °C | 72 | 75 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 23,10 | 23,04 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,29 | 95,02 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 2,65 | 2,72 |
| leidingverlies | MJ | 6,89 | 7,30 |
| afgifte toestel | MJ | 32,65 | 33,06 |
| brandstofverbruik | MJ | 49,36 | 61,10 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 45,32 | 56,13 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,43 | 1,77 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | |
| rend. sys & centr ow | % | 51,0 | 41,0 |
| rend. toestel & centr ow | % | 72,0 | 58,9 |
| emissie centr + toestel | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 2556,0 | 3165,6 |
| emissie CO | mg | 3,0 | 3,8 |
| emissie $NO_x$ | mg | 818,9 | 1065,7 |
| emissie $SO_2$ | mg | 74,0 | 93,8 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 110,7 | 137,4 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0,1 | 0,2 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 35,5 | 46,3 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 3,2 | 4,1 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,30 | 0,38 |

27) HR-combi ketel met voorraad 25 l, met CV-functie
28) HR-ketel met CV boiler 80 l, met CV-functie

| installatienummer | | 29) | 30) | 31) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 66,0 | 66,0 | 66,0 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 55,85 | 55,85 | 54,53 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 10,42 | 10,42 | 10,42 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 66,27 | 66,27 | 64,77 |
| toesteltemperatuur | °C | 75 | 75 | 72 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 15,21 | 15,21 | 15,21 |
| tapopbrengst netto | MJ | 14,59 | 14,59 | 13,57 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | | | |
| tapopbrengst verlies | MJ | 1,10 | 1,10 | 1,06 |
| leidingverlies | MJ | 2,36 | 2,36 | 2,19 |
| afgifte toestel | MJ | 18,05 | 18,05 | 16,83 |
| brandstofverbruik | MJ | 48,71 | 48,71 | 26,57 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 44,71 | 44,38 | 24,53 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,41 | 1,40 | 0,77 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | | |
| rend. sys & centr ow | % | 32,6 | 32,9 | 55,3 |
| rend. toestel & centr ow | % | 40,4 | 40,7 | 68,6 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 2520,8 | 2497,0 | 1385,4 |
| emissie CO | mg | 0 | 0 | 1,6 |
| emissie $NO_x$ | mg | 1726,2 | 1681,2 | 458,9 |
| emissie $SO_2$ | mg | 71,4 | 40,6 | 52,3 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 172,8 | 171,1 | 102,1 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 0,1 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 118,3 | 115,2 | 33,8 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 4,9 | 2,8 | 3,9 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,29 | 0,16 | 0,21 |

29) VR-ketel met CV boiler 80 l, voeding badkamer, zonder CV-functie
30) VR-ketel met CV boiler 80 l, voeding badkamer, met CV-functie
31) HR-combi ketel met voorraad 25 l, voeding badkamer, zonder CV-functie

| installatienummer | | 32) | 33) | 34) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 66,0 | 66,0 | 66,0 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 54,35 | 55,85 | 55,85 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 10,42 | 10,42 | 10,42 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 64,77 | 66,27 | 66,27 |
| toesteltemperatuur | °C | 72 | 75 | 75 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 15,21 | 15,21 | 15,21 |
| tapopbrengst netto | MJ | 13,57 | 14,59 | 14,59 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 89,23 | 95,93 | 95,93 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 1,06 | 1,10 | 1,10 |
| leidingverlies | MJ | 2,19 | 2,36 | 2,36 |
| afgifte toestel | MJ | 16,83 | 18,05 | 18,05 |
| brandstofverbruik | MJ | 26,57 | 40,72 | 40,72 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 24,39 | 37,50 | 37,40 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 0,77 | 1,18 | 1,18 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | - | | |
| rend. sys & centr ow | % | 55,7 | 38,9 | 39,0 |
| rend. toestel & centr ow | % | 69,0 | 48,1 | 48,3 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 1375,2 | 2117,0 | 2109,1 |
| emissie CO | mg | 1,6 | 2,5 | 2,5 |
| emissie $NO_x$ | mg | 439,8 | 724,5 | 709,7 |
| emissie $SO_2$ | mg | 39,2 | 72,4 | 62,3 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 101,3 | 145,1 | 144,6 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 32,4 | 49,7 | 48,6 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 2,9 | 5,0 | 4,3 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,16 | 0,29 | 0,25 |

32) HR-combi ketel met voorraad 25 l, voeding badkamer, met CV-functie
33) HR-ketel met CV boiler 80 l, voeding badkamer, zonder CV-functie
34) HR-ketel met CV boiler 80 l, voeding badkamer, met CV-functie

| installatienummer | | 35) | 36) | 37) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 77,15 | 77,15 | 93,32 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 10,39 | 29,08 | 32,36 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 87,53 | 106,22 | 125,68 |
| toesteltemperatuur | °C | 85 | 85 | 72 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 23,24 | 22,82 | 23,1 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,85 | 94,13 | 95,29 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 0,92 | 1,96 | 2,65 |
| leidingverlies | MJ | 3,35 | 8,6 | 6,89 |
| afgifte toestel | MJ | 27,51 | 33,38 | 32,65 |
| brandstofverbruik | MJ | 32,99 | 38,97 | 49,36 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 86,6 | 96,23 | 45,57 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 2,73 | 3,04 | 1,44 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | 38,1 | 40,5 | 40,5 |
| rend. sys & centr ow | % | 26,8 | 23,7 | 50,7 |
| rend. toestel & centr ow | % | 31,8 | 34,7 | 71,6 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 6378,7 | 5368,4 | 2556,0 |
| emissie CO | mg | 0 | 0 | 3 |
| emissie $NO_x$ | mg | 12036,9 | 10874,1 | 826,8 |
| emissie $SO_2$ | mg | 8248,3 | 0 | 0 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 274,5 | 235,3 | 110,7 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0 | 0,1 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 518,0 | 476,5 | 35,8 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 355 | 0 | 0 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | | | 0,42 |

35) elektrische boiler 80 l, keukenopstelling, 24 uren vrijgave, elektriciteitslevering als bij installatie nr 6
36) elektrische boiler 80 l, zolderopstelling, 24 uren vrijgave, elektriciteitslevering door gasgestookte centrale
37) HR-combi ketel voorraad 25 l, zolderopstelling zonder CV-functie, elektriciteitslevering door gasgestookte centrale

| installatienummer | | 38) | 39) | 40) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 105,2 | 105,2 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 93,32 | 77,15 | 93,32 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 32,36 | 29,08 | 32,36 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 125,68 | 106,22 | 125,68 |
| toesteltemperatuur | °C | 72 | 85 | 72 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 24,24 | 24,24 |
| tapopbrengst netto | MJ | 23,1 | 22,82 | 23,1 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,29 | 94,13 | 95,29 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 2,65 | 1,96 | 2,65 |
| leidingverlies | MJ | 6,89 | 8,60 | 6,89 |
| afgifte toestel | MJ | 32,65 | 33,38 | 32,65 |
| brandstofverbruik | MJ | 49,36 | 38,97 | 49,36 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 45,28 | 86,61 | 45,57 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,43 | 2,73 | 1,44 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | 40,5 | 45,0 | 45,0 |
| rend. sys & centr ow | % | 51,0 | 26,4 | 50,8 |
| rend. toestel & centr ow | % | 72,1 | 38,5 | 71,8 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 2539,6 | 6379,5 | 2566,8 |
| emissie CO | mg | 3 | 0 | 3 |
| emissie $NO_x$ | mg | 793,4 | 12038,5 | 839,2 |
| emissie $SO_2$ | mg | 0 | 8249,4 | 88 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 109,9 | 279,6 | 111,1 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0,1 | 0 | 0,1 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 34,4 | 527,6 | 36,3 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 0 | 361,5 | 3,8 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,30 | | 0,42 |

38) HR-combi ketel voorraad 25 l, zolderopstelling met CV-functie, elektriciteitslevering door gasgestookte centrale
39) elektrische boiler 80 l, zolderopstelling, 24 uren vrijgave, elektriciteitslevering door centrale met netto rendement = 45%, emissiegegevens SEP 1990 (zie installatie nr 1 t/m 34)
40) HR-combi ketel voorraad 25 l, zolderopstelling zonder CV-functie, elektriteitslevering door centrale met netto rendement = 45%, emissiegegevens SEP 1990 (zie installatie nr 1 t/m 34)

| installatienummer | | 41) | 42) | 43) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (65 °C) | 105,2 | 100* | 100* |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 93,32 | 60 | 86,54 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 32,36 | 49,08 | 59,04 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 125,68 | 109,08 | 145,58 |
| toesteltemperatuur | °C | 72 | 85 | 62 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 24,24 | 18,86 | 18,86 |
| tapopbrengst netto | MJ | 23,1 | 17,44 | 17,94 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 95,29 | 92,51 | 95,13 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 2,65 | 4,42 | 3,75 |
| leidingverlies | MJ | 6,89 | 12,46 | 7,86 |
| afgifte toestel | MJ | 32,65 | 34,28 | 29,55 |
| brandstofverbruik | MJ | 49,36 | 40,97 | 59,11 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 45,2 | 107,54 | 53,34 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,43 | 3,39 | 1,68 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | 45,0 | 38,1 | |
| rend. sys & centr ow | % | 51,1 | 16,2 | 33,6 |
| rend. toestel & centr ow | % | 72,2 | 31,9 | 55,4 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 2547,2 | 7921,7 | 2992,1 |
| emissie CO | mg | 3 | 0 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 802,32 | 14948,7 | 1061 |
| emissie $SO_2$ | mg | 62,7 | 10243,6 | 0 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 110,8 | 454,1 | 166,8 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0,1 | 0 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 34,7 | 857 | 59,2 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 2,7 | 587,3 | 0 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,30 | | |

41) HR-combi ketel voorraad 25 l, zolderopstelling met CV-functie, elektriciteitslevering door centrale met netto rendement = 45%, emissiegegevens SEP 1990 (zie installatie nr 1 t/m 34)

42) elektrische boiler 120 l, zolderopstelling, 24 uren vrijgave, tappatroon nr. 1 genoemd in het rapport "Vergelijking milieuaspecten warmtapwatertoestellen" van de Beijer RTB, elektriciteitsopwekking SEP 1990 (zie installatie nr. 1 t/m 34)

43) grote badgeiser, zolderopstelling, tappatroon nr. 1 genoemd in het rapport "Vergelijking milieuaspecten warmtapwatertoestellen" van de Beijer RTB

•) taptemperatuur = 55 °C

*Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding*
*Een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen*

| installatienummer | | 44) | 45) | 46) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (55 °C) | 100 | 100 | 101,5 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 69,23 | 69,23 | 60,9 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 49,08 | 49,08 | 90,18 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 118,31 | 118,31 | 151,08 |
| toesteltemperatuur | °C | 75 | 75 | 85 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 18,86 | 18,86 | 19,14 |
| tapopbrengst netto | MJ | 17,66 | 17,66 | 17,62 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 93,65 | 93,65 | 92,06 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 4,15 | 4,15 | 10,45 |
| leidingverlies | MJ | 10,42 | 10,42 | 19,41 |
| afgifte toestel | MJ | 32,22 | 32,22 | 47,48 |
| brandstofverbruik | MJ | 59,96 | 59,06 | 54,19 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 55,29 | 55,07 | 142,23 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 1,75 | 1,74 | 4,49 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | 38,1 | 38,1 | 38,1 |
| rend. sys & centr ow | % | 31,9 | 32,1 | 12,4 |
| rend. toestel & centr ow | % | 58,3 | 58,5 | 33,4 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 3121,9 | 3106,3 | 10476,7 |
| emissie CO | mg | 3,7 | 3,7 | 0 |
| emissie $NO_x$ | mg | 1075,3 | 1045,7 | 19770,1 |
| emissie $SO_2$ | mg | 112,3 | 92,1 | 13547,5 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 176,8 | 175,9 | 594,7 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0,2 | 0,2 | 0 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 60,9 | 59,2 | 1122,2 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 6,4 | 5,2 | 769 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | 0,45 | 0,37 | |

44) HR-ketel met CV-boiler 80 l, zolderopstelling, zonder CV-functie, tappatroon nr. 1 genoemd in het rapport "Vergelijking milieuaspecten warmtapwatertoestellen" van de Beijer RTB, elektr. opwekking SEP 1990 (zie inst. nr. 1 t/m 34)

45) HR-ketel met CV-boiler 80 l, zolderopstelling, met CV-functie, tappatroon als bij installatie nr. 44

46) elektrische boiler 120 l, zolderopstelling, 24 uren vrijgave, tappatroon nr. 4 genoemd in het rapport "Vergelijking milieuaspecten warmtapwatertoestellen" van de Beijer RTB, elektr. opwekking SEP 1990 (zie installatie nr. 1 t/m 34)

| installatienummer | | 47) | 48) | 49) |
|---|---|---|---|---|
| gevraagd netto tapvol | l (55 °C) | 101,5 | 101,5 | 101,5 |
| tapvolume netto | l ($T_{toestel}$) | 87,84 | 70,27 | 70,27 |
| tapvolume verlies | l ($T_{toestel}$) | 107,97 | 90,18 | 90,18 |
| tapvolume totaal | l ($T_{toestel}$) | 195,81 | 160,45 | 160,45 |
| toesteltemperatuur | °C | 62 | 75 | 75 |
| gevr netto tapopbrengst | MJ | 19,14 | 19,14 | 19,14 |
| tapopbrengst netto | MJ | 18,15 | 17,85 | 17,85 |
| tapopbrengst netto/gevraagd | 100 | 98,83 | 93,26 | 93,26 |
| tapopbrengst verlies | MJ | 8,35 | 9,58 | 9,58 |
| leidingverlies | MJ | 12,28 | 16,27 | 16,27 |
| afgifte toestel | MJ | 38,79 | 43,7 | 43,7 |
| brandstofverbruik | MJ | 79,46 | 75,25 | 75,25 |
| brandstofverbruik ow | MJ | 71,71 | 69,4 | 69,12 |
| brandstofverbruik | $m^3$ | 2,26 | 2,19 | 2,18 |
| rend. centr/trafo/trp ow | % | | 38,1 | 38,1 |
| rend. sys & centr ow | % | 25,3 | 25,7 | 25,8 |
| rend. toestel & centr ow | % | 54,1 | 63,0 | 63,2 |
| emissie centr + toestel | | | | |
| emissie $CO_2$ | g | 4022,3 | 3919,4 | 3898,5 |
| emissie CO | mg | 0 | 4,6 | 4,6 |
| emissie $NO_x$ | mg | 1468,9 | 1352,0 | 1312,6 |
| emissie $SO_2$ | mg | 0 | 142,7 | 115,7 |
| $CO_2$ /netto getapt | g/MJ | 221,6 | 219,6 | 218,4 |
| CO /netto getapt | mg/MJ | 0 | 0,3 | 0,3 |
| $NO_x$ /netto getapt | mg/MJ | 80,9 | 75,8 | 73,6 |
| $SO_2$ /netto getapt | mg/MJ | 0 | 8,0 | 6,5 |
| hulpenergie verbruik (el) | MJ | | 0,57 | 0,46 |

47) grote badgeiser, zolderopstelling, tappatroon nr. 4 genoemd in het rapport "Vergelijking milieuaspecten warmtapwatertoestellen" van de Beijer RTB
48) HR-ketel met CV-boiler 80 l, zolderopstelling, zonder CV-functie, tappatroon nr. 4 genoemd in het rapport "Vergelijking milieuaspecten warmtapwatertoestellen" van de Beijer RTB, elektriciteitsopwekking SEP 1990 (zie installatie nr. 1 t/m 34)
49) HR-ketel met CV-boiler 80 l, zolderopstelling, met CV-functie, tappatroon als bij installatie nr. 48

# Bijlage 3 Tappatronen volgens figuur IV.12 uit het rapport van de Beijer RTB

Tappatronen volgens figuur IV.12 uit het rapport van de Beijer RTB [6]

Tappatroon 1 25 tappingen, tap interval = 45 minuten

tappunt 1 = badkamertappunt
tappunt 2 = keukentappunt

| Tap nr | Uur h | Tijd sec | Tappunt nr. | Taptemp °C | Tapdebiet l/min | Tap-hoeveelheid liter |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6 | 0 | 1 | 55 | 3,5 | 25,0 |
| 2 | 6 | 2700 | 1 | 55 | 2,5 | 5,0 |
| 3 | 7 | 1800 | 1 | 55 | 2,5 | 7,0 |
| 4 | 8 | 900 | 2 | 55 | 2,5 | 5,0 |
| 5 | 9 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 6 | 9 | 2700 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 7 | 10 | 1800 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 8 | 11 | 900 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 9 | 12 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 10 | 12 | 2700 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 11 | 13 | 1800 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 12 | 14 | 900 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 13 | 15 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 14 | 15 | 2700 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 15 | 16 | 1800 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 16 | 17 | 900 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 17 | 18 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 7,0 |
| 18 | 18 | 2700 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 19 | 19 | 1800 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 20 | 20 | 900 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 21 | 21 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 22 | 21 | 2700 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 23 | 22 | 1800 | 1 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 24 | 23 | 900 | 1 | 55 | 3,5 | 25,0 |
| 25 | 24 | 0 | 1 | 55 | 2,5 | 7,0 |

Tappatronen volgens figuur IV.12 uit het rapport van de Beijer RTB [6]

Tappatroon 4 46 tappingen,tap interval = 20 minuten
tappunt 1 = badkamertappunt
tappunt 2 = keukentappunt

| Tap nr | Uur h | Tijd sec | Tappunt nr. | Taptemp °C | Tapdebiet l/min | Tap-hoeveelheid liter |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | 0 | 1 | 55 | 3,5 | 25,0 |
| 2 | 7 | 1200 | 1 | 55 | 2,5 | 5,0 |
| 3 | 7 | 2400 | 1 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 4 | 8 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 5 | 8 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 6 | 8 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 7 | 9 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 8 | 9 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 9 | 9 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 10 | 10 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 11 | 10 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 12 | 10 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 13 | 11 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 14 | 11 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 15 | 11 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 16 | 12 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 17 | 12 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 18 | 12 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 19 | 13 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 5,0 |
| 20 | 13 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 21 | 13 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 22 | 14 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 23 | 14 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 24 | 14 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 25 | 15 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 26 | 15 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 27 | 15 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 28 | 16 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 29 | 16 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 30 | 16 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 31 | 17 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 32 | 17 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 33 | 17 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 34 | 18 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 35 | 18 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 7,0 |
| 36 | 18 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 37 | 19 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,25 |
| 38 | 19 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 39 | 19 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 40 | 20 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 1,0 |
| 41 | 20 | 1200 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 42 | 20 | 2400 | 2 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 43 | 21 | 0 | 2 | 55 | 2,5 | 0,5 |
| 44 | 21 | 1200 | 1 | 55 | 2,5 | 3,0 |
| 45 | 21 | 2400 | 1 | 55 | 2,5 | 5,0 |
| 46 | 22 | 0 | 1 | 55 | 2,5 | 7,0 |

# Figuren

*6.1 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: rendement*
*6.2 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: energiegebruik*
*6.3 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: milieubelasting per dag*
*6.4 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: milieubelasting per netto getapte MJ*
*8.1 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: rendement*
*8.2 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: energiegebruik*
*8.3 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: milieubelasting per dag*
*8.4 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: milieubelasting per nettogetapte MJ*
*8.5 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's: rendement*
*8.6 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's: energiegebruik*
*8.7 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's: milieubelasting per dag*
*8.8 Resultaten simulatieberekeningen met afwijkende tapprogramma's: milieubelasting per netto getapte MJ*

*Figuur 6.1 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: rendement*

*Figuur 6.2 Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: energieverbruik*

*Figuur 6.3* *Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: milieubelasting*

*Figuur 6.4* *Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma: milieubelasting*

*Figuur 8.1* *Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: rendement*

*Figuur 8.2* *Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: energieverbruik*

*Figuur 8.3* *Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: milieubelasting*

*Figuur 8.4* *Resultaten simulatieberekeningen met standaard tapprogramma en afwijkende elektriciteitsopwekking: milieubelasting*

*Figuur 8.5* *Resultaten simulatieberekeningen met afwijkend tapprogramma's: rendement*

*Figuur 8.6* *Resultaten simulatieberekeningen met afwijkend tapprogramma's: energieverbruik*

*Figuur 8.7* *Resultaten simulatieberekeningen met afwijkend tapprogramma's: milieubelasting*

*Figuur 8.8.* *Resultaten simulatieberekeningen met afwijkend tapprogramma's: milieubelasting*