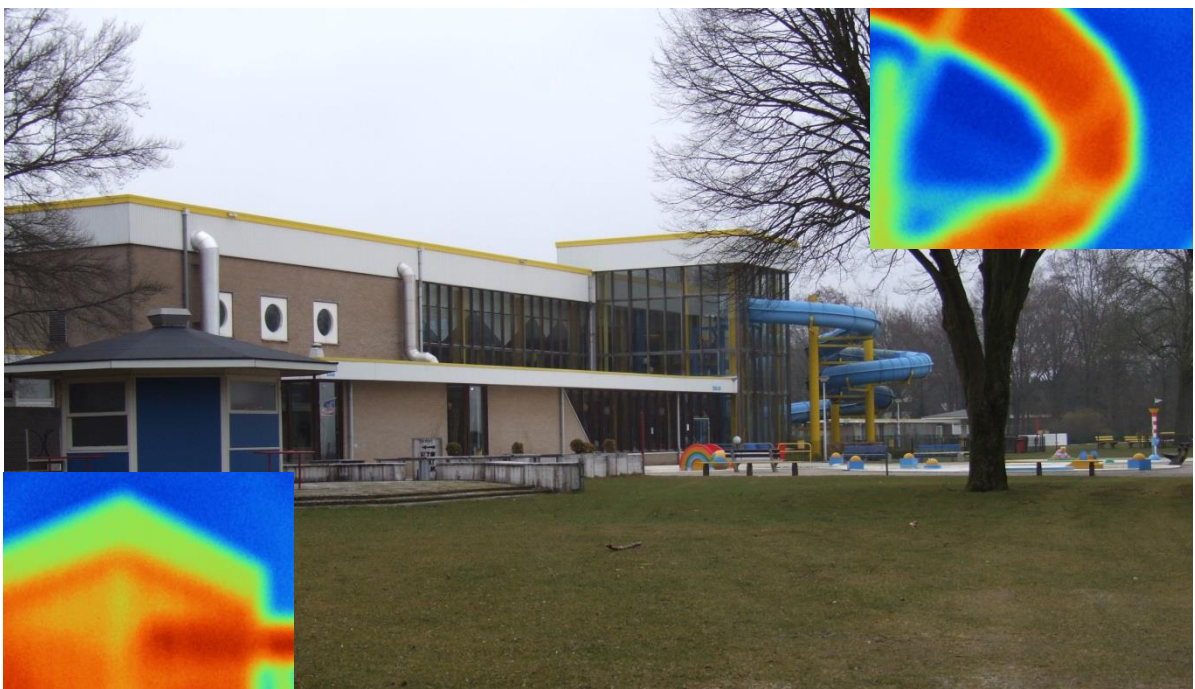


Energiegebruik in het TwenteBad



Opdrachtgever: Gemeente Hengelo, Universiteit Twente

Auteur: T.J.H. Rovers

Datum: 6 augustus 2013

Status: Definitief

Energiegebruik in het TwenteBad

Bachelor Eindopdracht

T.J.H. Rovers

Begeleiding:

Universiteit Twente
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen

Dr. ir. A.G. Entrop

Gemeente Hengelo

I. Melisie (manager TwenteBad & Hengelo Sport)

W. Westerhof (afdelingshoofd Bouwservice & Faciliteiten)

Voorwoord

Voor u ligt het rapport van mijn onderzoek naar het energiegebruik in het Hengelose TwenteBad. Dit betreft een bachelor eindopdracht; een opdracht ter afronding van de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Gedurende tien weken heb ik met veel plezier stagegelopen bij de Gemeente Hengelo, met als standplaats het TwenteBad.

Tijdens mijn opleiding en in mijn vrije tijd heb ik me enige kennis eigen gemaakt over de natuurwetenschappelijke benadering van, en fundamentele processen die een rol spelen bij de bestaande energie- en milieuproblematiek. Het doet mij deugd dat ik deze kennis heb kunnen uitbreiden, maar bovenal praktisch heb kunnen toepassen tijdens mijn bachelor eindopdracht.

Mijn dank gaat dan ook uit naar Bram Entrop van de Universiteit Twente, die me heeft geholpen bij het vormgeven van het onderzoek en dit rapport, en mijn bevindingen van feedback heeft voorzien. Ik wil Ilija Melisie van het TwenteBad en William Westerhof van het Stedelijk Beheer bedanken voor hun hulp gedurende de, toch al drukke, zomerperiode. Daarnaast dank ik Bas Olbertz van het Stedelijk Beheer, Raymond Frank en Ruud Schuite van Warmtenet Hengelo en Niels Bakker van het Gemeentearchief Hengelo voor hun hulp. Ten slotte ben ik dank verschuldigd aan mijn studiegenoot en kameraad Robert van Lith, met wie ik regelmatig van gedachten heb gewisseld over mijn onderzoek.

Hengelo, 22 juli 2013

Twan Rovers

Samenvatting

De gewenste betrouwbaarheid, betaalbaarheid en milieuvriendelijkheid van de energievoorziening leidt tot de conclusie dat er gezocht moet worden naar nieuwe, duurzame, manieren van energievoorziening. Anderzijds moet er ook op energiebesparing worden ingezet. Gebouwen zijn verantwoordelijk voor ongeveer 30% van het energiegebruik in Nederland. Een bijzondere categorie gebouwen wordt gevormd door openbare zwembaden. Zwembaden zijn grote energiegebruikers en dit is dan ook een belangrijke categorie gebouwen om het energiegebruik van te reduceren. Het energiegebruik van het Hengelose TwenteBad is onderzocht en er zijn maatregelen geïnventariseerd om het energiegebruik terug te dringen.

<i>Feiten en cijfers</i>	
<i>Jaarlijks energiegebruik</i>	
<i>Verwarming:</i>	5.737.778 kWh
<i>Hout:</i>	40 %
<i>Gas:</i>	60 %
<i>Elektriciteit:</i>	1.173.280 kWh
<i>Jaarlijkse energiekosten</i>	
<i>Verwarming:</i>	€ 270.052,46
<i>Elektriciteit:</i>	€ 100.903,49
<i>Zwembaden</i>	
<i>Vier binnenbaden en een peuterbad</i>	
<i>Twee buitenbaden en een peuterbad</i>	

Het totale jaarlijkse secundaire energiegebruik van het TwenteBad is bepaald aan de hand van facturen en bedraagt 6.911.058 kWh of 24.880 GJ. Het totale jaarlijkse energiegebruik is onder te verdelen in het energiegebruik voor verwarming (83,0%) en het elektrisch energiegebruik (17,0%). Door het uitvoeren van een energieprestatieberekening voor het TwenteBad is getracht het energiegebruik voor de verschillende van toepassing zijnde energiefuncties, namelijk: ruimteverwarming, warmtapwater, elektrische hulpenergie ten behoeve van verwarming, ventilatie, ontvochtiging en verlichting, in kaart te brengen.

Warmte wordt verkregen door het verbranden van hout in een kachel en het verbranden van aardgas in cv-ketels. Het energiegebruik voor verwarming kan worden onderverdeeld in het energiegebruik voor de verwarming van ruimtes en het energiegebruik voor warmtapwater. Uit de resultaten van het gebruikte rekenprogramma voor de energieprestatie van een gebouw werd een jaarlijks secundair energiegebruik van respectievelijk 2.607 en 235 GJ voor deze energiefuncties berekend. In werkelijkheid bedraagt het jaarlijkse energiegebruik voor de energiefunctie ruimteverwarming 17.062 GJ. De reden dat met de energieprestatieberekening een lagere waarde werd gevonden, heeft te maken met het feit dat NEN 7120 uitgaat van lagere ruimtetemperaturen dan in het TwenteBad het geval is.

Het jaarlijkse secundaire energiegebruik voor warmtapwater blijkt in werkelijkheid circa 3.584 GJ te bedragen. In een energieprestatieberekening wordt uitgegaan van een warmtapwaterbehoefte die niet strookt met de praktijk van een openbaar zwembad. Het energiegebruik voor warmtapwater wordt onderverdeeld in het energiegebruik voor bassinwaterverwarming (77,1%), douchewaterverwarming (22,8%) en kraanwaterverwarming (0,1%).

Ook het jaarlijkse elektriciteitsgebruik is per energiefunctie bepaald met de energieprestatieberekening. Het jaarlijkse elektrische energiegebruik kan worden onderverdeeld in het hulpenergiegebruik ten behoeve van verwarming (10.567 kWh), het energiegebruik voor ventilatie en ontvochtiging (181.361) en het energiegebruik voor verlichting (148.975). Het jaarlijkse elektriciteitsgebruik voor verlichting blijkt in werkelijkheid 218.331 kWh te bedragen. Het aantal branduren is in praktijk hoger dan waarmee in NEN 7120 gerekend wordt. Op basis van deze gegevens kan geschat worden dat het jaarlijkse energiegebruik voor apparatuur circa 763.021 kWh bedraagt, 65,0% van het totale jaarlijkse elektriciteitsgebruik.

Daarnaast is de thermische schil van het TwenteBad gecontroleerd door middel van infraroodonderzoek. Daaruit bleek dat zich koudebruggen bevinden in de kleedruimten, bij de overgang van ramen naar de betonnen kolommen. Verder is met infraroodmetingen gevalideerd dat er sprake is van relatief veel warmteverlies door ramen, deuren en kozijnen.

Uit een literatuuronderzoek naar het energiegebruik van overdekte openbare zwembaden op internationale schaal bleek dat het zwembadoppervlak en het bouwjaar belangrijke parameters zijn voor het energiegebruik van openbare zwembaden. Ook verschilt het energiegebruik van zwembaden sterk per land. Zo vonden Noorse onderzoekers een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 4.303 kWh per m² wateroppervlak (ws) voor zwembaden met een wateroppervlak van meer dan 600 m². Deense onderzoekers vonden een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 2.276 kWh/m² ws voor deze categorie zwembaden. Voor vijf Griekse zwembaden werd een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 4.300 kWh/m² ws bepaald. Het jaarlijkse energiegebruik van een Fins zwembad bedroeg 4.475 kWh/ m² ws. Per m² zwembadoppervlak bedraagt het jaarlijkse energiegebruik van het TwenteBad 2.130 kWh. Internationaal gezien lijkt het TwenteBad daarmee energiezuiniger dan veel van zijn soortgenoten.

Ook van drie Nederlandse openbare zwembaden zijn het energiegebruik en de maatregelen die genomen zijn om het energiegebruik terug te dringen beschouwd. Het energiegebruik van het Geusseltbad in Maastricht is met een jaarlijks energiegebruik van 807 kWh/m² ws veel energiezuiniger dan het TwenteBad. Het elektriciteitsgebruik van het TwenteBad is met 362 kWh/m² ws lager dan dat van Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep in Eindhoven (448 kWh/m² ws). Het energiegebruik voor verwarming in het TwenteBad is met 1.768 kWh/m² ws ruim vijf keer hoger dan dat van het Neptunusbad in het Drentse Klazienaveen (338 kWh/m² ws).

Het TwenteBad is een gebouw van meer dan veertig jaar oud, waarin zeker verbeteringen mogelijk zijn ten aanzien van het energiegebruik. Het jaarlijkse energiegebruik voor ruimteverwarming zou met 10,5% (1.626 GJ) kunnen worden verlaagd door de buitengevels na te isoleren. Kleinere besparingen op het energiegebruik voor verwarming zijn te behalen door bassins 's nachts af te dekken. De kostenbesparing die dat zou opleveren is echter niet in verhouding tot de investerings- en onderhoudskosten van dergelijke systemen.

Door het vervangen van de conventionele TL verlichting door hoogfrequente verlichting, kan jaarlijks 80.463 kWh bespaard worden. Dat bedraagt 6,9% van het totale elektriciteitsgebruik in 2012. Hoogfrequente verlichting heeft daarnaast een langere levensduur dan conventionele TL verlichting, wat een besparing oplevert op de onderhoudskosten. Verdere kostenbesparingen op het elektriciteitsgebruik kunnen worden behaald door bewuster om te gaan met het energiegebruik, bijvoorbeeld door filters 's nachts te spoelen en het elektrolyseapparaat 's nachts te gebruiken.

Ten slotte bestaan er mogelijkheden voor het opwekken van gebouwgebonden energie. Met zonnepanelen kan elektriciteit worden opgewekt uit zonnestraling. Zonnepanelen leveren jaarlijks circa 80 kWh/m² zonnepaneel. Zonnecollectoren zijn uitermate geschikt om tapwater te verwarmen. Voor de verwarming van het bassinwater voor de buitenbaden ligt het gebruik van onafgedekte collectoren (jaaropbrengst: 0,7 – 1,0 GJ per m² collectoroppervlak) voor de hand. Voor de verwarming van het bassin- en douchewater voor binnenbaden kunnen het beste afgedekte collectoren (jaaropbrengst: 1,5 – 1,7 GJ per m² collectoroppervlak) worden gebruikt.

Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of het na-isoleren van gevels en het plaatsen van zonnepanelen en -collectoren op het dak van het TwenteBad mogelijk is. Ook de financiële aspecten, in termen van jaarlijkse besparingen en terugverdientijden, moeten daarbij worden onderzocht.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Samenvatting.....	3
1. Inleiding.....	7
1.1. Achtergrond.....	7
1.2. Probleemstelling.....	8
1.3. Doelstelling.....	8
1.4. Onderzoeksvragen.....	9
2. Totaal en theoretisch energiegebruik TwenteBad.....	11
2.1. Inleiding.....	11
2.1.1. Verwarmingsenergie.....	11
2.1.2. Elektrische energie.....	12
2.2. Bepaling totaal energiegebruik op basis van facturen.....	13
2.2.1. Energiegebruik en -kosten voor verwarming.....	13
2.2.2. Elektrisch energiegebruik en –kosten.....	14
2.3. Invoer energieprestatieberekening.....	15
2.3.1. Indeling gebouw.....	15
2.3.2. Infiltratie.....	16
2.3.3. Bouwkundige transmissiegegevens.....	17
2.3.4. Verwarming- en warmtapwatersystemen.....	18
2.3.5. Ventilatie.....	19
2.3.6. Verlichting.....	19
2.4. Uiteenzetting energiegebruik.....	20
2.4.1. Uiteenzetting energiegebruik voor verwarming.....	20
2.4.2. Uiteenzetting elektrisch energiegebruik.....	21
2.5. Deelconclusies.....	22
3. Werkelijk energiegebruik TwenteBad, op componentniveau.....	24
3.1. Inleiding.....	24
3.2. Tapwaterverwarming.....	25
3.2.1. Bassinwater.....	25
3.2.2. Douchewater.....	27
3.2.3. Kraanwater.....	28
3.3. Controle thermische schil door middel van infraroodonderzoek.....	29
3.4. Verlichting.....	31
3.5. Apparatuur.....	32

3.6.	Deelconclusies	33
4.	Verlaging van het energiegebruik van het TwenteBad	35
4.1.	Inleiding	35
4.2.	Een energiezuinig openbaar zwembad	36
4.2.1.	Internationale literatuurstudie naar openbare zwembaden	36
4.2.2.	Nationaal case onderzoek naar openbare zwembaden	38
4.3.	Mogelijkheden voor energiebesparing	40
4.3.1.	Gevelisolatie	40
4.3.2.	Verlichting	42
4.3.3.	Beperking warmteverlies bassinwater	43
4.3.4.	Goed rentmeesterschap	45
4.4.	Mogelijkheden voor de opwekking van gebouwgebonden energie	46
4.4.1.	Zonnepanelen	46
4.4.2.	Zonnecollectoren	47
4.5.	Deelconclusies	48
5.	Conclusies, discussie en aanbevelingen	50
5.1.	Conclusies	50
5.2.	Discussie	51
5.2.1.	Praktische bijdragen	51
5.2.2.	Wetenschappelijke bijdragen	51
5.2.3.	Beperkingen	52
5.3.	Aanbevelingen	53
	Bibliografie	55
	Bijlagen	60
	Bijlage A: TwenteBad in zeven onderdelen	60
	Bijlage B: Indeling in rekenzones	63
	Bijlage C: Energiegebruik en -kosten voor verwarming	64
	Bijlage D: Elektrisch energiegebruik en -kosten	65
	Bijlage E: Bepaling theoretisch energiegebruik	68
	Bijlage F: Vermogen en energiegebruik verlichting	81
	Bijlage G: Watergebruik en -kosten	84
	Bijlage H: Warmteverlies bassinwater	87
	H.1: Uitgangspunten	87
	H.2: Gebruikte formules	89

1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt allereerst de achtergrond geschetst van de bestaande (internationale) energieproblematiek. Vervolgens wordt een probleemstelling geformuleerd voor het geval van (bestaande) openbare zwembaden. Ten slotte wordt een doelstelling geformuleerd specifiek voor het TwenteBad en worden daaraan een drietal onderzoeksvragen gekoppeld.

1.1. Achtergrond

D'haeseleer (2005) stelt dat energie de levensadem van elke economie is, of dat nu een geïndustrialiseerde economie is, of één in ontwikkeling. Gebaseerd op de groeiende wereldbevolking en de verwachte groei van het energiegebruik in het grootste deel van de wereld, kan geschat worden dat het energiegebruik in de tweede helft van deze eeuw een factor twee tot vier hoger zal liggen dan vandaag. Een betrouwbare, betaalbare en schone energievoorziening wordt dan ook één van de grootste uitdagingen van de eenentwintigste eeuw.

Regio's die geen of onvoldoende primaire energiebronnen bezitten, moeten alert zijn op hun bevoorradingszekerheid. De Groningse gasvoorraden slinken en verwacht wordt dat Nederland rond 2025 de omslag zal maken van netto-exporteur naar netto-importeur van aardgas (Rijksoverheid, n.d.). Het is nog even afwachten wat voor gevolg het toenemende aantal aardbevingen in Groningen zal hebben voor het beleid van gaswinning aldaar. Daarnaast wordt momenteel onderzoek verricht door Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs B.V. naar de mogelijkheden en risico's van schaliegaswinning (Kamp, 2013).

Grote olie- en gasvoorraden bevinden zich in het Midden-Oosten en Rusland. In het verleden hebben geopolitieke omstandigheden de gegarandeerde en tijdige levering van deze primaire energiedragers wel eens parten gespeeld, bijvoorbeeld tijdens de oliecrisis van 1973 (Geschiedenis24, n.d.).

Als men al beschikt over een betrouwbare energievoorziening, dan moet deze ook betaalbaar blijven. Olie zal niet tot op de laatste druppel gewonnen worden, maar tot op het moment dat de winning te duur wordt. Althans, de prijs van de schaarser wordende primaire energiebronnen zal zo hoog worden, dat alternatieve bronnen competitief worden (D'haeseleer, 2005).

Wat betreft schone energievoorziening, zijn de aspecten gezondheid, veiligheid en milieuvriendelijkheid van belang. Er heerst inmiddels steeds meer consensus over het feit dat lozingen van stikstof- en zwaveloxiden (NO_x en SO_x) beperkt moeten worden en de uitstoot van broeikasgassen als CO_2 verlaagd moet worden.

De gewenste betrouwbaarheid, betaalbaarheid en milieuvriendelijkheid van de energievoorziening leidt tot de conclusie dat er gezocht moet worden naar nieuwe, duurzame, manieren van energievoorziening. Dat gebeurt momenteel bijvoorbeeld steeds meer op het gebied van wind- en zonne-energie. Anderzijds moet ook ingezet worden op energiebesparing. Reductie van de energie-intensiteit – de hoeveelheid gebruikte energie per eenheid van activiteit of product – is mogelijk door toepassing van meer energiezuinige technologieën, het gelijktijdig opwekken van verschillende nuttige energiestromen (zoals bij een warmtekraftkoppeling) en het verbeteren van de isolatie van gebouwen. Daarnaast is er de gewenste hoeveelheid aan energiediensten waarvan men wenst te genieten. Dit aspect heeft te maken met het gedragspatroon van mensen (D'haeseleer, 2005).

1.2. Probleemstelling

Naast energievoorziening, is energiebesparing dus een aandachtspunt als het gaat om het zoeken naar oplossingen voor de energieproblematiek en de daarmee samenhangende milieuproblematiek. Gebouwen zijn verantwoordelijk voor ongeveer dertig procent van het energiegebruik in Nederland en zijn derhalve een belangrijke categorie energiegebruikers (Rijksoverheid, 2011). Het Rijk heeft daarom met organisaties in de bouwsector en woningsector afgesproken dat alle nieuwe gebouwen in 2015 de helft minder energie gebruiken dan in 2007. Vanaf eind 2020 moet alle nieuwbouw bijna energieneutraal zijn. Dit betekent dat een gebouw (over een jaar genomen) bijna evenveel energie opwekt als gebruikt. De bedoeling is dat nieuwe overheidsgebouwen al vanaf eind 2018 bijna energieneutraal zijn. Dit is vastgelegd in het herijkte Lente-akkoord *Energiebesparing in de nieuwbouw* (Rijksoverheid, 2011).

Er zijn echter natuurlijk ook veel bestaande gebouwen die dagelijks worden gebruikt en daarbij veel energie gebruiken. Het Rijk heeft daarom met organisaties in de bouwsector en woningsector afgesproken om elk jaar minstens 300.000 bestaande gebouwen energiezuiniger te maken. Dit hebben zij vastgelegd in het convenant *Meer met minder* (Rijksoverheid, 2012).

Ook de gemeente Hengelo heeft duurzaamheid hoog in het vaandel staan. Zij definieert dat als “zorgen voor nu en later, dichtbij en ver weg. Dat betekent slim en goed omgaan met elkaar en met de grondstoffen en de ruimte op onze aarde” (Gemeente Hengelo, n.d.). De gemeente Hengelo is daarom het project *Energie besparen Hengelo* gestart. Daarmee stimuleert ze particulieren om hun huis energiezuiniger te maken (Gemeente Hengelo, n.d.). Daarbij hoort dat je als gemeente het goede voorbeeld geeft. Zo is in 2011 bij het renoveren van het dak van het stadhuis van Hengelo gekozen voor zonnepanelen en EPDM met daarop geïntegreerde zonnecellen. Verder is in het stadhuis zoveel mogelijk gebruik gemaakt van vlas, een volledig natuurlijk isolatiemateriaal met zeer goede bouwfysische eigenschappen (Duurzaam gebouwd, 2012). Energiebesparing kan verder leiden tot kostenbesparing op termijn. Het energiezuiniger maken van gebouwen die onder het beheer van de gemeente vallen, waaronder het TwenteBad, is dan ook een punt van aandacht.

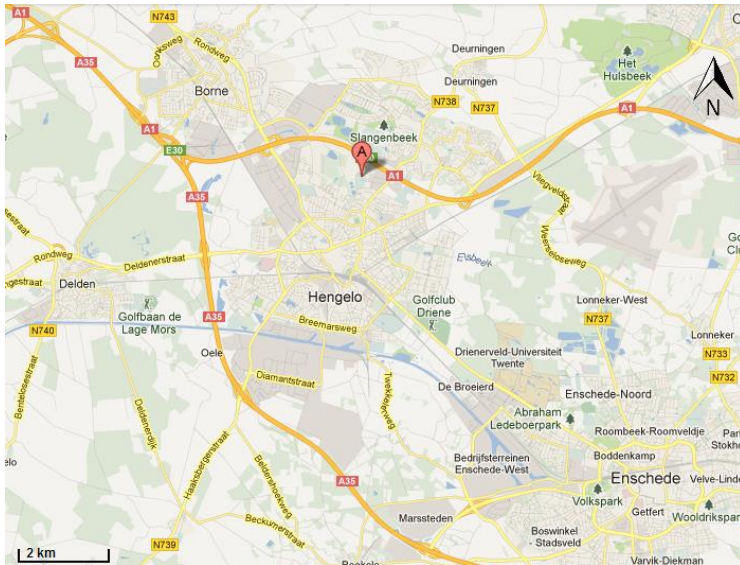
Zwembaden zijn namelijk grote energiegebruikers. Bijna de helft van de zwembaden in Nederland is openbaar toegankelijk (45%), eenzelfde aandeel is besloten (exclusief toegankelijk voor eigen gasten/leden) en 10% van de zwembaden valt onder de noemer semi-openbaar (besloten, maar tegen betaling toegankelijk voor derden) (Mulier Instituut, 2012). De ruim zevenhonderd openbare zwembaden in Nederland gebruiken samen jaarlijks circa 1,6 miljoen MWh gas en elektriciteit (Klok, 2009). Energie vormt dan ook een grote kostenpost voor openbare zwembaden. Volgens Bestuur & Management Consultants, adviesbureau voor de publieke sector, bedragen energiekosten 10 – 15% van de totale lasten van een zwembad (van Helden & van Hulsteijn, 2007). Dit is dan ook een belangrijke categorie gebouwen om het energiegebruik van te reduceren. De probleemstelling in dit onderzoek luidt derhalve:

Wat zijn mogelijkheden voor het terugdringen van het energiegebruik van openbare zwembaden?

1.3. Doelstelling

Het in kaart brengen van mogelijkheden voor energiebesparingen in openbare zwembaden in het algemeen zou een zeer omvangrijke onderneming worden, gezien de diversiteit ervan. Eind 2006 telde Nederland 725 openbare zwembaden (CBS, 2008). Het gaat dan om overdekte en openluchtwembaden, en combinaties daarvan.

Het onderzoek zal worden beperkt tot het TwenteBad, een openbaar combinatiebad in het noorden van Hengelo, even ten zuiden van de rijksweg A1 (Figuur 1.1). Het TwenteBad stamt uit het jaar 1972, een tijd waarin het toepassen van energiebesparende maatregelen niet gebruikelijk was. Jaarlijks trekt het TwenteBad zo'n 340.000 bezoekers.



Figuur 1.1: Ligging TwenteBad (aangegeven met A)

De jaarlijkse energiekosten voor het TwenteBad bedragen zo'n € 400.000. Momenteel is er nauwelijks zicht op de hoeveelheid energie die in het TwenteBad gebruikt wordt. Daarom is het ook lastig om in te schatten wat voor effect maatregelen om het energiegebruik terug te dringen precies zullen hebben.

De doelstelling luidt:

Het in kaart brengen van het huidige energiegebruik van het TwenteBad en het inventariseren van mogelijke maatregelen om het energiegebruik terug te dringen.

1.4. Onderzoeksvragen

Om de doelstelling te bereiken, zijn drie onderzoeksvragen opgesteld. Voordat maatregelen worden geïnventariseerd om het energiegebruik van het TwenteBad terug te dringen, moet eerst het huidige energiegebruik in kaart worden gebracht. Dat gebeurt theoretisch bij de beantwoording van de eerste onderzoeksvraag, met behulp van een rekenprogramma voor de energieprestatie van een gebouw. Dergelijke berekeningen zijn van toepassing op utiliteitsgebouwen in het algemeen en de resultaten ervan zullen dus niet geheel overeenstemmen met de praktijk van een openbaar zwembad. De tweede onderzoeksvraag behandelt daarom het werkelijke energiegebruik van het TwenteBad op componentniveau. De laatste onderzoeksvraag richt zich ten slotte op manieren waarop het energiegebruik van het TwenteBad kan worden verlaagd.

De onderzoeks- en deelvragen luiden als volgt:

1. Wat is het totale en theoretische energiegebruik van het TwenteBad?

Het totale energiegebruik van het TwenteBad bestaat uit het energiegebruik voor verwarming en het elektrische energiegebruik, en zal worden bepaald uit energiefacturen. Met behulp van een rekenprogramma voor de energieprestatie van een gebouw wordt het energiegebruik voor de energiefuncties verwarming, warmtapwater, hulpenergie ten behoeve van verwarming, verlichting, ventilatie en ontvochtiging bepaald.

- 1.1. Hoeveel energie voor verwarming en elektrische energie wordt er in het TwenteBad gebruikt?
- 1.2. Hoeveel energie wordt gebruikt voor de verwarming van ruimtes en tapwater?
- 1.3. Hoeveel elektrische energie wordt gebruikt voor verlichting, hulpenergie ten behoeve van verwarming, ventilatie en ontvochtiging?

2. Wat is het werkelijke energiegebruik van het TwenteBad?

Het werkelijke energiegebruik van het TwenteBad wordt op componentniveau bepaald. Voor de energiefunctie tapwaterverwarming gebeurt dat door de hoeveelheden gebruikt warm water voor bassins, douches en kraanwater te achterhalen. Het energiegebruik voor verlichting wordt bepaald door het werkelijke aantal branduren per jaar te inventariseren. Voor apparatuur worden, waar mogelijk, het vermogen en de bedrijfsuren achterhaald. Ook wordt de thermische schil van het gebouw gecontroleerd door middel van metingen met een infraroodcamera.

- 2.1. Hoeveel energie wordt er werkelijk gebruikt voor tapwaterverwarming?
- 2.2. Waar is sprake van koudebruggen in de thermische schil van het gebouw?
- 2.3. Hoeveel energie wordt er werkelijk gebruikt voor verlichting?
- 2.4. Hoeveel energie wordt er gebruikt voor apparatuur?

3. Hoe kan het energiegebruik van het TwenteBad worden verlaagd?

Met de beantwoording van de eerste twee onderzoeksvragen, is duidelijk geworden wat het jaarlijkse energiegebruik van het TwenteBad bedraagt. Om te kijken wat haalbaar is qua reductie van het energiegebruik, wordt het energiegebruik van openbare zwembaden op internationale en nationale schaal onderzocht. Vervolgens worden mogelijkheden voor energiebesparing geïnventariseerd, alsmede mogelijkheden voor het opwekken van gebouwgebonden energie aan de hand van de wetenschappelijke literatuur.

- 3.1. Wat is een energiezuinig openbaar zwembad?
- 3.2. Wat zijn mogelijkheden voor energiebesparing?
- 3.3. Wat zijn mogelijkheden voor het opwekken van gebouwgebonden energie?

2. Totaal en theoretisch energiegebruik TwenteBad

In dit hoofdstuk wordt de eerste onderzoeksvraag, die betrekking heeft op het totale en theoretische energiegebruik van het TwenteBad, beantwoord. Daartoe wordt het jaarlijkse energiegebruik van het TwenteBad bepaald op basis van facturen. Vervolgens wordt de invoer van de energieprestatieberekening besproken en wordt zowel het energiegebruik voor verwarming, als het elektrische energiegebruik uiteengezet.

2.1. Inleiding

Het TwenteBad bestaat uit een gebouw en de buitenbaden en ligweide. Het gebouw heeft een totaal gebruiksoppervlak (GO) van 4865,29 m². Voor een onderzoek naar het energiegebruik, kan het TwenteBad in zeven onderdelen worden opgesplitst:

1. Het recreatiegedeelte (GO: 1.623,49 m²)
2. Het instructiebad (GO: 346,48 m²)
3. Het doelgroepengedeelte (GO: 1.003,35 m²)
4. De kleed-, douche- en toiletruimten en ontvangsthal (GO: 1.237,59 m²)
5. De horeca (GO: 469,11 m²)
6. De personeelsruimten (GO: 185,27 m²)
7. De buitenbaden

Deze onderdelen worden uitgebreid beschreven in Bijlage A. De opsplitsing in onderdelen is gebaseerd op de indeling in rekenzones die NEN 7120, de bepalingsmethode voor de energieprestatie van een gebouw, voorschrijft. Voor een energieprestatieberekening zijn alleen de ruimten in een gebouw van toepassing. De buitenbaden worden in de energieprestatieberekening derhalve buiten beschouwing gelaten. In Bijlage B is een plattegrond te zien van het TwenteBad waarop de verschillende ruimten zijn aangegeven, alsmede hun gebruiksfuncties. Het recreatiegedeelte, instructiebad, doelgroepenbad en de kleed-, douche- en toiletruimten hebben allen een sportfunctie, conform het Bouwbesluit 2012. Dit wordt gedefinieerd als een gebruiksfunctie voor het beoefenen van sport. De vergaderruimte en tribune in het doelgroepengedeelte, de horeca en de personeelskamer en keuken in de personeelsruimten hebben een bijeenkomstfunctie: een gebruiksfunctie voor het samenkomen van personen voor kunst, cultuur, godsdienst, communicatie, kinderopvang, het verstrekken van consumpties voor het gebruik ter plaatse of het aanschouwen van sport. De kantoren in de personeelsruimten hebben een kantoorfunctie: een gebruiksfunctie voor administratie. De ontvangsthal, personeelskleedruimten en gangen in de personeelsruimten worden aangemerkt als gemeenschappelijke ruimten (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2011).

Het energiegebruik van zowel woningen als utiliteitsgebouwen bestaat uit het energiegebruik voor verwarming en het elektrische energiegebruik. Hier volgt een inleiding op deze twee vormen van energie.

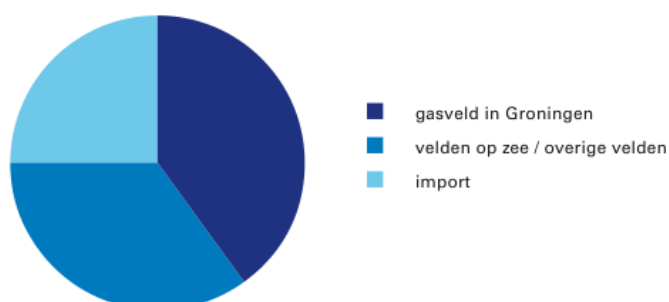
2.1.1. Verwarmingsenergie

Na de ontdekking van het aardgasveld bij het Groningse Slochteren op 22 juli 1959, werd besloten dat alle Nederlandse huishoudens een aardgasaansluiting moesten krijgen (NRC, 2009). In 2010 werd ruim een derde van het Nederlandse aardgas gewonnen in Groningen. Het overige aardgas is afkomstig van andere velden en iets minder dan een kwart (24,4 miljard m³) van de totale hoeveelheid aardgas werd

geïmporteerd (Figuur 2.1). Jaarlijks wordt overigens meer gas geëxporteerd dan geïmporteerd: in 2010 werd 83,9 miljard m³ aardgas geëxporteerd (De Energiezaak, Energie-Nederland & Netbeheer Nederland, 2011).

Tot op de dag van vandaag zijn Nederlandse huishoudens en bedrijven voorzien van aardgasaansluitingen.

2010 (108 miljard m³ billion m³)



De verwarming van gebouwen geschiedt meestal door centrale verwarming. Daarbij wordt warmte centraal opgewekt door de verbranding van aardgas in een centrale verwarmingsketel (cv-ketel) en met behulp van een warmteoverbrengend medium (stoom, water of lucht) overgebracht naar de verschillende vertrekken in een gebouw.

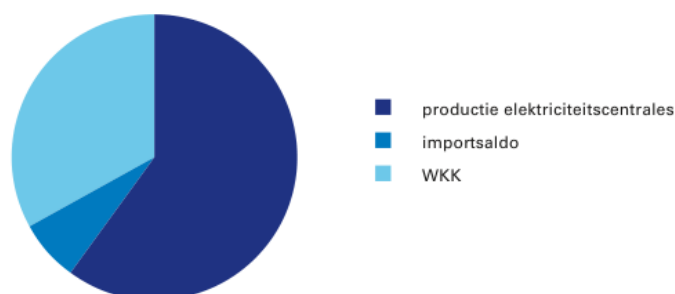
Figuur 2.1: Herkomst aardgas 2010 (De Energiezaak, Energie-Nederland & Netbeheer Nederland, 2011)

Het TwenteBad beschikt over twaalf cv-ketels die op gas worden gestookt. Deze zijn aangesloten op drie cascadesystemen. Dat zijn verwarmingssystemen waarbij meerdere cv-ketels parallel worden geschakeld om een groter cv-vermogen te kunnen realiseren. Het TwenteBad beschikt daarnaast over een houtkachel die wordt gestookt op hout dat speciaal voor deze toepassing is gekweekt. De biomassa voldoet aan de norm NTA (Nederlandse Technische Afspraak) 8088: Duurzaamheidscriteria voor biomassa ten behoeve van energiedoeleinden (Warmtenet Hengelo, 2011). Zowel hout als gas worden geleverd door Warmtenet Hengelo, een organisatie van de gemeente Hengelo en de provincie Overijssel. Een warmtenet is een systeem dat woningen en bedrijven voorziet van warm water, maar Warmtenet Hengelo levert daarnaast dus biomassa en aardgas (Warmtenet Hengelo, n.d.). Op de houtkachel en de verwarmingsketels zijn verbruiksmeters aangesloten. Deze meten de temperatuur in de kachel en ketels, de hoeveelheden gas en hout die per uur verbrand worden (in m³), het geleverde vermogen (in kW) en de warmte die geleverd wordt (in GJ). In haar facturen geeft Warmtenet Hengelo aan hoeveel energie (in GJ) er per factuurperiode geleverd is.

2.1.2. Elektrische energie

Nederlandse gebouwen zijn daarnaast voorzien van elektriciteitsaansluitingen. Het grootste deel van de elektriciteit in Nederland wordt opgewekt in elektriciteitscentrales door verbranding van fossiele brandstoffen (thermische productie) of door het opwekken van kernenergie (nucleaire productie). Verder

2010 (119 miljard kWh billion kWh)



wordt er elektrische energie opgewekt in voornamelijk de industrie en glastuinbouw door toepassing van warmtekrachtkoppelingen (WKK). Een klein deel van de elektrische energie wordt geïmporteerd (Figuur 2.2).

Figuur 2.2: Herkomst elektrische energie 2010 (De Energiezaak, Energie-Nederland & Netbeheer Nederland, 2011)

De elektriciteit die in het TwenteBad wordt gebruikt, wordt geleverd door Essent. Daaraan worden de kosten voor de energie betaald, alsmede de energiebelasting die door de energieleverancier wordt afgedragen aan de belastingdienst. Aan de netbeheerder, Enexis, worden de kosten voor aansluiting betaald. Het gaat dan om vastrecht, huur van transformatoren en meterdiensten, systeemdiensten en transportkosten. In hun facturen geven Essent en Enexis aan hoeveel elektrische energie er maandelijks geleverd is, alsmede de uitgesplitste kosten voor de energie en de levering ervan.

2.2. Bepaling totaal energiegebruik op basis van facturen

Het energiegebruik voor verwarming is bepaald aan de hand van facturen uit de jaren 2012 en 2013. Het elektrische energiegebruik is bepaald aan de hand van energierekeningen uit het jaar 2012.

2.2.1. Energiegebruik en -kosten voor verwarming

Warmtenet Hengelo hanteert onregelmatige factuurperiodes. Het totale energiegebruik voor verwarming per factuurperiode zegt derhalve niet veel. In Figuur 2.3 zijn daarom zowel het energiegebruik voor verwarming als de energiekosten per gewogen graaddag grafisch weergegeven.

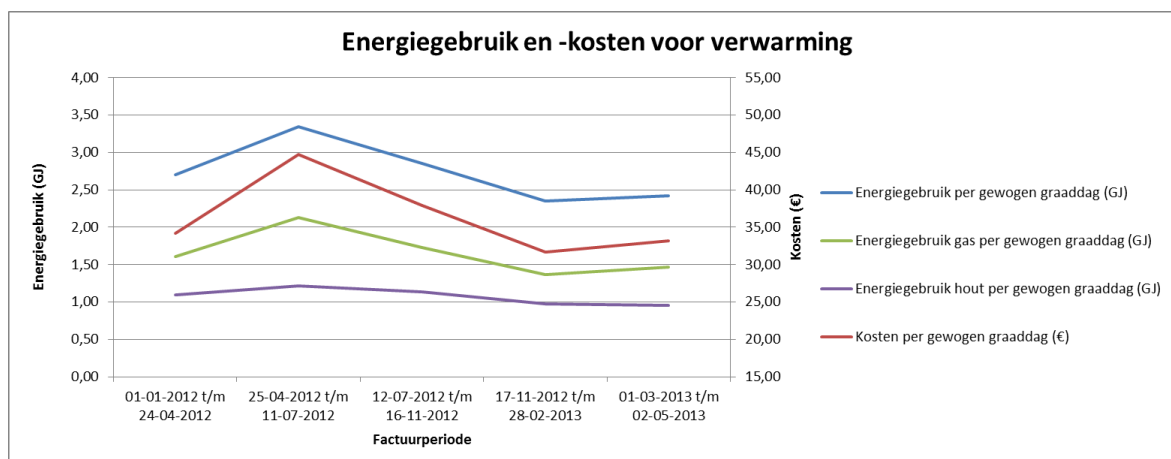
Een graaddag is een eenvoudige rekeneenheid om de variërende buitentemperatuur in berekeningen voor energiegebruik mee te nemen. Het uitgangspunt is dat in een etmaal waarin de gemiddelde buitentemperatuur hoger is dan de gemiddelde binnentemperatuur, er niet hoeft te worden gestookt. Ligt de buitentemperatuur echter lager, dan moet er worden gestookt en moeten er graaddagen worden geteld (Day, 2006). Hiervoor zijn gegevens gebruikt van KNMI meetstation Twenthe (KNMI, n.d.). Voor de gemiddelde binnentemperatuur wordt een waarde van 31,0 °C gebruikt. Dat is de setpoint ruimtetemperatuur in het recreatiegedeelte en de kleed-, douche- en toiletruimten.

Behalve de buitentemperatuur, zijn er per jaargetijde nog meer weersomstandigheden van invloed op het energiegebruik voor verwarming. Om de invloed van die wisselingen op de berekeningen te minimaliseren, worden de graaddagen vermenigvuldigd met een seizoensafhankelijke weegfactor, waarmee het aantal *gewogen graaddagen* wordt verkregen. Deze bedragen gedurende het jaar (Over graaddagen, n.d.):

April t/m september: 0,8

Maart en oktober: 1,0

November t/m februari: 1,1



Figuur 2.3: Energiegebruik en -kosten voor verwarming TwenteBad in 2012 en 2013

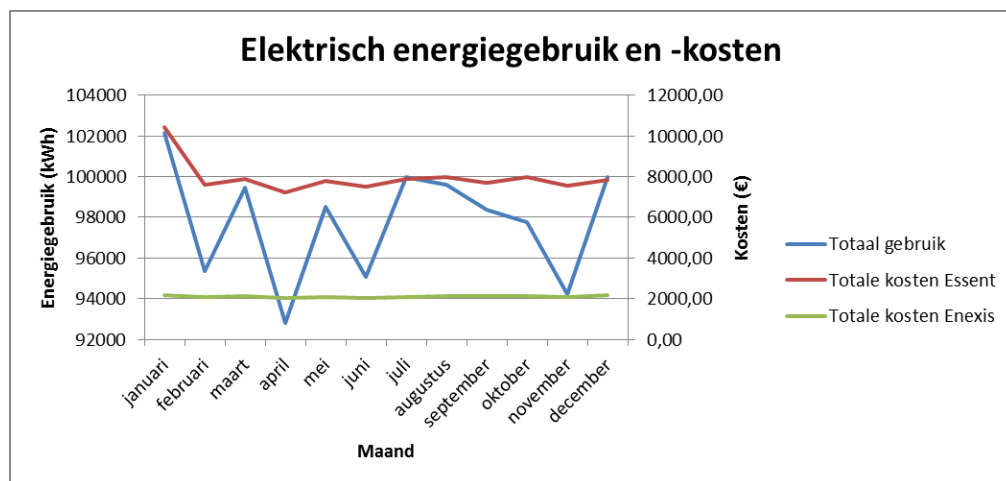
In Tabel C.1 in Bijlage C is het energiegebruik per factuurperiode opgenomen, evenals de uitgesplitste kosten. Het totale energiegebruik voor verwarming in het jaar 2012 bedroeg 20.656 GJ. De totale kosten ervoor bedroegen € 270.052,46 excl. btw. De prijs voor een gigajoule warmte bedroeg € 11,96 excl. btw in 2012.

De houtkachel levert ongeveer 40% van de totale hoeveelheid energie voor verwarming, de cv-ketels de overige 60%. Het energiegebruik voor verwarming per gewogen graaddag varieerde tussen 1 januari 2012 en 2 mei 2013 van 2,35 tot 3,34 GJ. In Figuur 2.3 is een hoger energiegebruik in de factuurperiode 25-04-2012 t/m 11-07-2012 te zien. De verklaring daarvoor is dat in mei 2012 de buitenbaden werden gevuld en verwarmd. De buitenbaden waren geopend in de maanden juni, juli en augustus. Dat verklaart waarom het energiegebruik in de periode 12-07-2012 t/m 16-11-2012 wat hoger was dan in de perioden 01-01-2012 t/m 24-04-2012 en 17-11-2012 t/m 02-05-2013.

De kosten per gewogen graaddag varieerden tussen 1 januari 2012 en 2 mei 2013 van € 31,67 tot € 44,71. In Figuur 2.3 is te zien dat de grafieken voor de kosten dezelfde trend volgen als die voor het energiegebruik. De energiekosten worden dan ook vooral veroorzaakt door het energiegebruik ($\pm 90\%$) en minder door het vastrecht ($\pm 10\%$).

2.2.2. Elektrisch energiegebruik en -kosten

In Figuur 2.4 is het maandelijks elektrische energiegebruik grafisch weergegeven, alsmede de kosten die aan de leverancier (Essent) en de netbeheerder (Enexis) werden betaald. Het totale elektriciteitsgebruik bedroeg 1.173.280 kWh in 2012. De totale kosten bedroegen € 100.903,49 excl. btw (€ 120.566,40 incl. btw). In Tabel D.1 in Bijlage D is het elektrisch energiegebruik per maand opgenomen, evenals de uitgesplitste kosten. Ook worden de kostenposten toegelicht in Bijlage D.



Figuur 2.4: Elektrisch energiegebruik en -kosten TwenteBad in 2012

Het gemiddelde maandelijks elektriciteitsgebruik bedroeg in 2012 97.773 kWh. Het elektrische energiegebruik varieerde in 2012 van 92.823 kWh in april tot 102.136 kWh in januari. Met afwijkingen van ten hoogste 5% van het gemiddelde, is het maandelijks elektriciteitsgebruik behoorlijk constant door het jaar heen.

Ook de kosten die maandelijks aan netbeheerder Enexis moesten worden betaald, zijn behoorlijk constant door het jaar heen. Deze kosten zijn slechts in geringe mate afhankelijk van het energiegebruik; alleen de

transportkosten, systeemdiensten en het maximaal opgenomen vermogen worden gerelateerd aan de gebruikte hoeveelheid elektriciteit.

De grafiek voor de kosten die aan Essent moesten worden betaald volgt dezelfde trend als die voor het energiegebruik. Deze kosten zijn dan ook alleen afhankelijk van het elektriciteitsgebruik, op de vastrechtvergoeding van € 48,00 per maand na. Gemiddeld bedroegen de kosten die aan Essent betaald moesten worden € 7944,79 (incl. btw) per maand in 2012. De kosten varieerden van € 7241,05 in april tot € 10.411,14 in januari. De kosten voor de periode januari 2012 zijn hoog in vergelijking met de andere maanden. Naast het feit dat het gebruik in die maand wat hoger was dan in de andere maanden, ligt de reden hiervoor in de energiebelasting. In januari 2013 werd de energiebelasting geheven in drie zones. In de andere maanden werd alleen energiebelasting geheven in zone drie. Aangezien de energiebelasting per gebruikte kWh lager wordt naarmate het gebruik groter is, is in januari 2012 relatief veel energiebelasting betaald (Bijlage D), ondanks de heffingskorting voor energiebelasting die ook in die maand is verrekend.

De prijs voor een kWh elektrische energie is afhankelijk van het moment waarop het gebruikt wordt. Tussen 07:00 en 23:00 op werkdagen is het normaal-tarief van toepassing: € 0,067690/kWh excl. belastingen in 2012. Tussen 23:00 en 07:00 op werkdagen, in het weekend en op feestdagen is het laag-tarief van toepassing: € 0,040780/kWh excl. belastingen in 2012.

2.3. Invoer energieprestatieberekening

Het energiegebruik van een gebouw kan worden bepaald met NEN 7120 (bepalingsmethode voor de energieprestatie van gebouwen), NEN 8088 (bepalingsmethode voor de toevoerluchttemperatuur gecorrigeerde ventilatie- en infiltratieluchtvolumestromen voor energieprestatieberekeningen) en NEN 1068 (rekenmethoden voor de thermische isolatie van gebouwen). Het EPG rekenpakket Uniec2.0 rekent met deze normen en wordt toegepast voor de bepaling van het energiegebruik van het TwenteBad. In Bijlage E is het EPC rapport opgenomen, bestaande uit de invoer in het rekenprogramma en de resultaten. De invoer in het rekenprogramma wordt in deze paragraaf besproken, de resultaten worden behandeld in Paragraaf 2.4.

2.3.1. Indeling gebouw

De indeling van het gebouw heeft betrekking op de eigenschappen van rekenzones. Er zijn zes rekenzones ingevoerd in het rekenprogramma; de onderdelen genoemd in Paragraaf 2.1 exclusief de buitenbaden. Bij een energieprestatieberekening zijn immers alleen de ruimten in een gebouw van toepassing. De ingevoerde rekenzones omvatten:

1. Het recreatiegedeelte
2. Het instructiebad
3. Het doelgroepengedeelte
4. De kleed-, douche- en toiletruimten en ontvangsthal
5. De horeca
6. De personeelsruimten

De rekenzones zijn allemaal verwarmde ruimten. Uit bestektekeningen van de oprichting van het TwenteBad uit het stadsarchief van Hengelo blijkt dat de vloeren zijn uitgevoerd in beton van 200 tot 300

mm dik. Vermenigvuldigd met de dichtheid van beton van ongeveer 2.400 kg/m^3 , wordt zo voor alle rekenzones een vloermassa van meer dan 400 kg/m^2 gevonden. De plafonds zijn gesloten.

De gebruiksfuncties van de rekenzones zijn beschreven in Paragraaf 2.1 en Bijlage A. De bijbehorende gebruiksoppervlakken zijn met de hand gemeten op bouwtekeningen en bepaald conform NEN 2580. Van een 'open verbinding' is sprake als er geen fysieke scheiding (vloeren en/of wanden) tussen de gebruiksfuncties aanwezig is. In het doelgroepengedeelte wordt de vergaderruimte door wanden gescheiden van het bad. De ontvangsthal wordt door wanden gescheiden van de kleed-, douche- en toiletruimten. De verschillende ruimten in de rekenzone 'personeelsruimten' worden ook door wanden gescheiden (Bijlage B). In deze gevallen is derhalve geen sprake van een open verbinding. De gebruiksfuncties mogen wel in één rekenzone samengevoegd worden omdat de 80% regel geldt: Over meer dan 80% van de gebruiksoppervlakte van de rekenzone is dezelfde ventilatiecapaciteit vereist.

De setpointtemperatuur $\theta_{\text{int;set};H}$ voor elke gebruiksfunctie wordt vervolgens automatisch ingevuld. Voor zowel sport-, bijeenkomst- als kantoorfuncties geeft NEN 7120 hiervoor een forfaitaire waarde van 20°C . De specifieke ventilatiecapaciteit per m^2 gebruiksoppervlak $q_{g;\text{spec}}$ wordt eveneens automatisch ingevuld. NEN 8088 geeft forfaitaire waarden van 0,46 voor sportfuncties (overig), 1,71 voor bijeenkomstfuncties (overig) en 1,11 voor kantoorfuncties (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012). De EPC-eis voor verschillende gebruiksfuncties werd opnieuw vastgesteld in het Bouwbesluit 2012. De energieprestatiecoëfficiënt van nieuwe gebouwen mag niet hoger zijn dan de in het Bouwbesluit vastgestelde waarde. Voor de gebruiksfunctie sportfunctie (overig) bedraagt de EPC-eis sinds 1 januari 2011 1,80. Voor de gebruiksfunctie bijeenkomstfunctie (overig) bedraagt de EPC-eis 2,00 en voor de gebruiksfunctie kantoorfunctie 1,10. Aan gemeenschappelijke ruimten wordt in het Bouwbesluit geen EPC-eis gesteld (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2011, p. 94). Voor gebouwen met meerdere gebruiksfuncties geldt dat aan de EPC-eis met de laagste waarde voldaan moet worden.

2.3.2. Infiltratie

De infiltratie betreft de luchtvolumestroom door luchtlekken in de gebouwschil. De infiltratie van een gebouw wordt beïnvloed door de winddruk. Deze invloed wordt berekend aan de hand van de maximale buitenmaten van een gebouw. Deze zijn handmatig op bouwtekeningen gemeten. Er is geen meetwaarde voor infiltratie beschikbaar, dus wordt deze bepaald aan de hand van het gebouwtype per rekenzone. Alle rekenzones zijn gebouwd op de grond (grondgebonden gebouw) en hebben een plat dak. Het recreatiegedeelte en instructiebad hebben een tussenligging. Het rekenprogramma geeft voor deze rekenzones een specifieke luchtvolumestroom ten gevolge van infiltratie ($q_{v10;\text{spec}}$) van $0,49 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$. De horeca, het doelgroepengedeelte, de kleed-, douche- en toiletruimten en ontvangsthal en de personeelsruimten hebben een kop-, eind-, dan wel hoekligging. Het rekenprogramma geeft een specifieke luchtvolumestroom ten gevolge van infiltratie van $0,59 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$ voor deze rekenzones.

Het TwenteBad bevat geen open verbrandingstoestellen. Een open verbrandingstoestel is een toestel dat voor de verbranding van fossiele brandstof (zoals hout en gas) gebruikmaakt van lucht uit de ruimte waarin het toestel staat opgesteld, waarbij de rookgassen in diezelfde ruimte vrijkomen (afvoerloos toestel) of via een afvoer naar buiten gaan (afvoergebonden open toestel). Dit in tegenstelling tot een gesloten verbrandingstoestel, dat beschikt over een eigen toevoer- en afvoerkanaal (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2009). De cv-ketels en de houtkachel in het TwenteBad vallen in de laatste categorie.

2.3.3. Bouwkundige transmissiegegevens

De bouwkundige transmissiegegevens omvatten alle in de EPC berekening toegepaste constructies met bijbehorende bouwphysische eigenschappen. De constructies worden onderverdeeld in:

- Dichte constructies: de basisonderdelen waaruit een gebouw is opgebouwd, zoals gevel, vloer en dak.
- Transparante constructies: ramen en deuren.
- Lineaire constructies: deze perimeter wordt in NEN 1068 gedefinieerd als de binnenwerkse omtrek van de vloer voor zover deze grenst aan een buitenwand. In het geval van bassins wordt de omtrek van het bassin ingevoerd. Dit wordt handmatig gemeten op bouwtekeningen.

Voor elke rekenzone worden de scheidingsconstructies gedefinieerd, bestaande uit gevels, vloeren, daken, ramen en deuren. Bij gevels wordt onderscheid gemaakt tussen gevels met een aangrenzende verwarmde ruimte (AVR; zoals de gevel die het doelgroepengedeelte en recreatiegedeelte scheidt) en gevels die grenzen aan de buitenlucht. Daarbij wordt de oriëntatie vermeld, omdat dat van invloed is op de zonnearmwinst en infiltratie. Bij vloeren wordt onderscheid gemaakt tussen vloeren met daaronder een AVR en vloeren op de grond. Onder het recreatiegedeelte liggen bijvoorbeeld gangen waarin leidingen liggen. Deze ruimten zijn verwarmd doordat het warme water in leidingen warmte afgeeft aan de ruimte. Het familiebad en recreatiebad in het recreatiegedeelte liggen wel op de grond.

De lengte en hoogte van elke afzonderlijke scheidingsconstructie werd handmatig gemeten op bouwtekeningen. Van ramen en deuren die niet opgenomen waren in bouwtekeningen, werden de werkelijke lengte en hoogte gemeten. Hieruit werden de oppervlakken berekend en ingevoerd in het rekenprogramma. Ook warmteweerstanden (R_C -waarden) van gevels, vloeren en daken werden ingevoerd, alsmede de U-waarden en zontoetredingsfactor (g_{gl}) van ramen en deuren. Uit de bestektekeningen van de oprichting van het TwenteBad uit 1970 uit het stadsarchief wordt behalve enkele aanduidingen echter weinig duidelijk over de materialisatie en wijze van uitvoering van scheidingsconstructies. Ook in diverse tekeningen van verbouwingen in de afgelopen jaren is daarover niets terug te vinden. Er wordt daarom gerekend met forfaitaire waarden. NEN 7120 geeft warmteweerstanden (R_C -waarden) voor dichte constructies. Daarnaast worden U-waarden ($1/R_C$) gegeven voor transparante constructies.

De forfaitaire warmteweerstand voor uitwendige scheidingsconstructies voor bouwjaarklasse 1965 – 1975 van gevels bedraagt $0,43 \text{ m}^2\text{K/W}$. Voor vloeren boven kruipruimtes of direct op de grond geldt $R_C = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012, p. 111). Deze waarden gelden voor de gevels en vloeren van het recreatiegedeelte, de horeca, het instructiebad, de personeelsruimten, de kleed-, douche- en toiletruimten en de ontvangsthal. Voor de daken van de personeelsruimten, de horeca, de kleed-, douche- en toiletruimten en ontvangsthal geldt $R_C = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012, p. 111). In 1990 werd de vergunning verleend voor de uitbreiding van het TwenteBad met het doelgroepengedeelte. De forfaitaire warmteweerstand die NEN 7120 geeft voor bouwjaarklasse 1988 – 1992 bedraagt $2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor gevels. Voor de vloeren in het doelgroepengedeelte geldt een R_C van $1,30 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012, p. 111). In 2012 is het dak van het recreatiegedeelte, het instructiebad en doelgroepengedeelte geïsoleerd. Hier wordt uitgegaan van een R_C -waarde van $3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ conform de eisen aan nieuwe gebouwen van het Bouwbesluit 2012. NEN 7120 geeft een forfaitaire U-waarde voor ramen met dubbel glas (zonder coating) en houten kozijnen van $3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. De zontoetredingsfactor g_{gl} bedraagt 0,60. Deze waarden gelden ook voor aan buitenlucht grenzende glasdeuren. Voor aan buitenlucht grenzende ongeïsoleerde, dichte deuren geldt $U = 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012, p. 113).

Voor transparante constructies is het verder nodig in te voeren of er sprake is van zonwering. Dat is alleen in de personeelsruimten het geval. Ten slotte moet de mate van beschaduwing van gevels en daken worden ingevoerd, omdat dat van invloed is op de zonnearmwinst. Beschaduwing ontstaat door (zij)belemmeringen (zoals bomen en gebouwen in de omgeving) en overstekken. Er is geen sprake van zijbelemmeringen met een relatieve hoogte (hoogteverschil/afstand) van meer dan 0,36. Er is geen sprake van overstekken met een relatieve hoogte kleiner dan 1,00. Overal is daarom gekozen voor 'minimale belemmering' (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012, pp. 322 - 325).

2.3.4. Verwarming- en warmtapwatersystemen

Een verwarmingssysteem bestaat uit de samenhangende onderdelen warmteopwekking, warmteafgifte en warmtedistributie. In het rekenprogramma kan geen houtkachel of iets dergelijks worden ingevoerd. Ook is het niet mogelijk cascadesystemen in te voeren. Bij type opwekker is daarom 'individueel cv-toestel' ingevoerd. Het is een Hoge Temperatuur opwekker omdat het gemiddelde van de ontwerpaanvoer- en retourtemperatuur van het verwarmingssysteem meer dan 50 °C is. Bij de toepassingsklasse van de warmteopwekker is gekozen voor de hoogste klasse, klasse 4. Hieronder vallen CW-comfortklassen 4,5 en 6 van Kiwa, die het hoogste tapwatercomfort voorstellen. Dat heeft te maken met de hoeveelheid tapwater in liter per minuut die kan worden geleverd. Het type cv-ketel voor verwarming is een HR-100 ketel. Het bijbehorende opwekkingsrendement is 90%. Het type cv-ketel voor warmtapwater is een gasgestookt combitoestel HRww, met een rendement van 67,5%. In totaal zijn er twaalf opwekkers.

Het TwenteBad kent verschillende typen warmteafgiftesystemen:

- Luchtverwarming in het recreatiegedeelte en het doelgroepengedeelte. De maximale hoogte van deze ruimten is groter dan acht meter. Hieruit volgt een afgifterendement ($\eta_{H,em}$) van 85%..
- Luchtverwarming in het instructiebad en de kleed-, douche- en toiletruimten. De maximale hoogte van deze ruimten is kleiner dan acht meter. Hieruit volgt een afgifterendement ($\eta_{H,em}$) van 95%
- Radiatorverwarming in de horeca, de verkeersruimten van de kleed-, douche- en toiletruimten, de ontvangsthal en de personeelsruimten. De radiators zijn geplaatst bij buitenwanden met R_C -waarden kleiner dan 2,5 m²K/W. De maximale hoogte van deze ruimten is kleiner dan acht meter. Hieruit volgt een afgifterendement ($\eta_{H,em}$) van 90%.

Het warmtetransport voor ruimteverwarming vindt plaats door lucht. De verwarming wordt centraal geregeld voor elke rekenzone. De leidingen en kanalen zijn geïsoleerd, wat leidt tot een distributierendement ($\eta_{H,dis}$) van 75%.

Alle rekenzones zijn aangesloten op het systeem voor warmtapwater. Bij de gemiddelde lengte van de uittapleidingen kan in het rekenprogramma gekozen worden voor: alle tappunten ≤ 3 m of één of meer tappunten > 3 m. Het laatste is het geval in het TwenteBad. Dit leidt tot een afgifterendement voor warmtapwater van ($\eta_{W,em}$) 80%.

Voor de berekening van de hulpenergie voor verwarming wordt ingevoerd dat er sprake is van een hoofdcirculatiepomp voorzien van pompregeling. Bij pompregeling is de pomp niet continu in bedrijf, maar wordt deze alleen ingeschakeld wanneer er warmtevraag is. Bij moderne gasgestookte opwekkingstoestellen kan de brander meestal moduleren wat wil zeggen dat het vermogen van de

brander op basis van de behoefte aangepast kan worden. De waarde $m_{\min}$ is de ondergrens van de modulatie van het opwekkingstoestel. Deze waarde is de minimum belasting gedeeld door de nominale belasting van het opwekkingstoestel en is door het rekenprogramma vastgesteld op 0,40.

2.3.5. Ventilatie

De ventilatie van het TwenteBad geschiedt door middel van luchtbehandelingskasten (LBK's) waarin ook warmteterugwininstallaties zijn opgenomen. Er is derhalve sprake van zowel mechanisch toe- als afvoer. De geïnstalleerde ventilatiecapaciteit wordt berekend uit de som van de capaciteiten van de vijf afzonderlijke luchtbehandelingskasten. Deze zijn opgenomen in Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Ventilatiecapaciteit luchtbehandelingskasten

LBK	Ruimte	Maximale capaciteit (dm ³ /s)
LBK-1	Recreatiegedeelte	6.000
LBK-2	Recreatiegedeelte	6.667
LBK-3	Doelgroepengedeelte	5.278
LBK-4	Instructiebad	3.333
LBK-5	Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal, personeelsruimten	5.278
Totaal		26.556

De totale capaciteit betreft de omvang van de mechanische toevoer (voorbehandeld). Hierbij is sprake van een mogelijke terugregeling tot 80% van het ventilatiedebiet, waarmee het energiegebruik voor ventilatie gereduceerd wordt.

De warmteterugwinning geschiedt door een intermitterende warmtewisselaar met een rendement van 70%. Dit is het rendement inclusief dissipatie. Daaronder wordt de warmteontwikkeling van ventilatoren in de luchtbehandelingskasten verstaan. De praktijkrendementcorrectiefactor (f_{rend}) heeft betrekking op onbalans en lucht- en warmtelekken in een gebalanceerd ventilatiesysteem en bedraagt standaard 0,80. Het vermogen van de ventilatoren is onbekend en wordt derhalve forfaitair berekend.

2.3.6. Verlichting

Voor de zes rekenzones wordt ook het energiegebruik voor verlichting berekend. Daartoe is het verlichtingsvermogen in elke rekenzone achterhaald. In Tabel F.1 in Bijlage F zijn voor elke rekenzone de typen verlichting, het aantal lampen, het vermogen van de verlichting en de voorschakelapparatuur opgenomen, alsmede het totale vermogen dat daaruit voortvloeit. Door het totale vermogen te delen door het gebruiksoppervlak van de betreffende rekenzone, wordt het geïnstalleerde vermogen per m² ($P_{n,\text{spec}}$) verkregen. Dit werd ingevoerd in het rekenprogramma. Alleen in de rekenzone personeelsruimten is sprake van aanwezigheidsdetectie die meer dan 70% van het gebruiksoppervlak van de rekenzone bestrijkt. In geen van de rekenzones is sprake van armatuurafzuiging.

In alle rekenzones zijn vertrekschakelingen toegepast. Bij dit type schakeling kunnen per vertrek de verschillende typen verlichting worden aan- en uitgeschakeld door middel van schakelaars. Hieruit volgt een dimensieloze factor voor het schakel-/regelsysteem (F_b) van 0,90 voor alle rekenzones.

2.4. Uiteenzetting energiegebruik

In de resultaten geeft het rekenprogramma Uniec2.0 jaarlijkse hoeveelheden primaire energie voor de verschillende energiefuncties (Bijlage E). Deze zijn weergegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Jaarlijkse hoeveelheid primaire energie per energiefunctie

Energiefunctie	Jaarlijkse hoeveelheid primaire energie (MJ)
Ruimteverwarming	2.973.566
Warmtapwater	348.540
Koeling	807
Zomercomfort	133.316
Bevochtiging	0
Ventilatoren	1.190.624
Verlichting	1.087.520
Totaal	5.734.373

Primaire energie wordt gedefinieerd als de energie die nodig is aan de bron om het uiteindelijke energiegebruik te dekken. Bij de omzetting van aardgas (primaire energiedrager) naar warmte (secundaire energiedrager) in een cv-ketel komt bijvoorbeeld niet alle energie direct beschikbaar in de vorm van warmte wanneer het rendement van de ketel kleiner is dan 100%. Iets dergelijks geldt ook voor elektriciteit: de hoeveelheid geleverde elektrische energie (secundaire energiedrager) is kleiner dan de hoeveelheid energie die gebruikt werd bij de opwekking ervan (primaire energie), doordat onder andere het rendement van de opwekkingsinstallaties en distributiesystemen kleiner zal zijn dan 100%.

2.4.1. Uiteenzetting energiegebruik voor verwarming

Het energiegebruik voor verwarming wordt onderverdeeld in het energiegebruik voor de verwarming van ruimtes en het energiegebruik voor warm tapwater. Door de jaarlijkse hoeveelheid primaire energie voor deze energiefuncties te vermenigvuldigen met het opwekkingsrendement van de cv-ketels, wordt de hoeveelheid opgewekte energie voor deze energiefuncties verkregen. Dit dient het doel de resultaten van het rekenprogramma te vergelijken met het werkelijke energiegebruik in Paragraaf 2.5. Immers, de geleverde energie na opwekking wordt geregistreerd door verbruiksmeters.

Het jaarlijkse primaire energiegebruik voor de energiefunctie ruimteverwarming bedraagt 2.973.566 MJ. Dit betreft het energiegebruik voor het verwarmen van het gebouw (het verbranden van hout en gas) en de elektrische hulpenergie die nodig is voor de warmteopwekking en -distributie. Uniec2.0 geeft een hoeveelheid secundaire energie t.b.v. verwarming per toestel van 217.232 MJ. Vermenigvuldigd met twaalf opwekkers, geeft dit een totale hoeveelheid secundaire energie t.b.v. verwarming van 2.606.784 MJ. Het opwekkingsrendement voor ruimteverwarming bedraagt 90%. Dit leidt tot een jaarlijks primair energiegebruik voor verwarming van: $(\text{twaalf opwekkingstoestellen} \times 217.232) / 0,90 = 2.896.427$ MJ. De overige primaire energie; $2.973.566 - 2.896.427 = 77.139$ MJ, betreft het elektrische hulpenergiegebruik.

Het jaarlijkse primaire energiegebruik voor de energiefunctie warmtapwater bedraagt 348.540 MJ. Dit betreft het energiegebruik voor het verwarmen van tapwater en de elektrische hulpenergie die nodig is voor de warmteopwekking en -distributie. Uniec2.0 geeft een hoeveelheid secundaire energie t.b.v. warmtapwater per toestel van 19.605 MJ. Vermenigvuldigd met twaalf opwekkers, geeft dit een totale hoeveelheid secundaire energie ten behoeve van tapwaterverwarming van 235.260 MJ. Het

opwekkingsrendement voor warmtapwater bedraagt 67,5%. Dit leidt tot een jaarlijks primair energiegebruik voor tapwaterverwarming van: $(12 \text{ opwekkingstoestellen} \times 19.605) / 0,675 = 348.533 \text{ MJ}$. Dit zou betekenen dat er geen sprake is van elektrische hulpenergie in het geval van warmtapwater.

Het jaarlijkse secundaire energiegebruik voor de energiefuncties verwarming en warmtapwater, zoals bepaald met het rekenprogramma, wordt samengevat in Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Jaarlijkse hoeveelheid secundaire energie per energiefunctie (verwarming)

Energiefunctie	Jaarlijkse hoeveelheid secundaire energie (MJ)
Ruimteverwarming	2.606.784
Tapwaterverwarming	235.260
Totaal	2.842.044

2.4.2. Uiteenzetting elektrisch energiegebruik

Het elektrisch energiegebruik wordt onderverdeeld in het energiegebruik voor verlichting, het energiegebruik voor ventilatie en ontvochtiging en het elektrische hulpenergiegebruik voor (tapwater)verwarming. In het TwenteBad is geen sprake van koeling of bevochtiging. Om de resultaten van het rekenprogramma te vergelijken met het werkelijke energiegebruik in Paragraaf 2.5, dient hier een omrekeningsslag gemaakt te worden van de hoeveelheid primaire energie (in MJ) naar de hoeveelheid geleverde elektrische energie (in kWh). In een gezamenlijke publicatie van Agentschap NL, het CBS, het ECN en het PBL uit 2012 wordt een kengetal van 7,3 gegeven voor de hoeveelheid primaire energie in MJ die nodig is om één kWh elektrische energie te leveren (Agentschap NL; Centraal Bureau voor de Statistiek; Energieonderzoek Centrum Nederland; Planbureau voor de Leefomgeving, 2012). Het gaat dan om het kengetal volgens de integrale methode voor het meest recente beschikbare jaar: 2010.

Het jaarlijkse primaire energiegebruik voor de energiefunctie verlichting bedraagt 1.087.520 MJ. Dit leidt tot een jaarlijks secundair energiegebruik voor deze energiefunctie van $1.087.520 / 7,3 = 148.975 \text{ kWh}$.

Het jaarlijkse primaire energiegebruik voor de energiefunctie ventilatie bedraagt 1.190.624 MJ. Om het energiegebruik voor ontvochtiging ook mee te nemen, moet hieraan de jaarlijkse hoeveelheid primaire energie voor de energiefunctie zomercomfort van 133.316 MJ worden toegevoegd. Dit leidt tot een jaarlijks secundair energiegebruik voor ventilatie en ontvochtiging van $1.323.940 / 7,3 = 181.361 \text{ kWh}$.

Het jaarlijkse primaire hulpenergiegebruik voor de energiefunctie verwarming bedraagt 77.139 MJ, zoals besproken in Paragraaf 2.4.1. Dit leidt tot een jaarlijks secundair energiegebruik voor deze energiefunctie van $77.139 / 7,3 = 10.567 \text{ kWh}$.

In Tabel 2.4 is het jaarlijkse elektriciteitsgebruik voor de van toepassing zijnde energiefuncties opgenomen. Door dit op te tellen wordt een totaal jaarlijks elektriciteitsgebruik gevonden van 340.903 kWh.

Tabel 2.4: Jaarlijkse hoeveelheid secundaire energie per energiefunctie (elektriciteit)

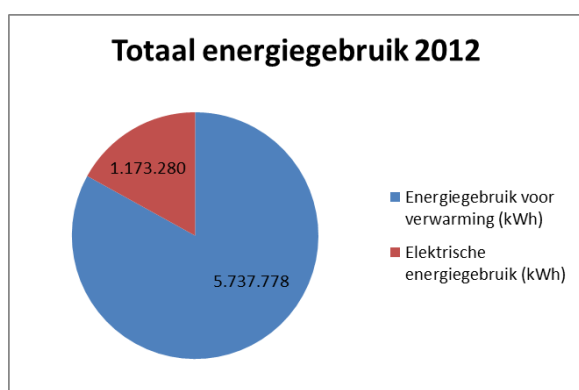
Energiefunctie	Jaarlijkse hoeveelheid secundaire energie (kWh)
Verlichting	148.975
Ventilatie en ontvochtiging	181.361
Elektrische hulpenergie t.b.v. (tapwater)verwarming	10.567
Totaal	340.903

2.5. Deelconclusies

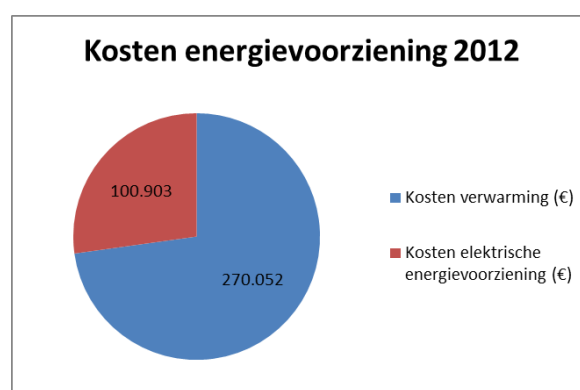
In Paragraaf 1.4 werd de eerste onderzoeksvraag genoemd. Deze luidt:

Wat is het totale en theoretische energiegebruik van het TwenteBad?

Het totale energiegebruik van het TwenteBad is bepaald aan de hand van energierekeningen. Uit facturen van Warmtenet Hengelo blijkt dat het totale secundaire energiegebruik voor verwarming in het jaar 2012 ongeveer 20.656 GJ bedroeg. De totale kosten ervoor bedroegen € 270.052,46 excl. btw. Aangezien het jaar 2012 366 dagen had, komt dit overeen met gemiddeld: $20.656 \times 10^9 / (366 \times 24 \times 60 \times 60) = 653.207,85$ Watt. Omgerekend naar kilowattuur wordt een jaarlijks energiegebruik voor verwarming van 5.737.778 kWh gevonden. Uit facturen van Essent en Enexis blijkt dat het totale elektriciteitsgebruik 1.173.280 kWh bedroeg in 2012. De totale kosten voor de elektrische energievoorziening van het TwenteBad bedroegen € 100.903,49 excl. btw in dat jaar. In totaal bedraagt het jaarlijkse secundaire energiegebruik in het TwenteBad daarmee 6.911.058 kWh. In Figuur 2.5 is te zien dat het overgrote deel van het energiegebruik van het TwenteBad (83,0%) bestaat uit het energiegebruik voor verwarming. In Figuur 2.6 is te zien dat bijna driekwart (72,8%) van de jaarlijkse kosten voor de energievoorziening van het TwenteBad bestaan uit de kosten voor verwarming.

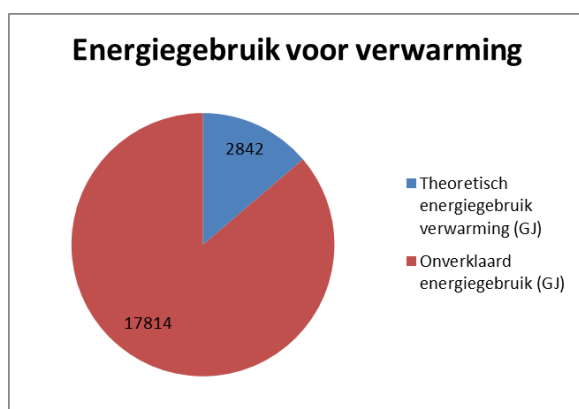


Figuur 2.5: Totaal secundair energiegebruik in 2012

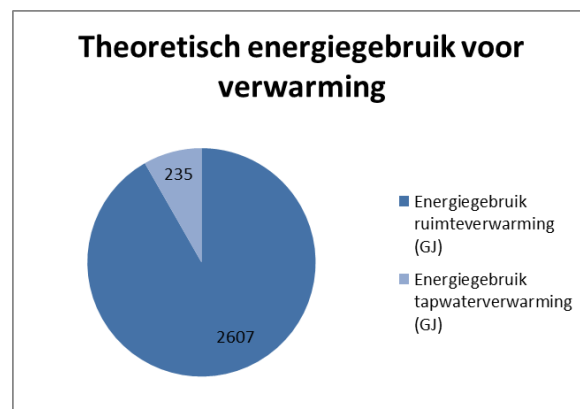


Figuur 2.6: Kosten energievoorziening in 2012 (excl. btw)

Het energiegebruik voor verwarming bestaat uit het energiegebruik voor de verwarming van ruimtes en tapwater. Met het EPG rekenpakket Uniec 2.0 is het jaarlijkse primaire energiegebruik voor deze energiefuncties berekend. Voor ruimteverwarming bedraagt dit 2.974 GJ en voor tapwaterverwarming bedraagt dit 349 GJ. Dit betreft het energiegebruik voor verwarming en de elektrische hulpenergie die nodig is voor de warmteopwekking en -distributie. Met het rendement van de warmteopwekkings-



Figuur 2.7: Secundair energiegebruik voor verwarming



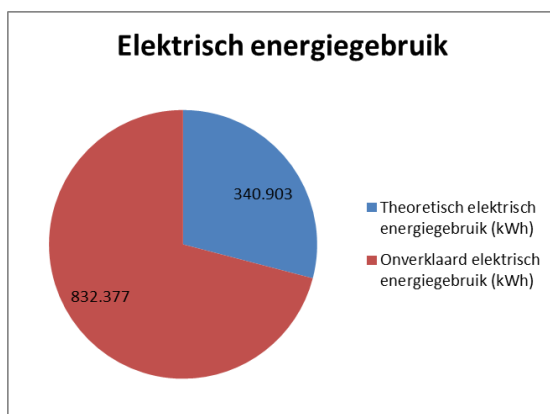
Figuur 2.8: Theoretisch secundair energiegebruik voor verwarming

systemen is hieruit handmatig het secundaire energiegebruik voor verwarming exclusief elektrische hulpenergie berekend. Deze theoretische waarden verklaren slechts 13,8% van het totale energiegebruik voor verwarming, afgeleid uit facturen (Figuur 2.7). Een deel van het door de energieprestatieberekening onverklaarde energiegebruik voor verwarming wordt veroorzaakt door tapwaterverwarming voor de buitenbaden, die niet zijn meegenomen in de berekening.

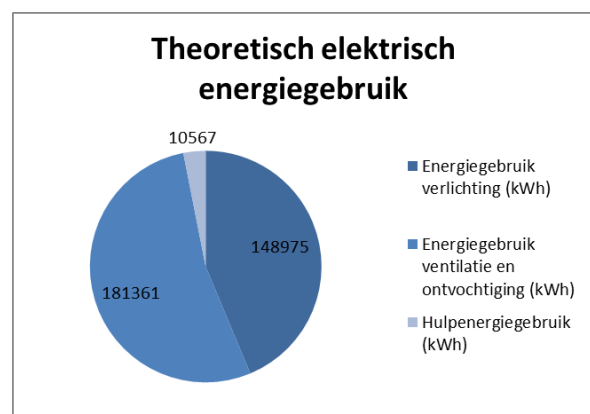
In Figuur 2.8 is te zien dat het grootste deel van het theoretisch verklaarde energiegebruik (91,7%) het energiegebruik voor ruimteverwarming betreft. De overige 8,3% komt ten goede aan tapwaterverwarming.

Het totale elektrische energiegebruik bestaat uit het energiegebruik voor verlichting, ventilatie en ontvochtiging, hulpenergie en apparatuur. In energieprestatieberekeningen wordt het energiegebruik voor apparatuur niet meegenomen. Het gebruikte rekenprogramma geeft een jaarlijks primair energiegebruik voor de energiefunctie verlichting van 1.088 GJ. Voor de energiefunctie ventilatie en ontvochtiging is dat 1.324 GJ. Het primaire hulpenergiegebruik bedraagt 77 GJ. Hieruit is handmatig het secundaire energiegebruik (in kWh) berekend. Deze theoretische waarden verklaren slechts 29,1% van het totale elektrische energiegebruik, afgeleid uit facturen (Figuur 2.9). Een deel van het door het rekenprogramma onverklaarde energiegebruik zal door apparatuur veroorzaakt worden.

Uit Figuur 2.10 is af te leiden dat 43,7% van het theoretische elektrische energiegebruik wordt veroorzaakt door verlichting. 53,2% Van het theoretische elektrische energiegebruik wordt veroorzaakt door ventilatie en ontvochtiging. De rest van het door de energieprestatieberekening verklaarde elektrische energiegebruik wordt veroorzaakt door het elektrische hulpenergiegebruik.



Figuur 2.9: Secundair elektrisch energiegebruik



Figuur 2.10: Theoretisch secundair elektrisch energiegebruik

Klaarblijkelijk is een energieprestatieberekening niet geschikt om het energiegebruik van het TwenteBad te verklaren: het grootste deel van het energiegebruik voor verwarming en het elektrische energiegebruik wordt niet verklaard. In Hoofdstuk 3 zal daarom het werkelijk energiegebruik op componentniveau onderzocht worden.

3. Werkelijk energiegebruik TwenteBad, op componentniveau

Uit de resultaten van de energieprestatieberekening, besproken in de Paragrafen 2.4 en 2.5, bleek dat dit geen geschikte methode is om het totale energiegebruik van het TwenteBad te verklaren. Daarom wordt in dit hoofdstuk bepaald wat het energiegebruik van de energiefuncties tapwaterverwarming, verlichting en verwarming werkelijk is. Verder wordt de thermische schil van het TwenteBad gecontroleerd door middel van infraroodonderzoek.

3.1. Inleiding

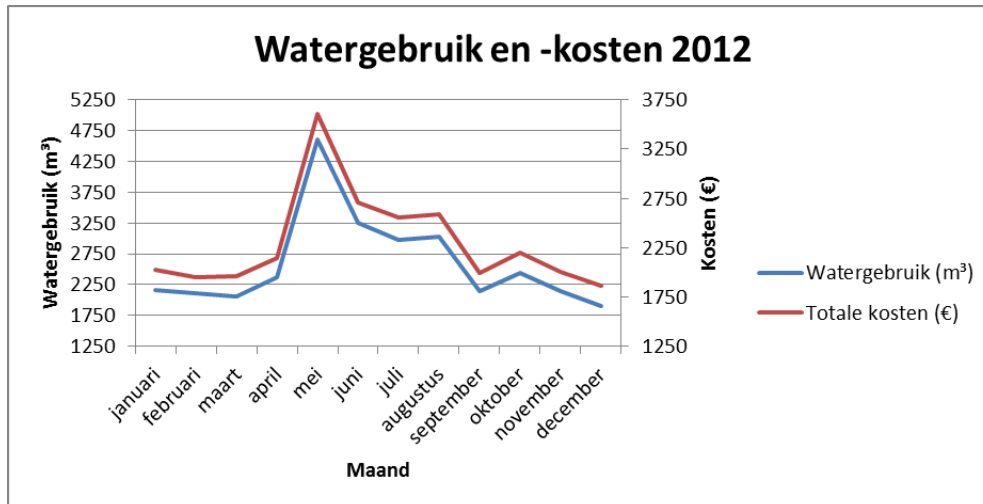
In Paragraaf 2.5 werd het theoretische energiegebruik van het TwenteBad, bepaald volgens drie NEN-normen, vergeleken met het totale werkelijke energiegebruik, bepaald uit facturen van het jaar 2012. De waarden die hiermee werden gevonden, stemmen niet met elkaar overeen. Zo werd voor de energiefunctie ruimteverwarming een theoretisch jaarlijks secundair energiegebruik gevonden van 2.607 GJ. Dat bedraagt slechts 12,6% van het totale energiegebruik voor verwarming en lijkt daarmee onderschat. De reden hiervoor is dat voor de bepaling van de warmtebehoefte in NEN 7120 gerekend wordt met een binnentemperatuur van 20 °C voor sport-, kantoor- en bijeenkomstfuncties. De temperatuur van ruimtes in het TwenteBad is echter hoger; tot wel 32,5 °C in het instructiebad. Daarnaast wordt in NEN 7120 gerekend met een gereduceerde of uitgeschakelde thermostaat gedurende veertien uren per dag en twee dagen per week voor sport-, kantoor- en bijeenkomstfuncties. Het TwenteBad wordt echter dag en nacht, zeven dagen per week, verwarmd. De energiebehoefte voor verwarming die rekenprogramma Uniec2.0, zich baserend op NEN 7120, geeft, zal daarom lager zijn dan in werkelijkheid het geval is. Iets dergelijks geldt ook voor tapwaterverwarming. Voor de energiefunctie warmtapwater gaf het rekenprogramma een jaarlijks primair energiegebruik van 349 GJ. Dit werd omgerekend naar een secundair energiegebruik van 235 GJ, slechts 1,1% van het totale energiegebruik voor verwarming van het TwenteBad in 2012 bepaald uit facturen. Het ligt voor de hand dat het werkelijke energiegebruik voor tapwaterverwarming hoger zal zijn. Immers, het TwenteBad is geen sporthal of fitnesscentrum waar slechts warm tapwater als kraan- en douchewater wordt gebruikt, maar een openbaar zwembad waarin grote hoeveelheden bassinwater worden verwarmd. In Paragraaf 3.2 wordt daarom het werkelijke energiegebruik voor tapwaterverwarming bepaald.

Voor de energiefunctie verlichting werd een jaarlijks secundair energiegebruik gevonden van 148.975 kWh, circa 12,7% van het totale elektrische energiegebruik in 2012. NEN 7120 gaat echter van een kleiner aantal branduren voor de verlichting van sport- en bijeenkomstfuncties uit dan in de praktijk van het TwenteBad het geval is. In Paragraaf 3.4 wordt daarom het werkelijke energiegebruik voor verlichting berekend met het werkelijke aantal branduren. Het energiegebruik van apparatuur wordt niet meegenomen in energieprestatieberekeningen. In een openbaar zwembad wordt vermoedelijk veel elektrische energie gebruikt voor het aandrijven van pompen en filters en dergelijke. In Paragraaf 3.5 wordt aandacht besteed aan het energiegebruik van apparatuur.

Kortom, omdat in de hier van toepassing zijnde NEN-normen bepaalde aannamen worden gedaan, stemt het energiegebruik dat hiermee wordt bepaald niet overeen met de praktijk van een openbaar zwembad als het TwenteBad.

3.2. Tapwaterverwarming

Voor bassinwater, douchewater en kraanwater wordt hier het werkelijke energiegebruik bepaald. Daarvoor zijn de hoeveelheden water die voor elk van deze functies worden gebruikt achterhaald. Diverse watermeters in het TwenteBad meten deze hoeveelheden. Uit facturen van het waterbedrijf Vitens blijkt dat er in 2012 31.168 m³ water aan het TwenteBad geleverd werd. De kosten ervoor bedroegen € 27.596,82 incl. btw. In Figuur 3.1 worden het maandelijkse watergebruik en de kosten ervoor grafisch weergegeven. Dit betreft het watergebruik voor het TwenteBad exclusief de horeca en de personeelsruimten. Het watergebruik voor die twee onderdelen wordt apart gefactureerd.

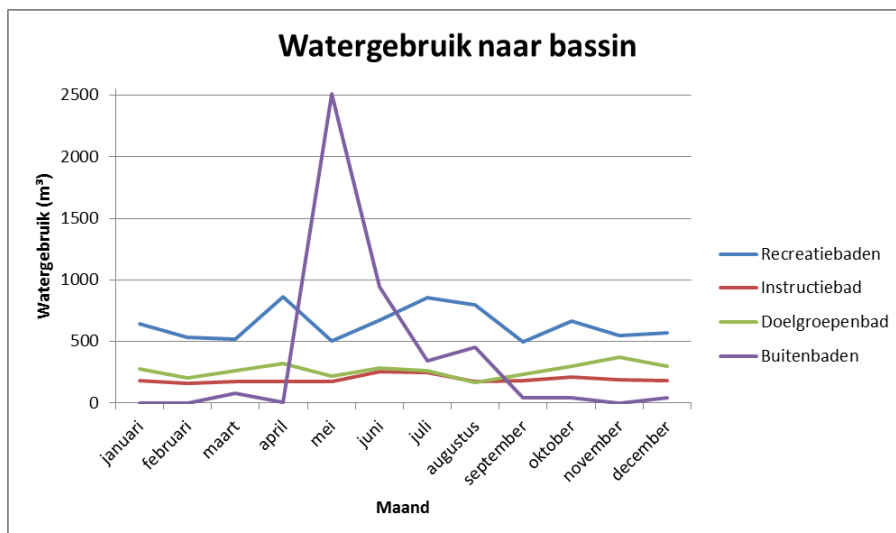


Figuur 3.1: Watergebruik en –kosten in 2012

In Figuur 3.1 is een piek te zien in het watergebruik in de maand mei. In die maand werden de buitenbaden gevuld. De buitenbaden waren geopend in de maanden juni, juli en augustus, hetgeen het hogere watergebruik in die maanden verklaart. In Tabel G.1 in Bijlage G is het maandelijkse watergebruik opgenomen, alsmede de uitgesplitste kosten ervoor.

3.2.1. Bassinwater

Het maandelijkse watergebruik voor de bassins in het recreatiegedeelte, het instructiebad, het doelgroepenbad en de buitenbaden is weergegeven in Figuur 3.2. In de maand mei werd het diepe buitenbad gevuld en is er dan ook een piek te zien in het watergebruik voor dit bassin. Voor de binnenbaden is het watergebruik redelijk constant over het jaar. Deze bassins werden in 2012 alleen gespoeld: een deel van het water werd vervangen door vers water. Hoe vaak en hoeveel water er wordt ververs is afhankelijk van de waterkwaliteit van het bassinwater, hetgeen samenhangt met het aantal bezoekers. De wetgever schrijft voor dat er wekelijks per bezoeker 15 – 30 liter water aan het bassinwater moet worden toegevoegd, afhankelijk van de waterkwaliteit (art. 8, lid 1, Besluit hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden) (Overheid.nl, 1984). In maanden waarin het watergebruik relatief laag was, waren de bezoekersaantallen wellicht lager.



Figuur 3.2: Watergebruik (m³) naar bassin in 2012

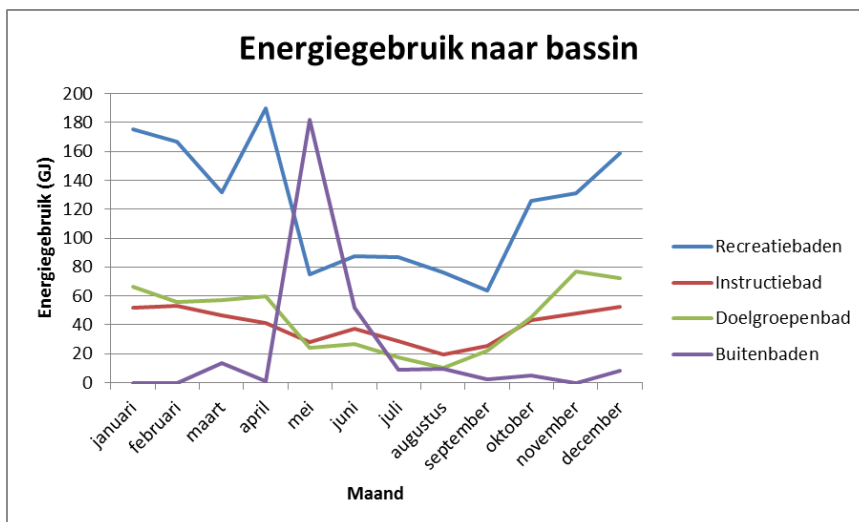
In Tabel G.2 in Bijlage G is het maandelijkse watergebruik per bassin opgenomen. Het totale watergebruik voor het vullen en spoelen van bassins bedroeg in 2012 17.641 m³. Dat is 56,6% van het totale watergebruik van het TwenteBad in 2012.

Het secundaire energiegebruik voor de verwarming van bassinwater wordt nu als volgt berekend:

$$\text{Energiegebruik} = \text{watergebruik (m}^3\text{)} \times (1/\text{distributierendement}) \times (1/\text{afgifterendement}) \times (\text{gewenste temperatuur bassinwater (}^{\circ}\text{C)} - \text{temperatuur leidingwater (}^{\circ}\text{C)}) \times \text{soortelijke warmte zuiver water (GJ m}^{-3}\text{K}^{-1}\text{)}$$

Voor het distributierendement wordt uitgegaan van een waarde van 0,50: de forfaitaire waarde die NEN 7120 geeft voor warmwaterleidingen in utiliteitsgebouwen met ten minste twintig millimeter isolatie. Conform NEN 7120 wordt voor het afgifterendement uitgegaan van een waarde van 0,80 voor een gemiddelde lengte van de uittapleidingen van meer dan drie meter (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012). De gewenste temperatuur van het zwemwater verschilt per bassin. Hiervoor zijn setpointtemperaturen gebruikt. Ook deze zijn weergegeven in Tabel G.2. De (maandgemiddelde) temperatuur van leidingwater wordt niet gemeten. Bij gebrek aan meer accurate gegevens, wordt deze gelijk verondersteld aan de bodemtemperatuur op één meter diepte. De maandgemiddelde waarden voor 2012 in Tabel G.3 in Bijlage G werden gemeten in het Duitse Potsdam, nabij Berlijn, waar in 2012 een gemiddelde temperatuur werd gemeten van 9,6 °C (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, n.d.), tegenover 9,8 °C in Twente (KNMI, n.d.). NEN 7120 geeft een soortelijke warmte voor water van 4.190 J kg⁻¹ K⁻¹ (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012).

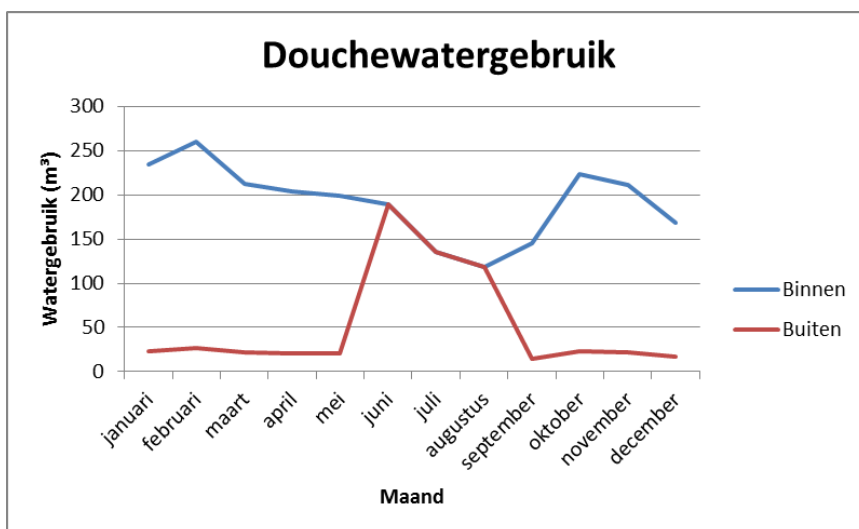
In Figuur 3.3 is het energiegebruik naar bassin uitgezet voor de maanden in het jaar 2012. De binnenbaden (recreatiebaden, instructiebad en doelgroepenbad) hebben een lager energiegebruik in de zomermaanden, omdat de temperatuur van het verse leidingwater dan hoger is dan in de wintermaanden. Voor het diepe buitenbad is er een piek in de maand mei, omdat dit bassin in die maand gevuld werd. Het watergebruik voor de buitenbaden is voor mei en na augustus niet altijd nul, omdat er in deze maanden een blaashal over het diepe buitenbad gezet wordt, waardoor het bad bruikbaar blijft. Ook in die maanden wordt er dus gespoeld. In Tabel G.4 in Bijlage G is te zien dat het totale jaarlijkse energiegebruik voor bassinwaterverwarming 2.763 GJ bedraagt. Dat is 13,4% van het totale energiegebruik voor verwarming, bepaald uit facturen.



Figuur 3.3: Energiegebruik (GJ) naar bassin in 2012

3.2.2. Douchewater

Het TwenteBad beschikt over douchevoorzieningen binnen en buiten. Alleen het watergebruik voor de douches binnen wordt gemeten. Voor het douchewatergebruik buiten wordt aangenomen dat dit gebruik in de maanden juni, juli en augustus 2012 gelijk was aan het douchewatergebruik binnen. Van september tot mei wordt er een blaashal over het diepe buitenbad gezet en wordt er derhalve ook gebruikgemaakt van de douches buiten (die zich overigens in een sanitairgebouw bevinden). Voor deze maanden wordt uitgegaan van een douchewatergebruik van 10% van het douchewatergebruik binnen. Het maandelijkse watergebruik voor douches is weergegeven in Figuur 3.4 en in Tabel G.5 in Bijlage G. Het totale douchewatergebruik bedroeg circa 2.935 m³ in 2012.

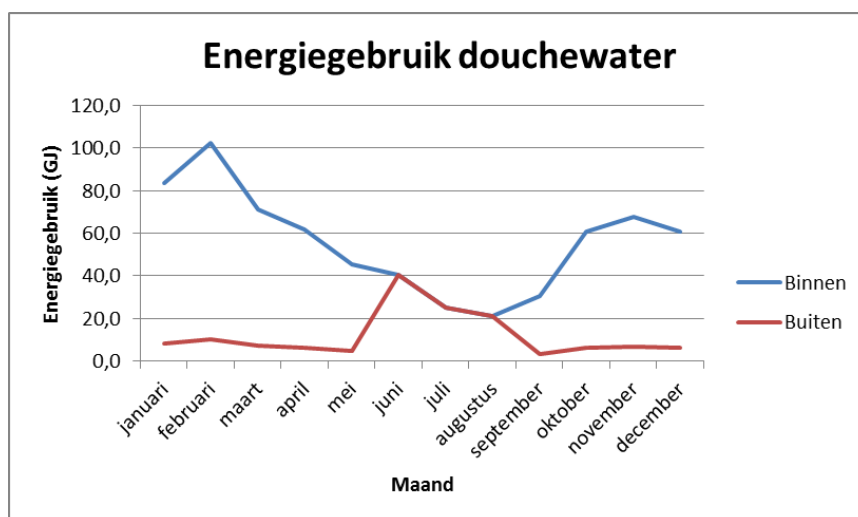


Figuur 3.4: Douchewatergebruik (m³) in 2012

Het secundaire energiegebruik voor de verwarming van douchewater wordt op dezelfde manier berekend als dat voor de verwarming van bassinwater:

$$\text{Energiegebruik} = \text{watergebruik (m}^3\text{)} \times (1/\text{distributierendement}) \times (1/\text{afgifterendement}) \times (\text{gewenste temperatuur douchewater (}^{\circ}\text{C)} - \text{temperatuur leidingwater (}^{\circ}\text{C)}) \times \text{soortelijke warmte zuiver water (GJ m}^{-3}\text{K}^{-1}\text{)}$$

Het douchewater wordt verondersteld een temperatuur te hebben van 38 °C op het moment dat het uit de kraan komt. De overige parameters zijn gelijk aan die genoemd in Paragraaf 3.2.1. In Figuur 3.5 is het energiegebruik voor douchewater uitgezet voor de maanden in het jaar 2012.



Figuur 3.5: Energiegebruik douchewater (GJ) in 2012

In Tabel G.6 in Bijlage G is te zien dat het totale energiegebruik voor douchewaterverwarming naar schatting 816 GJ bedroeg in 2012. Dat is 4,0% van het totale energiegebruik voor verwarming, bepaald uit facturen.

3.2.3. Kraanwater

Zoals gezegd betreft het watergebruik van 31.168 m³ in 2012 het watergebruik van het TwenteBad exclusief de horeca en personeelsruimten. Hiervan werd 17.641 m³ gebruikt als zwembadwater en 2.935 m³ als douchewater. De resterende 10.592 m³ water werd gebruikt voor schoonmaak, het terugspoelen van filters, toiletten en kraanwater. Bij geen van deze functies is er sprake van een verwarming van het water.

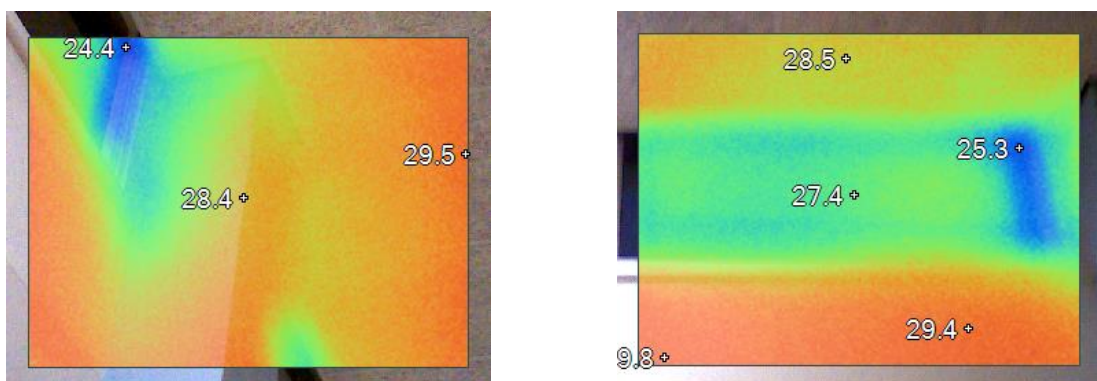
Het energiegebruik voor warm tapwater in de horeca bestaat uitsluitend uit kraanwater. Hiervoor kan dan ook de forfaitaire waarde worden gebruikt die NEN 7120 geeft voor de gebruiksfunctie bijeenkomstfunctie: 10 MJ per m² gebruiksooppervlak per jaar. De horeca heeft een gebruiksooppervlak van 469,11 m², hetgeen leidt tot een jaarlijks energiegebruik voor warm tapwater van 4.691 MJ of 4,7 GJ.

Het energiegebruik voor warm tapwater in de personeelsruimten bestaat uit kraanwater en water voor de wasmachine. De forfaitaire waarde die NEN 7120 geeft voor een kantoorfunctie bedraagt 5 MJ per m² gebruiksooppervlak per jaar. Het gebruiksooppervlak voor de gebruiksfunctie kantoorfunctie bedraagt 85,60 m², hetgeen leidt tot een jaarlijks energiegebruik van 428 MJ. Zoals gezegd geeft NEN 7120 een forfaitaire waarde voor het energiegebruik voor warmtapwater voor de gebruiksfunctie bijeenkomstfunctie van 10 MJ per m² gebruiksooppervlak per jaar. Het gebruiksooppervlak voor deze gebruiksfunctie bedraagt 32,28 m², hetgeen leidt tot een jaarlijks energiegebruik van 323 MJ. In totaal bedraagt het jaarlijkse energiegebruik voor tapwaterverwarming in de personeelsruimten daarmee 751 MJ. Het totale energiegebruik voor kraanwater bedraagt 5,4 GJ.

3.3. Controle thermische schil door middel van infraroodonderzoek

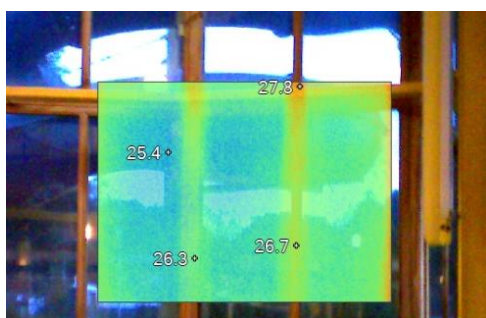
In Paragraaf 2.3.2 werd de infiltratie van het gebouw besproken. Dit betreft de luchtvolumestroom door luchtlekken in de gebouwschil en is derhalve van invloed op het energiegebruik voor verwarming. Het rekenprogramma gaf voor het recreatiegedeelte en instructiebad een specifieke luchtvolumestroom ten gevolge van infiltratie ($q_{v10;spec}$) van $0,49 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$. Voor de horeca, het doelgroepengedeelte, de kleed-, douche- en toiletruimten en ontvangsthallen en de personeelsruimten gaf het rekenprogramma een specifieke luchtvolumestroom ten gevolge van infiltratie van $0,59 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$.

In de praktijk komen er bij gebouwen echter ook luchtlekken voor, voornamelijk bij de kieren van ramen en deuren, bij de aansluiting van kozijnen en gevels, bij de aansluitingen van daken op gevels en bij aansluitingen met de begane-grondvloer (Kuindersma, 2009). Om dit soort koudebruggen op te sporen, zijn metingen met een infraroodcamera verricht. Koudebruggen zijn met een warmtebeeldcamera waar te nemen door afwijkende oppervlaktetemperaturen. Er zijn alleen noemenswaardige warmteverliezen door koudebruggen gemeten bij de kleedruimten, bij de overgang van betonnen kolommen naar de ramen (Figuren 3.6 en 3.7).

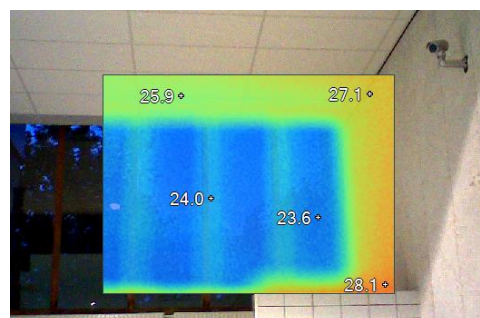


Figuren 3.6 en 3.7: Warmtebeelden koudebruggen kleedruimten

De warmteweerstanden van de scheidingsconstructies werden besproken in Paragraaf 2.3.3. Door metingen met een infraroodcamera is gevalideerd dat er inderdaad sprake is van relatief veel warmteverlies door ramen, kozijnen en deuren. Dit stemt overeen met de aanname voor de U-waarden van deze transparante constructies van $3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ofwel een R_c van $0,32 \text{ m}^2\text{K/W}$) en $3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ofwel een R_c van $0,29 \text{ m}^2\text{K/W}$). Dit is goed te zien in de Figuren 3.8 en 3.9. In Figuur 3.8 is te zien dat de houten kozijnen een temperatuur hebben van $26,3$ tot $27,8 \text{ }^\circ\text{C}$, en de ramen een temperatuur van zo'n $25,4 \text{ }^\circ\text{C}$, tegenover een ruimtetemperatuur in het recreatiegedeelte van $31,0 \text{ }^\circ\text{C}$. In het doelgroepengedeelte (Figuur 3.9) is de ruimtetemperatuur $29 \text{ }^\circ\text{C}$. Daar werd een temperatuur van de kozijnen en ramen gemeten van $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$, respectievelijk $23,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

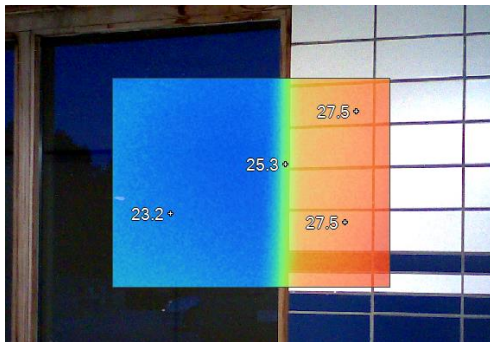


Figuur 3.8: Warmtebeeld glaspartij recreatiegedeelte

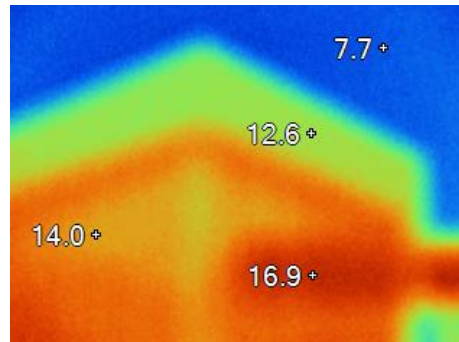


Figuur 3.9: Warmtebeeld ramen doelgroepengedeelte

Vooral het verschil met de buitengevels valt hier op. In Figuur 3.10 is een warmtebeeld opgenomen van een gedeelte van een raam en een gedeelte van de muur in de verkeersruimte van de kleed-, douche- en toiletruimten. De muur was zo'n 27,5 °C ten tijde van de meting, het kozijn 2,2 graden kouder, en het raam nog eens 2,1 graden kouder. Ook bij metingen van buiten wordt het verschil tussen isolatiewaarden tussen gevels en ramen en kozijnen duidelijk. In Figuur 3.11 is een warmtebeeld van de toren (recreatiegedeelte) te zien. De temperatuur van de ramen en kozijnen was zo'n 14,0 °C, die van de gevels (bekleed met metalen damwanden) 12,6 °C. De glijbaan, waar ten tijde van de meting warm water doorheen liep, was 16,9 °C aan de buitenzijde.

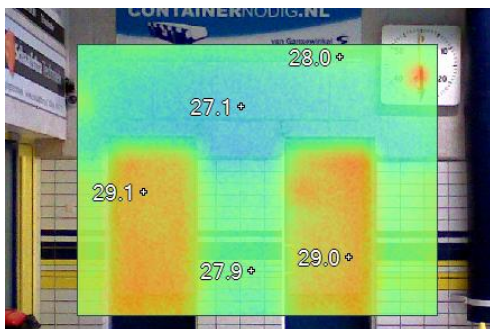


Figuur 3.10: Warmtebeeld verkeersruimte



Figuur 3.11: Warmtebeeld toren (van buiten gemeten)

Warmtebeelden van binnenwanden en deuren naar aangrenzende verwarmde ruimten laten hetzelfde zien. In Figuur 3.12 is een warmtebeeld van een binnenwand van het doelgroepengedeelte (ruimtetemperatuur 29,0 °C) met twee deuren naar het recreatiegedeelte (ruimtetemperatuur 31,0 °C) te zien. Ook hier zijn de deuren warmer dan de binnenwanden.

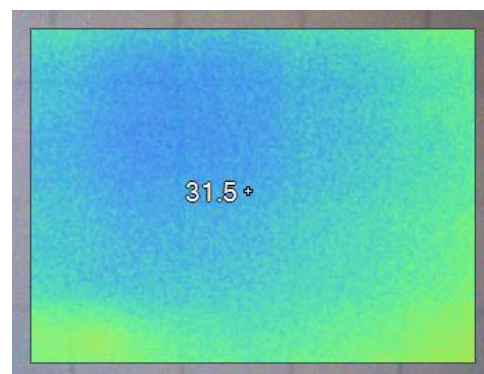


Figuur 3.12: Warmtebeeld binnenwand met deuren (doelgroepengedeelte - recreatiegedeelte)

De plafonds lijken betrekkelijk goed geïsoleerd, in aanmerking genomen dat de temperatuur hiervan niet sterk afwijkt van de ruimtetemperatuur (Figuren 3.13 en 3.14).

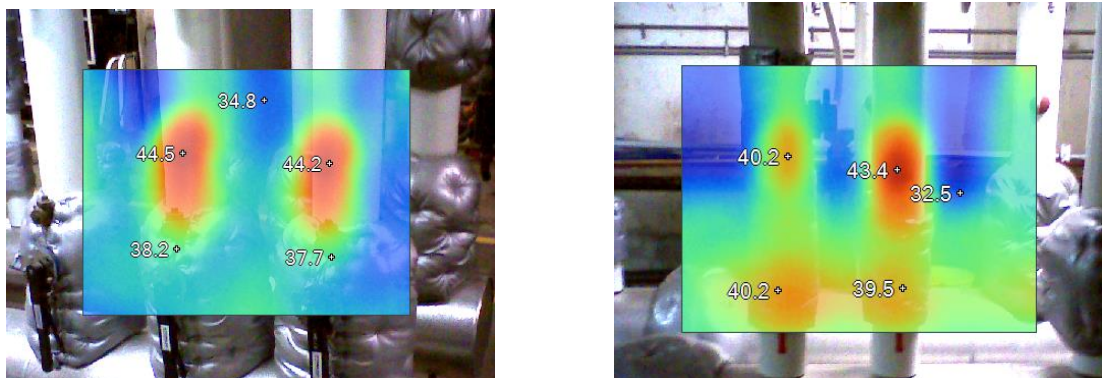


Figuur 3.13: Warmtebeeld plafond doelgroepengedeelte



Figuur 3.14: Warmtebeeld plafond recreatiegedeelte

Ten slotte is ook gemeten aan de isolatie van warmwaterleidingen. Deze leidingen zijn bedekt met ten minste 20 mm isolatie, en de meeste van deze leidingen zijn gedeeltelijk extra geïsoleerd. In de warmtebeelden (Figuren 3.15 en 3.16) valt op dat de leidingen direct boven de extra isolatie warm worden. De temperatuur van het water in de leidingen bedroeg op het moment van meten 60 °C.



Figuren 3.15 en 3.16: Warmtebeelden warmwaterleidingen

3.4. Verlichting

Het werkelijke energiegebruik voor verlichting wordt in deze paragraaf bepaald. In Paragraaf 2.3.6 werd al besproken dat de verschillende rekenzones in het TwenteBad verschillende verlichtingstypen hebben. In Tabel F.1 in Bijlage F is voor elke rekenzone het type verlichting en het aantal lampen opgenomen, alsmede het vermogen van de lampen en de voorschakelapparatuur, het totale vermogen en het geïnstalleerde vermogen per m² ($P_{n,spec}$) dat daaruit voortvloeit.

In Tabel F.2 in Bijlage F is voor elke rekenzone het type regeling, de dimensieloze factor voor het schakel-/regelsysteem (F_D) die daaruit voortvloeit, het geïnstalleerde vermogen per m², het gebruiksoppervlak en het werkelijke aantal branduren per jaar opgenomen. De bepaling van het aantal branduren per rekenzone per jaar wordt toegelicht in Tabel F.3 in Bijlage F. Conform NEN 7120 wordt voor het elektrische energiegebruik voor parasitair vermogen een waarde van 3 kWh/m² per jaar aangehouden. Het jaarlijkse elektrische energiegebruik voor verlichting is per rekenzone opgenomen in Tabel 3.1 en bedraagt 218.331 kWh voor het TwenteBad in zijn geheel. Met het rekenprogramma Uniec2.0 werd een energiegebruik voor deze energiefunctie van slechts 148.975 kWh per jaar gevonden. De reden dat deze handmatig berekende waarde hoger is, is dat NEN 7120 voor sport-, bijeenkomst- en kantoorfuncties uitgaat van een maximale brandduur overdag van 2.200 uur per jaar een maximale brandduur 's avonds/'s nachts van 300 uur. Het aantal branduren blijkt in de praktijk echter hoger te zijn: van 4.283 uur per jaar voor het instructiebad, tot wel 5.200 uur per jaar voor de personeelsruimten.

Tabel 3.1: Werkelijk jaarlijks energiegebruik verlichting

Rekenzone	Jaarlijks energiegebruik (kWh)
Recreatiegedeelte	84.672
Instructiebad	26.810
Doelgroepengedeelte	47.257
Kleed-, douche en toiletruimten, ontvangsthal	41.266
Horeca	9.100
Personeelsruimten	9.226
Totaal	218.331

3.5. Apparatuur

Zoals gezegd wordt apparatuur niet betrokken bij de energieprestatieberekening van een gebouw. Voor zover mogelijk wordt het energiegebruik voor apparatuur in deze paragraaf bepaald. Het TwenteBad beschikt over de volgende apparatuur:

- Pompen voor bassinwater. Het gaat dan om installaties die zwembadwater naar de bassins toe, en weer uit de bassins pompen, maar ook om installaties die water naar de glijbanen en toestellen in de peuterbaden pompen.
- Zand- en koolfilters voor het reinigen van bassinwater.
- Het elektrolyseapparaat waarmee chloor uit zout gewonnen wordt.
- De whirlpool en de zonnebank.
- Frisdrank- en snoepautomaten in de ontvangsthal, personeelsruimten en het recreatiegedeelte.
- Elektrische apparatuur in (de keukens van) het horecagegedeelte.
- Elektronische toegangspoorten en de computer in de ontvangsthal.
- Computers en randapparatuur in de personeelsruimten.
- Huishoudelijke apparatuur in de personeelsruimten, zoals een koffiezetapparaat, een waterkoker, een wasmachine en dergelijke.

Het energiegebruik van de pompen voor bassinwater is niet bekend, evenals het energiegebruik van de zand- en koolfilters. Klok (2009) schat echter dat circa een derde van het elektriciteitsgebruik van een openbaar zwembad veroorzaakt wordt door waterbehandeling, omdat pompen een groot deel van de dag in bedrijf zijn om de waterkwaliteit te garanderen. Wel moet opgemerkt worden dat de circulatiepompen voor bassinwater zijn uitgerust met frequentieregelaars, hetgeen een besparing op het energiegebruik oplevert.

Het elektrolyseapparaat waarmee chloor uit zout gewonnen wordt, heeft een vermogen van 29,6 kW. De bedrijfsuren zijn variabel, en zijn gedurende twee weken, van 8 juli 2013 tot 22 juli 2013 genoteerd. Per etmaal was het apparaat gemiddeld zeven uren per dag in bedrijf. Zo zou een jaarlijks elektriciteitsgebruik gevonden worden van 75.628 kWh gedurende een jaar. Dit bedraagt 6,4% van het totale jaarlijkse elektriciteitsgebruik. Vermoedelijk is deze schatting aan de hoge kant. Immers, de bedrijfsuren werden gemeten in de drukke zomerperiode, wanneer er meer gespoeld (hogere watervraag) wordt, hetgeen resulteert in hogere vraag naar chloor.

Het energiegebruik van de zonnebank, whirlpool en elektrische toegangspoorten is onbekend en kon ook niet gemeten worden met een verbruiksmeter, daar deze apparaten krachtstroomaansluitingen hebben. De frisdrank- en snoepautomaten zijn echter aangesloten op de netspanning en hiervan is het vermogen dan ook gemeten. Voor de vijf automaten varieerde het vermogen van 240 tot 340 W, met een gemiddelde van 284 W. Deze automaten zijn dag en nacht in bedrijf in verband met koeling van de producten, hetgeen resulteert in een jaarlijks energiegebruik van 12.439 kWh.

Resteert het energiegebruik van elektrische apparatuur in het horecagegedeelte en computers, randapparatuur en huishoudelijke apparatuur in de personeelsruimten. Alleen het vermogen van de computers is gemeten, aangezien dit de enige apparatuur is die op een regelmatige basis gebruikt wordt. Het gemiddelde vermogen van de acht computers bedraagt 58 W. De computers worden gemiddeld zes uur per dag gedurende vijf dagen per week gebruikt, hetgeen resulteert in een jaarlijks energiegebruik van circa 724 kWh.

Bovenstaande wordt samengevat in Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Jaarlijks energiegebruik apparatuur

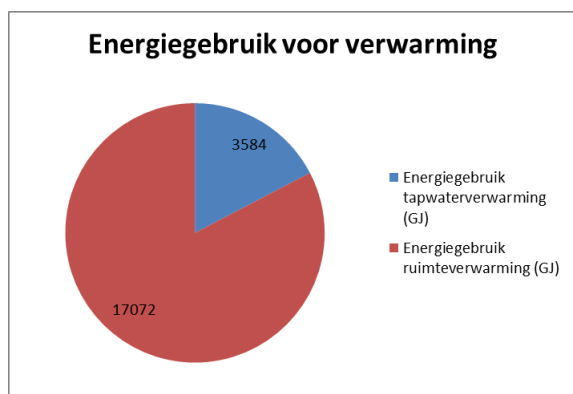
Apparatuur	Jaarlijks energiegebruik (kWh)
Pompen voor bassinwater, zand- en koolfilters	onbekend
Elektrolyseapparaat	75.628
Whirlpool en zonnebank	onbekend
Frisdrank- en snoepautomaten	12.439
Computers	724
Apparatuur horeca en huishoudelijke apparatuur personeelsruimten	onbekend

3.6. Deelconclusies

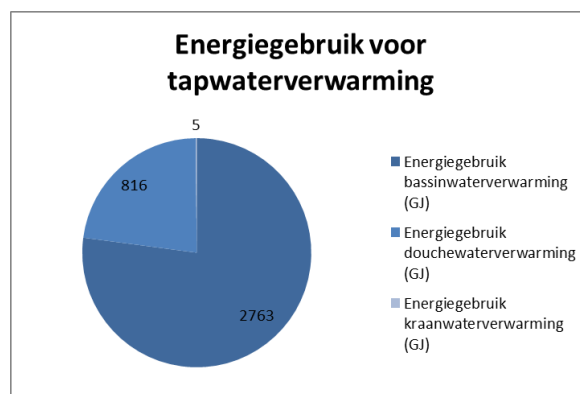
In Paragraaf 1.4 werd de tweede onderzoeksvraag genoemd. Deze luidt:

Wat is het werkelijke energiegebruik van het TwenteBad?

Het jaarlijks secundaire energiegebruik voor tapwaterverwarming blijkt niet 235 GJ te zijn, zoals werd berekend met het rekenprogramma Uniec2.0, maar zal in 2012 ongeveer 3.584 GJ hebben bedraagt. Het energiegebruik voor tapwaterverwarming bedraagt daarmee 17,4% van het totale secundaire energiegebruik voor verwarming, bepaald uit facturen. De overige 82,6% zal ten goede komen aan de verwarming van ruimtes, en de verwarming van de blaashal in de maanden september tot en met mei (Figuur 3.17). Klok (2009) stelt dat ongeveer twee derde van het energiegebruik voor verwarming gebruikt wordt voor de verwarming van zwembaden en andere ruimtes, en ongeveer één derde voor de verwarming van tapwater. De in dit hoofdstuk toegepaste berekeningen voor de warmtevraag van tapwater geven een lagere waarde voor deze energiefunctie. In Figuur 3.18 is het energiegebruik voor tapwaterverwarming uitgesplitst.



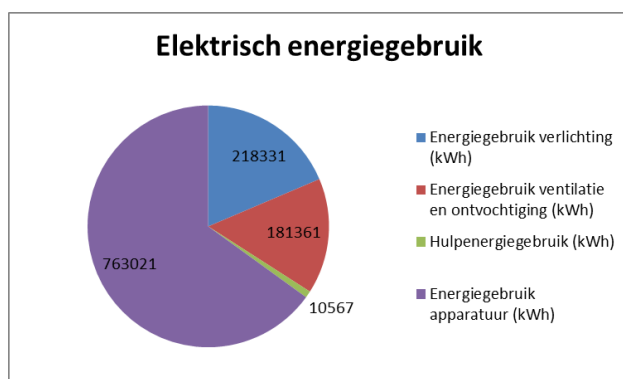
Figuur 3.17: Secundair energiegebruik voor verwarming in 2012



Figuur 3.18: Secundair energiegebruik voor tapwaterverwarming in 2012

77,1% Van het energiegebruik voor tapwaterverwarming wordt veroorzaakt door bassinwaterverwarming. 22,8% komt ten goede aan douchewaterverwarming. Een miniem deel van het secundaire energiegebruik voor tapwaterverwarming is te wijten aan de verwarming van kraanwater in de horeca en personeelsruimten.

Het jaarlijkse elektrische energiegebruik voor de energiefunctie verlichting blijkt niet 148.975 kWh te bedragen, zoals werd berekend met het rekenprogramma Uniec2.0, maar zo'n 218.331 kWh. In Figuur 3.19 is het elektrische energiegebruik uitgesplitst. 18,6% Van het elektrische energiegebruik komt ten



Figuur 3.19: Elektrisch energiegebruik

goede aan verlichting. Het elektriciteitsgebruik voor ventilatie en ontvochtiging dat Uniec2.0 gaf, bedraagt 15,5 procent van het totale elektrische energiegebruik. Klok (2009) schat echter dat een derde van het elektriciteitsgebruik van een openbaar zwembad veroorzaakt wordt door de ventilatoren en pompen voor klimaatinstallaties, omdat er sprake is van veel verdamping in een openbaar zwembad. Het hulpenergiegebruik bedraagt 0,9% van het totale elektriciteitsgebruik. Aangezien het elektrische energiegebruik van het TwenteBad bestaat uit de

vier posten genoemd in Figuur 3.19, kan geschat worden dat 65,0% van het elektriciteitsgebruik verklaard wordt door het gebruik van apparatuur.

In Tabel 3.3 is het theoretische en werkelijke jaarlijkse secundaire energiegebruik van het TwenteBad weergegeven.

Tabel 3.3: Theoretisch en werkelijk jaarlijks secundaire energiegebruik

Energiefunctie	Theoretisch energiegebruik		Werkelijk energiegebruik	
	(GJ)	(kWh)	(GJ)	(kWh)
Ruimteverwarming	2.607	724.167	17.072	4.742.222
Warmtapwater	235	65.278	3.584	995.556
Verlichting	536	148.975	786	218.331
Ventilatie & ontvochtiging	653	181.361	653	181.361
Elektrische hulpenergie t.b.v. verwarming	38	10.567	38	10.567
Apparatuur	0	0	2.747	763.021
Totaal	4.069	1.130.347	24.880	6.911.058

Het werkelijke energiegebruik voor ruimteverwarming is in werkelijkheid hoger dan berekend met rekenprogramma Uniec2.0. Zoals vermeld in Paragraaf 3.1 is de reden hiervoor dat in NEN 7120 gerekend wordt met een lagere binnentemperatuur dan waarvan in het TwenteBad sprake is. Ook gaat NEN 7120 uit van een gereduceerde of uitgeschakelde thermostaat gedurende veertien uren per dag en twee dagen per week, terwijl het TwenteBad dag en nacht, zeven dagen per week, verwarmd wordt. Zoals verwacht is ook het werkelijke energiegebruik voor de energiefunctie warmtapwater hoger dan berekend met Uniec2.0. De reden hiervoor is de grote warmtapwatervraag van een openbaar zwembad, waarmee in NEN 7120 geen rekening gehouden wordt.

Het energiegebruik voor verlichting is in werkelijkheid hoger dan bepaald met het rekenprogramma, omdat NEN 7120 voor sport-, bijeenkomst- en kantoorfuncties uitgaat van een maximale brandduur van 2.500 uur per jaar. Het aantal branduren blijkt in de praktijk echter hoger te zijn: van 4.283 uur per jaar voor het instructiebad, tot wel 5.200 uur per jaar voor de personeelsruimten. Voor ventilatie en ontvochtiging en elektrische hulpenergie is het werkelijke energiegebruik niet bepaald en wordt er uitgegaan van de theoretisch berekende waarden. Het energiegebruik van apparatuur wordt niet bepaald met energieprestatieberekeningen.

4. Verlaging van het energiegebruik van het TwenteBad

De derde onderzoeksvraag richt zich op de verbetering van de energieprestatie van het TwenteBad. Daartoe wordt de vraag beantwoord wat een energiezuinig openbaar zwembad is. Dat gebeurt op internationale en nationale schaal. Vervolgens worden mogelijkheden voor energiebesparing geïnterviewd, alsmede mogelijkheden voor het opwekken van gebouwgebonden energie.

4.1. Inleiding

Zoals vermeld in Paragraaf 1.2, is zowel energiebesparing als een duurzame energievoorziening belangrijk als het gaat om het zoeken naar oplossingen voor de energieproblematiek en de daarmee samenhangende milieuproblematiek. In de afgelopen jaren zijn er dan ook verschillende maatregelen op beide terreinen genomen in het TwenteBad. In 2011 is er een houtkachel geplaatst, waardoor nu naast de fossiele brandstof aardgas de hernieuwbare brandstof hout kan worden gebruikt ten behoeve van de verwarming van het zwembad. In 2012 is een deel van het dak van het TwenteBad geïsoleerd en zijn er vier nieuwe luchtbehandelingskasten met warmteterugwininstallaties geplaatst. Verder is er in de recreatiebaden LED onderwaterverlichting geïnstalleerd en is de conventionele TL verlichting in het doelgroepegedeelte vervangen door hoogfrequente TL verlichting.

De afgelopen jaren is bij veel Nederlandse openbare zwembaden het energiegebruik onder de loep genomen. Dit heeft geleid tot verbouwingen van zwembaden waardoor deze minder energie zijn gaan gebruiken en (plannen voor) het bouwen van nieuwe, energiezuinige, openbare zwembaden. Om de vraag te beantwoorden wat een energiezuinig openbaar zwembad is voor Nederlandse begrippen en inzicht te krijgen in de implementatie van energiebesparende maatregelen en het opwekken van gebouwgebonden energie, is de beheerder van het Geusseltbad in Maastricht, dat beweert het duurzaamste zwembad van Nederland te zijn (Bekker, 2013), benaderd voor een interview. Verder is contact opgenomen met de voorzitter van stichting Sportcentrum de Dinkel Twente. Deze stichting zet zich in voor de vervanging van het huidige zwembad in Denekamp, De Dorper Esch, door een nieuw energieneutraal zwem- en sportcentrum. De plannen hiervoor zijn inmiddels door de gemeenteraad verworpen omdat de financiering niet rond kwam.

De beheerder van het Geusseltbad, Maastricht Sport, is voor het eerst op 14 juni 2013 per e-mail benaderd. In eerste instantie toonde Maastricht Sport zich welwillend tegenover een interview. Op 3 juli 2013 is Maastricht Sport nogmaals benaderd per e-mail. Op 12 juli 2013 is er telefonisch contact geweest met Maastricht Sport, waaruit bleek dat het vanwege drukte niet mogelijk was vragen te beantwoorden over het energiegebruik en de implementatie van energiebesparende maatregelen. De voorzitter van stichting Sportcentrum de Dinkel Twente, is per brief benaderd op 21 juni 2013. Op 10 juli 2013 is dat nogmaals gebeurd, maar er is op geen van de brieven een reactie gekomen.

Omdat noch Maastricht Sport, noch stichting Sportcentrum de Dinkel Twente bereid zijn gevonden vragen te beantwoorden over de implementatie respectievelijk de plannen voor energiebesparing en gebouwgebonden energie, wordt er gebruik gemaakt van de informatie uit nieuwsberichten en tijdschriftartikelen over Nederlandse openbare zwembaden.

4.2. Een energiezuinig openbaar zwembad

In Paragraaf 1.2 werd de wens van de Gemeente Hengelo genoemd om gebouwen, van zowel particulieren als bedrijven en van de gemeente zelf, energiezuiniger te maken. Het TwenteBad is een grote energiegebruiker, dus lijkt het in kaart brengen van mogelijke maatregelen om het energiegebruik ervan terug te dringen een logische doelstelling. Reeds is ter sprake gekomen dat openbare zwembaden een bijzondere categorie utiliteitsgebouwen vormen, als gevolg van het bijzondere gebruik ervan. Een openbaar zwembad is qua energiegebruik daarom niet te vergelijken met andere utiliteitsgebouwen, zelfs niet met die met een sportfunctie. Om erachter te komen wat haalbaar is wat betreft de reductie van het energiegebruik, wordt daarom de vraag beantwoord wat een energiezuinig openbaar zwembad is. Dat gebeurt op twee niveaus; een literatuurstudie op internationale schaal en een nationaal case onderzoek.

4.2.1. Internationale literatuurstudie naar openbare zwembaden

Er is opvallend weinig gepubliceerd over het energiegebruik van openbare zwembaden. Kampel, Aas & Bruland (2012) vergeleken het jaarlijkse energiegebruik van 41 Noorse openbare zwembaden met internationale data aangaande dit onderwerp. Het is daarbij belangrijk een goede manier te vinden om het jaarlijkse energiegebruik uit te drukken. In Noorwegen is het gebruikelijk voor gebouwen het jaarlijkse energiegebruik per m² gebruiksoppervlak (kWh/m² ua [usable area]) uit te drukken. Vergelijkbaar wordt in Nederland voor gebouwen vaak de specifieke energieprestatie (MJ/m² go [gebruiksoppervlak]) bepaald (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012).

Kampel, Aas & Bruland (2012) beschouwen het jaarlijkse energiegebruik per m² wateroppervlak (kWh/m² ws [water surface]) echter als een betere eenheid om het energiegebruik van openbare zwembaden te vergelijken. Immers, een substantieel deel van de gebruikte energie in een openbaar zwembad is in verband te brengen met het wateroppervlak: het verwarmen van water, de toepassing van pompen, de geïnstalleerde ventilatiecapaciteit die samenhangt met de verdamping, et cetera.

Het jaarlijkse energiegebruik van 41 openbare zwembaden in Noorwegen, in de periode 1998 tot 2011, varieerde van nog geen 1.000 kWh/m² ws tot bijna 11.000 kWh/m² ws. Er werd een gemiddeld jaarlijks energiegebruik berekend van 4.004 kWh/m² ws met een standaarddeviatie van 1.821 kWh/m² ws (Kampel, Aas, & Bruland, 2013). Om de data onderling te vergelijken, is het energiegebruik van de zwembaden herberekend naar het weer in Oslo in 2010. De onderzochte zwembaden zijn naar omvang van het wateroppervlak in drie categorieën verdeeld: zwembaden met een wateroppervlak kleiner dan 300 m², zwembaden met een wateroppervlak tussen 301 en 600 m² en zwembaden met een wateroppervlak groter dan 600 m². Het bijbehorende gemiddelde jaarlijkse energiegebruik per categorie is opgenomen in Tabel 4.1.

Het Danish Technological Institute (n.d.) verdeelt de zwembaden in dezelfde categorieën en vindt voor elke categorie een lager jaarlijks energiegebruik dan Kampel, Aas & Bruland (2013). Bouwjaren en de hoeveelheid gebruikte data zijn hier echter onbekend. De analyse van één Fins zwembad van het bouwjaar 2007 gaf een jaarlijks energiegebruik van 4.475 kWh/m² ws (Saari & Sekki, 2008). Het bouwjaar en zwembadoppervlak in aanmerking genomen, is dit hoog in vergelijking met de Noorse en Deense data. Trianti-Stourna et al. (1998) analyseerden vijf openbare zwembaden met een bouwjaar van voor 1985 in een mediterraan klimaat en vonden daarbij een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 4.300 kWh/m² ws. Het energiegebruik voor openbare zwembaden in continentaal Europa ligt hoger: zo'n 5.200 kWh/m² ws (Energy Efficiency Office, 1994). Naast het warmere klimaat in Griekenland, hetgeen resulteert in een lager aantal graaddagen per jaar, ligt de reden hiervoor in het feit dat Griekse openbare zwembaden

minder uitgebreid zijn uitgerust met installaties voor ventilatie en koeling en apparatuur (Trianti-Stourna, et al., 1998). In Britse zwembaden werd een jaarlijks energiegebruik van 1.573 kWh/m² ua gevonden voor openbare zwembaden met een 'typical practice'. Voor openbare zwembaden met een 'good practice' werd een jaarlijks energiegebruik van 725 kWh/m² ua gevonden. Bouwjaren van de zwembaden en de hoeveelheid gebruikte data is hier echter wederom onbekend (Amateur Swimming Association, n.d.). Ook deze gegevens zijn opgenomen in Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Energiegebruik zwembaden, internationaal

Auteur	Locatie	Subgroep	Bouwjaar (gem)	Aantal	Jaarlijks energiegebruik (gem) (kWh/m ² ws) (kWh/m ² ua)	
Kampel, Aas & Bruland (2012)	Noorwegen	overall	1975	41	4004	
		≤ 300 m ² ws	1973		4419	
		301 - 600 m ² ws	1978		3608	
		≥ 601 m ² ws	1990		4303	
Danish Technological Institute (n.d.)	Denemarken	≤ 300 m ² ws			3611	
		301 - 600 m ² ws			2847	
		≥ 601 m ² ws			2276	
Saari & Sekki (2008)	Finland	580 m ² ws	2007	1	4475	636
Trianti-Stourna et al. (1998)	Griekenland		<1985	5	4300	450
Energy Efficiency Office (1994)	Continentaal Europa				5200	
Amateur Swimming Association (n.d.)	Groot-Brittannië	"typical practice"				1573
		"good practice"				725

Zowel het bouwjaar als de grootte van het zwembadoppervlak zijn belangrijke parameters voor het jaarlijkse energiegebruik van een openbaar zwembad. Het bouwjaar is een indicator voor de mate waarin gebruik is gemaakt van technieken om het gebouw energiezuiniger te maken. Ook renovaties die erop gericht zijn de energieprestatie van een gebouw te verbeteren zijn van invloed. Over het algemeen kan gesteld worden dat een gebouw van een recenter bouwjaar een lager jaarlijks energiegebruik kent. In het geval van Noorse zwembaden met een zwembadoppervlak van meer dan 600 m² (gemiddeld bouwjaar 1990) is dat bijvoorbeeld niet zo. Noorse zwembaden met een zwembadoppervlak van 301 tot 600 m² (gemiddeld bouwjaar 1978) gebruiken jaarlijks gemiddeld minder energie. Dat hangt samen met de tweede parameter: de grootte van het zwembadoppervlak. Kampel, Aas & Bruland (2013) stellen dat openbare zwembaden met een groter zwembadoppervlak vaak uitgebreider zijn uitgerust met apparatuur. Daarbij valt te denken aan zwembaden met kunstmatige golven, glijbanen, sauna's en stoombaden. Ook viel het de Noorse onderzoekers op dat met name zwembaden met een groot oppervlak vaak grootte glaspuien hebben, hetgeen de warmtebehoefte doet toenemen door de lagere isolatiewaarde van glas in verhouding tot die van gevels.

Voor overdekte openbare zwembaden met een wateroppervlak van meer dan 600 m², zoals bij het TwenteBad het geval is, verschillen de Noorse en Deense data sterk. Kampel, Aas & Bruland (2012) vonden een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 2.840 kWh/m² ws voor het beste derde van de onderzochte zwembaden met een wateroppervlak van meer dan 600 m². De Deense onderzoekers vonden echter een gemiddelde van alle onderzochte Deense zwembaden met een wateroppervlak van meer dan 600 m² van 2.276 kWh/m² ws. Het jaarlijkse energiegebruik per vierkante meter wateroppervlak dat gevonden werd door Saari & Sekki (2007) en Trianti-Stourna et al. (1997) ligt hoger dan de Noorse data, ondanks de recentere bouwjaren.

4.2.2. Nationaal case onderzoek naar openbare zwembaden

In nieuwsberichten en tijdschriftartikelen zijn een drietal voorbeelden gevonden van nieuwe, energiezuinige, openbare zwembaden en energiebesparingsmaatregelen bij bestaande zwembaden.

Het Geusseltbad, Maastricht

In Maastricht hebben drie buurtzwembaden plaats gemaakt voor het Geusseltbad, dat op 1 mei 2013 geopend werd. De gemeente heeft daarbij vanaf het begin de ambitie uitgesproken het duurzaamste zwembad van Nederland te realiseren. Dat is in een aantal opzichten terug te zien in het uiteindelijke ontwerp. Zo is er veel glas toegepast om van het daglicht gebruik te kunnen maken, maar is dit vrijwel allemaal noord-georiënteerd om oncomfortabele zonlichtschitteringen in het water te voorkomen. De gevels van het gebouw hebben een zeer hoge isolatiewaarde: $R_c = 8 \text{ m}^2\text{K/W}$. Ook zijn er speciaal samengestelde puien toegepast van hout en aluminium met koudebrugonderbreking en driedubbelglas ($U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Verder zijn de gevels bekleed met C2C (Cradle to Cradle) gecertificeerde tegels waarmee



zoveel mogelijk zonnewarmte wordt opgevangen. Om aan de warmtevraag van het zwembad te voldoen, zijn elektrische warmtepompen op grondwater toegepast, alsmede warmtecollectoren en zonneboilers op het dak. Hierdoor heeft het gebouw geen aardgasaansluiting nodig (Bekkering, 2013).

Figuur 4.1: Recreatiebad Geusseltbad (Geusseltbad, n.d.)

Enkele andere energiebesparende maatregelen die in het Geusseltbad zijn toegepast, zijn het verlagen van het energieverbruik van de luchtventilatoren, het verminderen van het verlies aan verdampingswarmte, het toepassen van warmtewisselaars en het hergebruik van 70% van het spoelwater. Verschillende kleinere maatregelen geven een verdere besparing. Het gaat onder andere om het toepassen van hoog rendement motoren in de luchtbehandelingskasten, direct gedreven ventilatoren voor de luchtbehandeling, en het gebruik van bewegingssensoren voor lichtschakelingen. Via fotonvoltaïsche cellen (PV-cellen, het meest toegepaste type zonnecel) wordt voor een klein deel voorzien in de elektriciteitsbehoefte. Voor de resterende energievraag wordt groene energie van een waterkrachtcentrale gebruikt, hetgeen leidt dat een reductie van 50% op de energieprestatiecoëfficiënt (Gemeente Maastricht, n.d.).

De gemeente Maastricht (n.d.) geeft de volgende geraamde gebruiken:

- Gas: 0 m^3 per m^2 bruto vloeroppervlak (BVO) per jaar
- Elektriciteit: 175 kWh per m^2 BVO per jaar
- Water: $1,5 \text{ m}^3$ per m^2 BVO per jaar

Uit de bestekfase van de ruimtestaat van Zwem- en Sportcentrum De Geusselt, blijkt dat het bruto vloeroppervlak van het zwembad in totaal $8.432,8 \text{ m}^2$ bedraagt (Gemeente Maastricht, n.d.). Dit leidt tot een jaarlijks elektriciteitsgebruik van $1.475.740 \text{ kWh}$. Het zwembadoppervlak van de vier binnenbaden en de buitenbaden bedraagt in totaal 1.828 m^2 . Dit leidt tot een jaarlijks energiegebruik van $807 \text{ kWh/m}^2 \text{ ws}$, een veel lager energiegebruik dan internationaal voor een openbaar zwembad wordt gevonden.

Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep, Eindhoven

Het gemeentelijk Zwemparadijs de Tongelreep werd begin jaren zestig gebouwd. Midden jaren tachtig werd het zwembad uitgebreid met een golfslagbad. In 2006 werd de Tongelreep uitgebreid met een nieuw zwemcentrum en kreeg de naam Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep (Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep, n.d.).

De Tongelreep behoort met verschillende baden met een gezamenlijke inhoud van meer dan twaalf miljoen liter water tot de grootste zwemcomplexen van Europa. Het gasgebruik van het gebouw is de laatste jaren echter gedecimeerd. In een scheepsmotor wordt het vet dat overblijft na het persen van varkenskadavers verbrand. Varkensvet heeft een calorische waarde van ongeveer 38,8 MJ/kg, iets minder dan bijvoorbeeld stookolie of diesel (Janchiv, Oh, & Choi, 2012). Sinds 2008 wordt er op die manier jaarlijks 17 miljoen kWh elektriciteit geproduceerd. Circa 3 miljoen kilowattuur wordt voor het zwembad zelf gebruikt, de rest wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet en is goed voor de elektrische energievoorziening van 4.200 huishoudens. De warmte is een bijproduct van de scheepsmotor en wordt benut voor de verwarming van het zwemwater en de binnenlucht van de zwembaden van de Tongelreep (Sportzaken.pro, 2013). Het gezamenlijke oppervlak van de verschillende baden bedraagt circa 6.690 m² (Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep, n.d.). Dit leidt tot een jaarlijks elektriciteitsgebruik van: 448 kWh/m² ws.



Figuur 4.2: Recreatiebad De Tongelreep (Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep, n.d.)

Neptunusbad, Klazienaveen

Op 14 september 2010 kreeg het Neptunusbad in het Drentse Klazienaveen als eerste openbaar zwembad het energielabel A++ (Architectenweb, 2010), hetgeen overeenkomt met een jaarlijks energiegebruik van minder dan 0,5 GJ per vierkante meter gebruiksoppervlak bepaald met een energieprestatieberekening. Door te investeren in duurzame technieken op het gebied van verwarming, ventilatie en het opwekken van energie, wordt het gasverbruik met circa 75% gereduceerd. Dit komt overeen met een jaarlijkse besparing op het gasgebruik van 170.000 m³.



Figuur 4.3: Neptunusbad (Watervision, 2009)

Alle leidingen zijn geïsoleerd en de pompen zijn vervangen door energiezuinige exemplaren. Ook wordt warmte onttrokken aan afvalwater en zijn er twee warmtepompen op het dak geplaatst die warmte onttrekken aan de lucht. Zonnecollectoren op het dak dragen ook bij aan de verwarming van bassinwater. Zonnepanelen op het dak wekken elektriciteit op (Kort, n.d.).

Het gasgebruik voor verwarming van het Neptunusbad bedraagt jaarlijks ongeveer 57.000 m³. Dit wordt omgerekend naar het jaarlijkse secundaire energiegebruik voor verwarming, uitgaande van HR-100 cv-ketels en dezelfde berekening die Warmtenet Hengelo hanteert in haar facturen:

Geleverde energie per m³ aardgas = energetische bovenwaarde aardgas (à 35,17 MJ/m³) x rendement verwarmingsketel (0,91)

Zo wordt een jaarlijks secundair energiegebruik voor verwarming van 1.824 GJ of 506.667 kWh gevonden. Het gezamenlijke oppervlak van de verschillende baden bedraagt circa 1.500 m². Dit leidt tot een jaarlijks energiegebruik voor verwarming van 338 kWh/m² ws.

4.3. Mogelijkheden voor energiebesparing

In Paragraaf 4.2.2 werden diverse energiebesparingsmaatregelen genoemd die reeds getroffen zijn bij Nederlandse openbare zwembaden. Voor een aantal van die maatregelen: gevelisolatie van de thermische schil van het gebouw (4.3.1) en het toepassen van energiezuinigere verlichting (4.3.2) wordt in deze paragraaf bepaald wat dit voor het TwenteBad zou kunnen betekenen. Deze maatregelen worden ook getroffen bij een negental Rotterdamse zwembaden, als onderdeel van een project om Rotterdams vastgoed te verduurzamen. Daarnaast wordt het afdekken van bassins genoemd in het geval van Rotterdamse zwembaden (Koerts, 2011). Het diepe buitenbad van het TwenteBad wordt sinds een aantal jaren 's nachts afgedekt. Dit heeft als doel de verdamping van bassinwater tegen te gaan. In Paragraaf 4.3.3 wordt daarom ook het warmteverlies van bassinwater berekend, om te inventariseren wat voor maatregelen hier tegen kunnen worden genomen. In Paragraaf 1.1 werd besproken dat het energiegebruik samenhangt met het gedragspatroon van mensen. Paragraaf 4.3.4 richt zich daarom op goed rentmeesterschap.

4.3.1. Gevelisolatie

In Paragraaf 2.3.3 werd de isolatie van de thermische schil van het TwenteBad besproken. Omdat het hier om een gebouw uit het jaar 1972 gaat, is de isolatiewaarde ervan laag voor huidige begrippen. NEN 7120 geeft een forfaitaire warmteweerstand voor gevels voor bouwjaarklasse 1965 – 1975 van 0,43 m²K/W. Na 1975 neemt de warmteweerstand snel toe ($R_c = 1,30$ tussen 1975 en 1983), omdat het na de oliecrisis van 1973 gebruikelijk werd spouwmuren te isoleren.

Het navullen van de luchtpouw van een spouwmuur met thermische isolatie is een voor de hand liggende en relatief eenvoudige techniek die toelaat de warmteverliezen door een spouwmuur te reduceren (Janssens, n.d., p. 3). Het IWT TETRA 70127 project waarover Janssens (n.d.) rapporteert omvatte laboratoriumonderzoek naar de warmtegeleidingscoëfficiënt van tien isolatieproducten voor na-isolatie, en op U-waardemetingen in 24 woningen in situ, waarvan de spouwmuren tussen 1967 en 2009 werden na-geïsoleerd. De gemeten U-waarden op niet-geïsoleerde wanden lagen tussen 1,10 ($R_c = 0,91$ m²K/W) en 2,05 W/m²K ($R_c = 0,49$ m²K/W). De na-geïsoleerde spouwmuren haalden U-waarden tussen 0,36 ($R_c = 2,78$ m²K/W) en 0,84 W/m²K ($R_c = 1,19$ m²K/W). Door het na-isoleren van de spouwmuur kan de warmtedoorgangscoefficiënt blijkbaar met een factor 2 à 3 afnemen, afhankelijk van de opbouw van de oorspronkelijke muur en de gerealiseerde warmteweerstand van de na-isolatie.

Uit metingen bleek verder dat de temperaturen aan de binnenoppervlakken van na-geïsoleerde spouwmuren hoger waren dan bij ongeïsoleerde muren. Dit was niet alleen het geval in het vlak van de wand, maar ook ter plaatse van koudebruggen, weliswaar in beperktere mate. Dit betekent dat een nagevulde spouwmuur minder gevoelig wordt voor oppervlaktecondensatie en schimmelgroei dan een ongeïsoleerde muur. Verder toonden luchtdichtheidsmetingen aan dat de testwoningen 5 – 20% luchtdichter werden ten gevolge van navulling van de spouwmuur (Janssens, n.d., pp. 4-5). Om te

voorkomen dat het gebouw te luchtdicht wordt om een goed binnenklimaat te handhaven, moet de ventilatievoorziening hier wel op aangepast worden.

De gemeten warmteverliezen over de wanden na het navullen van de spouw namen af tot 30 – 50% van de verliezen vóór de isolatie-ingreep. Dit was in overeenstemming met de berekeningen die werden gemaakt aan de hand van de materiaalmetingen in het laboratorium. Voor zover bekend is er in de literatuur tot op heden geen aandacht besteed aan de na-isolatie van gevels van openbare zwembaden, en de gevolgen die dit heeft voor het energiegebruik. Er wordt daarom een berekening voor de energiebesparing voor ruimteverwarming voor het TwenteBad gemaakt uitgaande van een reductie van de warmtedoorgangscoefficient (U-waarde) met een factor twee. Deze berekening wordt gemaakt voor de rekenzones die grenzen aan de buitenlucht en het gehele jaar door verwarmd worden: het recreatiegedeelte en de kleed-, douche- en toiletruimten. Het doelgroepengedeelte heeft al een behoorlijk goede gevelisolatie ($R_c = 2,00 \text{ m}^2\text{K/W}$, $U = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$), dus hier wordt geen grote energiebesparing door na-isolatie verwacht. De berekeningen worden als volgt gemaakt:

Energiebesparing door gevelisolatie per dag (J) = (Etmaalgemiddelde buitentemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) – ruimtetemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)) $\times$ (U_{huidig} ($\text{W/m}^2\text{K}$) – U_{nieuw} ($\text{W/m}^2\text{K}$)) $\times$ oppervlak gevels grenzend aan buitenlucht (m^2) $\times$ (60 $\times$ 60 $\times$ 24)

Voor de etmaalgemiddelde buitentemperatuur worden waarden gebruikt van KNMI meetstation Twenthe van het jaar 2012 (KNMI, n.d.), zoals ook is gebeurd bij de graaddagenberekening in Paragraaf 2.2.1. De ruimtetemperatuur van de verschillende rekenzones is opgenomen in Tabel 4.2. U_{huidig} bedraagt de huidige warmtedoorgangscoefficient van de gevels grenzend aan de buitenlucht, U_{nieuw} de veronderstelde warmtedoorgangscoefficient na isolatie. Het oppervlak van de gevels grenzend aan de buitenlucht is reeds bepaald voor de EPC-berekening (Bijlage E). Door de energiebesparing per dag voor alle dagen van 2012 te sommeren, wordt de jaarlijkse energiebesparing door gevelisolatie gevonden. Dit is opgenomen in Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Jaarlijkse energiebesparing door na-isolatie

	Recreatiegedeelte	Kleed-, douche- en toiletruimten	Totaal
Ruimtetemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	31,0	31,0	
U_{huidig} ($\text{W/m}^2\text{K}$)	2,33	2,33	
U_{nieuw} ($\text{W/m}^2\text{K}$)	1,16	1,16	
Geveloppervlak grenzend aan buitenlucht (m^2)	840,58	479,1	
Jaarlijkse energiebesparing (GJ)	1036	590	1626

Het jaarlijkse energiegebruik voor ruimteverwarming zou met 10,5% kunnen worden verlaagd door de buitengevels van het recreatiegedeelte en de kleed-, douche- en toiletruimten te isoleren. Met de prijs van een GJ warmte uit 2012 van € 11,86 excl. btw, zou dit neerkomen op een jaarlijkse kostenbesparing van € 19.447 (prijsspeil 2012: €11,96/GJ excl. btw).

Bij de invoering van een isolatiewaarde van $R_c = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($U_{\text{nieuw}} = 1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$) voor de buitengevels van het recreatiegedeelte en de kleed-, douche- en toiletruimten (KDT), worden lagere jaarlijkse hoeveelheden primaire energie ten behoeve van de energiefuncties ruimteverwarming en zomercomfort gevonden (Tabel 4.3). Het verschil bedraagt 6,3% ten opzichte van het huidige primaire energiegebruik. Als na-isolatie ook wordt toegepast in de gevels van de ontvangsthal, horeca en personeelsruimten, leidt dit tot een reductie van 8,0% op het jaarlijkse primaire energiegebruik (Tabel 4.3) in de EPC-berekening.

Tabel 4.3: Primair jaarlijks energiegebruik bij na-isolatie

Energiefunctie	Primair jaarlijks energiegebruik (MJ)			
	Huidig	Na-isolatie: Recreatie KLD Verschil (t.o.v. huidig, %)	Na-isolatie: Recreatie KLD-O Horeca Personeel Verschil (t.o.v. huidig, %)	
Ruimteverwarming	2.973.566	2.781.484	-6,5	2.727.448
Zomercomfort	133.316	131.047	-1,7	130.038
Totaal	3.106.882	2.912.531	-6,3	2.857.486
EPC	2,34	2,27	-3,0	2,25

Janssens (n.d.) stelt dat de beoordeling van de geschiktheid van een spouwmuur voor na-isolatie van groot belang is om de prestatie van de spouwmuur met betrekking tot regenwering, vochthuishouding en duurzaamheid te garanderen. De inventarisatie van richtlijnen van sectororganisaties VENIN (NL), MEDLEM AF (DK) en CIGA (GB) toonde aan dat spouwmuren uit metselwerk in het algemeen zonder bouwfysische bezwaren met isolatiemateriaal kunnen gevuld worden, op voorwaarde dat:

- De spouw niet te smal is. Bij een spouw smaller dan 3 cm verhoogt isolatie de kans op regendoorslag.
- Een gevel met doorlopende spouw niet hoger is dan 12 m, om de blootstelling aan slagregen en hygrothermische spanningen te beperken.
- De gevel geen tekenen vertoont van degradatie door vorst, vocht of scheuren.

Van dat laatste is in elk geval wel sprake bij het TwenteBad. Er is aanvullend onderzoek nodig om de geschiktheid van de gevels voor na-isolatie en eventueel het meest geschikte isolatiemateriaal voor het TwenteBad te bepalen.

4.3.2. Verlichting

In Paragraaf 3.4 werd het jaarlijkse secundaire energiegebruik voor de energiefunctie verlichting berekend. Dit blijkt 218.331 kWh te bedragen, circa 18,6% van het jaarlijkse elektriciteitsgebruik. In alle rekenzones, met uitzondering van het doelgroepengedeelte, is er sprake van conventionele TL verlichting. In het doelgroepengedeelte is echter hoogfrequente TL verlichting geïnstalleerd. Deze lampen hebben een kleiner vermogen en langere levensduur dan conventionele TL verlichting. Agentschap NL (2013) adviseert dan ook oudere TL verlichting te vervangen door hoogfrequente TL verlichting.

In 2011 is er door Wiecherink, onafhankelijk ingenieurs- en adviesbureau voor technische installaties, onderzocht wat het vervangen van de conventionele T8 TL lampen in het recreatiegedeelte, instructiebad en doelgroepengedeelte zou opleveren. Als in het recreatiegedeelte de lichtbakken met een vermogen van 2 x 58 W zouden worden vervangen door hoogfrequente TL lampen met een vermogen van 1 x 54 W, zou dat een jaarlijkse energiebesparing van 45.543 kWh opleveren (Tabel F.4 in Bijlage F). De terugverdientijd van de investering zou 6,5 jaar bedragen. De totale besparing na 15 jaar zou € 63.695,45 (exclusief rente en aflossing) bedragen, door het lagere energiegebruik van de lampen en de langere levensduur ervan.

Eenzelfde maatregel in het instructiebad zou een jaarlijkse energiebesparing van 16.070 kWh opleveren (Tabel F.4). De terugverdientijd van de investering zou 7,8 jaar bedragen. De totale besparing na 15 jaar zou €19.132,95 bedragen, exclusief rente en aflossing.

Door ook de TL (T8) verlichting in de kleed-, douche- en toiletruimten te vervangen door TL (T5-HF) verlichting, kan jaarlijks 18.850 kWh bespaard worden (Tabel F.4). De totale energiebesparing door het vervangen van conventionele TL verlichting door hoogfrequente TL verlichting in het recreatiegedeelte, instructiebad en kleed-, douche- en toiletruimten zou jaarlijks 80.463 kWh bespaard. Dat bedraagt 6,9% van het totale elektriciteitsgebruik in 2012.

Sfeerverlichting en spots in het TwenteBad zijn uitgerust met spaarlampen, waarvan bekend is dat deze een vier keer hoger rendement hebben dan gloeilampen (VITO, 2009). In het recreatiebad en familiebad is daarnaast LED verlichting geïnstalleerd (aqualight). Op het moment geeft LED verlichting (gemiddeld 64 lm/W) niet altijd een hogere lichtopbrengst dan spaarlampen (50 – 70 lm/W) of conventionele TL verlichting (25 – 118 lm/W) (Aman, Jasmon, Mokhlis, & Bakar, 2013). Verwacht wordt echter dat de lichtopbrengst van LED lampen zal toenemen tot wel 235 lm/W in 2020 (U.S. Department of Energy, 2012).

4.3.3. Beperking warmteverlies bassinwater

Het warmteverlies van bassinwater wordt berekend om te kunnen inventariseren wat voor maatregelen er genomen kunnen worden om het energiegebruik voor bassinwaterverwarming te reduceren. Volgens Brambley & Wells (1983) verliest bassinwater haar warmte door vier mechanismen:

- Verdamping van bassinwater
- Warmteoverdracht door stroming (convectie)
- Warmteoverdracht door straling (radiatie)
- Warmteoverdracht door de zwembadwanden en -vloer naar de grond door geleiding (conductie)

Voor de berekening van het warmteverlies van binnenbaden zijn de ruimte- en watertemperatuur en luchtvochtigheid bepaald. Dit betreffen de setpointtemperaturen en -luchtvochtigheid, die dag en nacht worden gehandhaafd (Tabel 4.4).

Tabel 4.4: Temperaturen en luchtvochtigheid binnenbaden

<i>Binnenbaden</i>		Ruimtetemperatuur (°C)	Watertemperatuur (°C)	Luchtvochtigheid (%)
Recreatie	Recreatiebad	31,0	30,2	55
	Familiebad	31,0	30,2	55
	Peuterbad	31,0	30,2	55
Doelgroepenbad		29,0	26,8	55
Instructiebad		32,5	31,5	55

Voor de berekening van het warmteverlies van buitenbaden zijn voor de buitentemperatuur en luchtvochtigheid gegevens van KNMI meetstation Twenthe gebruikt. In Tabel 4.5 zijn de gemiddelde luchtvochtigheid en (nachtelijke) buitentemperatuur voor de maanden waarin de buitenbaden in 2012 in bedrijf waren (juni, juli en augustus) weergegeven. De temperatuur waarop het bassinwater van de buitenbaden verwarmd wordt, is 23 °C. Verdere opwarming geschiedt door opvallende zonnestraling en convectie bij buitentemperaturen die hoger zijn dan 23 °C.

Tabel 4.5: Temperaturen en luchtvochtigheid buitenbaden

<i>Buitenbaden</i>	Buitentemperatuur (°C)		Watertemperatuur (°C)	Luchtvochtigheid (%)
	Gem. etmaal	Gem. nacht (22:00 – 7:00)		
Diepe buitenbad	16,6	13,8	23	77,05
Familiebad	16,6	13,8	23	77,05
Peuterbad	16,6	13,8	23	77,05

In Tabel 4.6 is voor elk van de vier mechanismen het jaarlijkse warmteverlies van bassinwater te zien, alsmede het totale warmteverlies per bassin.

Tabel 4.6: Warmteverlies bassinwater per jaar, naar bassin en mechanisme

Rekenzone	Bassin	Verdamping (GJ)	Stroming (GJ)	Straling (GJ)	Geleiding (GJ)	Totaal (GJ)
Recreatie	Recreatiebad	401,51	-8,65	$-6,17 \times 10^{-2}$	147,08	539,88
	Familiebad	133,84	-3,33	$-2,06 \times 10^{-2}$	43,26	173,75
	Peuterbad	107,07	-2,74	$-1,64 \times 10^{-2}$	30,82	135,13
Doelgroepenbad	Doelgroepenbad	277,97	-25,11	$-3,43 \times 10^{-2}$	149,51	402,34
Instructiebad	Instructiebad	154,88	-5,02	$-2,35 \times 10^{-2}$	54,62	204,46
Buitenbaden	Diepe buitenbad	346,52	42,81	$9,16 \times 10^{-2}$	107,18	496,60
	Familiebad	346,52	42,81	$9,16 \times 10^{-2}$	30,64	420,07
	Peuterbad	45,50	6,86	$1,10 \times 10^{-2}$	-2,60	49,77

De waarden in Tabel 4.6 zijn berekend volgens de formules in Bijlage H.2. De uitgangspunten die daarbij gehanteerd zijn, worden besproken in Bijlage H.1. Warmteoverdracht door verdamping is berekend voor de uren waarin het TwenteBad gesloten is (22:00 – 7:00), om te kunnen bepalen of het 's nachts afdekken van (buiten)baden loont als het gaat om de verwachte energiebesparing die dit met zich meebrengt. Warmteoverdracht door stroming, straling en geleiding zijn berekend voor gehele etmalen gedurende een jaar. In het geval van buitenbaden wordt alleen gerekend met de maanden waarin deze in het jaar 2012 in bedrijf waren: juni, juli en augustus.

Aan de resultaten valt op dat het grootste deel van het warmteverlies van bassinwater wordt veroorzaakt door verdamping. Dit stemt overeen met de bevindingen van Sartori (2000). Het warmteverlies door verdamping bij buitenbaden lijkt redelijk hoog, in aanmerking genomen dat dit het warmteverlies gedurende drie zomermaanden is. Er moet echter ook rekening mee worden gehouden dat het wateroppervlak bij het diepe buitenbad en familiebad (buiten) groter is dan bij de binnenbaden. In Tabel 4.7 is het warmteverlies van bassinwater per dag per m² wateroppervlak weergegeven. Dat het warmteverlies door verdamping bij buitenbaden groter is dan bij binnenbaden, heeft voornamelijk te maken met de wind buiten.

Tabel 4.7: Warmteverlies bassinwater, per dag per m² wateroppervlak, naar bassin en mechanisme

Rekenzone	Bassin	Verdamping (MJ)	Stroming (MJ)	Straling (MJ)
Recreatie	Recreatiebad	2,925	-0,063	-4,49 x 10 ⁻⁴
	Familiebad	2,925	-0,073	-4,49 x 10 ⁻⁴
	Peuterbad	2,925	-0,075	-4,49 x 10 ⁻⁴
Doelgroepenbad	Doelgroepenbad	2,025	-0,183	-2,50 x 10 ⁻⁴
Instructiebad	Instructiebad	2,821	-0,091	-4,28 x 10 ⁻⁴
Buitenbaden	Diepe buitenbad	3,767	0,465	9,95 x 10 ⁻⁴
	Familiebad	3,767	0,465	9,95 x 10 ⁻⁴
	Peuterbad	4,121	0,621	9,95 x 10 ⁻⁴

Het warmteverlies door stroming en straling is negatief bij de binnenbaden. Hier is dus sprake van warmtewinst. Dat komt doordat de ruimtetemperatuur hoger is dan de watertemperatuur bij de binnenbaden.

Wat betreft het warmteverlies door geleiding, zijn de waarden voor het recreatiebad en doelgroepenbad vrij hoog in vergelijking met de andere binnenbaden. De recreatie-, familie- en instructiebaden worden omgeven door aangrenzende verwarmde ruimten tot twee meter onder waterniveau. Alleen het recreatiebad is, deels, dieper dan twee meter en wordt daar beneden door koude grond omgeven. Het doelgroepenbad ligt helemaal in de grond. De zwembadbodems liggen overigens ook direct op de grond. Het warmteverlies door geleiding bij het diepe buitenbad is veel groter dan dat bij het familiebad (buiten). Dat is te wijten aan het grotere contactoppervlak met de grond van het diepe buitenbad. In de lente van 2013 is de ondiepe helft van het familiebad (20 x 25 m) volgestort met beton om hier een natte speelplaats te kunnen creëren. Ook het overige deel van het familiebad is een stuk ondieper dan het diepe buitenbad. Warmteverlies door geleiding is negatief bij het peuterbad (buiten). Ook hier is dus sprake van warmtewinst. Dat komt doordat de gemiddelde temperatuur van de grond op tien centimeter beneden maaiveld hoger is dan de watertemperatuur in de maanden juni, juli en augustus.

De verdamping van bassinwater veroorzaakt het meeste warmteverlies. Dit kan eenvoudig worden tegengegaan door het afdekken van bassins. Het diepe buitenbad wordt sinds enige jaren 's nachts afgedekt. In de maanden juni, juli en augustus wordt daarmee naar schatting 346 GJ bespaard. Uitgaande van de prijs van één GJ warmte in 2012 van € 11,86 geeft dit een jaarlijkse besparing op de energiekosten van ruim € 4.100 (excl. btw). Dit is niet in verhouding met de hoge investeringskosten van een dergelijk systeem, om nog niet te spreken over de kosten van onderhoud.

4.3.4. Goed rentmeesterschap

Een gebouw op zich gebruikt geen energie, maar de aanwezigheid van personen in een gebouw leidt onvermijdelijk tot energiegebruik. De wijze waarop een gebouw gebruikt wordt is derhalve bepalend voor het energiegebruik. Energieverspilling is dan ook een menselijke aangelegenheid. Het bewuster omgaan met energie, goed rentmeesterschap of 'good housekeeping', kan besparingen op het energiegebruik en de energiekosten opleveren.

Zoals genoemd in Paragraaf 2.3.6 zijn de meeste ruimtes in het TwenteBad voorzien van vertrekshakelingen. Het valt op dat verlichting, met name in het doelgroepengedeelte, vaak blijft branden wanneer men het bad verlaat. Het aanbrengen van aanwezigheidsdetectie kan hier een

oplossing bieden, maar door bewuster om te gaan met het in- en uitschakelen van verlichting kan in principe hetzelfde effect worden bereikt. Niet alleen het energiegebruik en de kosten daarvoor zouden daarmee dalen, maar ook bijvoorbeeld de jaarlijkse kosten voor het vervangen van de lampen.

Ook is kostenbesparing mogelijk als het gaat om het elektriciteitsgebruik. In Bijlage D is een tabel opgenomen waarin het maandelijkse elektriciteitsgebruik te zien is, alsmede de uitgesplitste kosten. De verschillende kostenposten worden daar ook toegelicht. Besparing op de kosten is allereerst mogelijk door zoveel mogelijk apparatuur 's nachts (23:00 – 7:00) of in het weekend te gebruiken. Het tarief voor deze uren (laag-tarief) bedraagt namelijk € 0,2691 per kWh (excl. btw) minder dan het normaal-tarief, dat geldt tussen 7:00 en 23:00 op werkdagen. Men zou bijvoorbeeld 's nachts de filters kunnen spoelen, of het elektrolyseapparaat 's nachts kunnen gebruiken.

Aan de beheerder van het elektriciteitsnet, Enexis, wordt verder maandelijks een bedrag betaald voor het gecontracteerd vermogen van 268 kW, à € 1,226667 per kW per maand (excl. btw). Het maximaal gemeten vermogen bedroeg echter slechts 196 kW in 2012. Door dit gecontracteerde vermogen naar beneden bij te stellen, bijvoorbeeld naar 225 kW (196 kW + 15%) kan jaarlijks circa € 630,- (excl. btw) bespaard worden.

4.4. Mogelijkheden voor de opwekking van gebouwgebonden energie

In november 2011 werd de houtkachel in het TwenteBad in gebruik genomen. Op het gebied van gebouwgebonden energie is er dus al een toepassing gevonden voor biomassa, zoals ook gebruikt wordt in Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep. In het Geusseltbad en het Neptunusbad zijn er toepassingen gevonden voor zonnepanelen (die zonlicht omzetten in elektriciteit) en zonnecollectoren (die zonlicht omzetten in warmte). In Paragraaf 4.4.1 wordt de implementatie van zonnepanelen voor het geval van het TwenteBad behandeld, Paragraaf 4.4.2 behandelt de implementatie van zonnecollectoren. Volgens Klok (2009) is er nauwelijks een rendabelere toepassing voor zonne-energie te vinden in dan in zwembaden.

4.4.1. Zonnepanelen

Zonnepanelen zijn installaties waarmee zonne-energie wordt omgezet in elektriciteit. Daartoe wordt een groot aantal zonnecellen, de zogenaamde fotonvoltaïsche cellen, op het paneel gemonteerd (Liu, Yu, & Liu, 2009). Met de huidige zonnepanelen kan circa 80 kWh/m² zonnepaneel per jaar worden opgewekt (Rijksoverheid, n.d.).

In het verleden zijn de mogelijkheden voor het plaatsen van zonnepanelen op het dak van het TwenteBad geïnventariseerd. Toen bleek dat zonnepanelen een te grote belasting zouden vormen voor het dak. Een zonnepaneel weegt gemiddeld 10 – 15 kg/m². Inclusief een aluminium draagconstructie, bedraagt het gewicht 15 – 25 kg/m² (Romijnders, n.d.). Per vierkante meter zonnepaneel is er verder circa 35 kg aan ballast nodig (Steeds, n.d.), om te voorkomen dat de panelen van het dak waaien. Het totale gewicht bedraagt daarmee 50 – 60 kg/m² zonnepaneel.

Door de toepassing van een betonnen draagconstructie voor zonnepanelen, de zogenaamde Solar Bear, is geen extra ballast nodig. Voor één zonnepaneel zijn twee dragers à 38 kg nodig, voor twee zonnepanelen drie, enzovoort (Sint Nicolaas, 2013). Per vierkante meter zonnepaneel, komt dat neer op hoogstens 18 kg voor de draagconstructie. Inclusief de zonnepanelen is het gewicht slechts 28 – 33 kg/m² zonnepaneel. Er

is nader onderzoek nodig om te bepalen of de toepassing van zonnepanelen op het dak van het TwenteBad wel mogelijk is met Solar Bears.

4.4.2. Zonnecollectoren

Zonnecollectoren zijn warmtewisselaars die zonnestraling omzetten in inwendige energie van een transportmedium (gewoonlijk lucht, water of olie). Zonnecollectoren kunnen in twee categorieën worden onderverdeeld (Kalogirou, 2004):

- Non-concentrating collectoren hebben hetzelfde oppervlak voor het opvangen en absorberen van zonnestraling.
- Concentrating collectoren hebben holle reflecterende oppervlakken om zonnestraling op te vangen en concentreren de lichtstralen op een kleiner ontvangend oppervlak.

In Tabel 4.8 is voor acht typen zonnecollectoren het temperatuurbereik weergegeven.

Tabel 4.8: Temperatuurbereik zonnecollectoren (Kalogirou, 2004)

Categorie	Type collector	Temperatuurbereik (°C)
Non-concentrating	Flat plate collectors (FPC)	30 - 80
	Stationary compound parabolic collectors (CPC)	50 - 200
	Evacuated tube collectors (ETC)	60 - 240
Concentrating	Linear Fresnel reflector (LFR)	60 - 250
	Parabolic trough collector (PTC)	60 - 300
	Cylindrical trough collector (CTC)	60 - 300
	Parabolic dish reflector (PDR)	100 - 500
	Heliostat field collector (HFC)	150 - 2000

Klok (2009) stelt dat zonnecollectoren goed toepasbaar zijn in openbare zwembaden omdat zwembaden zich kenmerken door een hoog aandeel energie in laagwaardige warmte (35 °C). Vlakke plaatcollectoren (flat plate collectors, FPC) zijn voor zwembaden dan ook relatief gangbaar. Bolcollectoren, matcollectoren en vacuümbuiscollectoren (evacuated tube collectors, ETC) worden steeds vaker toegepast in openbare zwembaden.

In het rapport *Zonthermische energie voor zwembaden Friese Waddeneilanden* (DWA installatie- en energieadvies, 2008) wordt onderscheid gemaakt tussen onafgedekte en afgedekte collectoren. Onafgedekte collectoren zijn systemen waarbij de collector niet is afgedekt met een vlakke plaat om warmteverliezen te voorkomen. Daaronder vallen vlakke plaatcollectoren, bolcollectoren en matcollectoren. Onafgedekte collectoren zijn direct verwarmende systemen. Dit betekent dat het te verwarmen water direct door de collector stroomt. De jaaropbrengst van onafgedekte collectoren ligt rond de 0,7 tot 1,0 GJ per m² collectoroppervlak (DWA installatie- en energieadvies, 2008).

Afgedekte collectoren zijn collectoren waarbij het water door een geïsoleerde vlakke plaat stroomt. Door de isolatie zijn de warmteverliezen kleiner en is de collector minder gevoelig voor weersinvloeden (met name wind). Afgedekte collectoren zijn daardoor meer geschikt voor douche- en kraanwaterverwarming dan onafgedekte collectoren. De jaaropbrengst van afgedekte collectoren ligt rond de 1,5 – 1,7 GJ per m² collectoroppervlak (DWA installatie- en energieadvies, 2008).

Plaatcollectoren bestaan vaak uit een vlakke kunststof plaat (met een lage warmtecapaciteit) als absorber. Door een plaatcollector in combinatie met een warmtepomp toe te passen, kan de zonnewarmte met een kleine hoeveelheid fossiele brandstof gedurende een langer seizoen benut worden, waardoor dit systeem meer geschikt is voor overdekte baden. De matcollector bestaat uit een kunststof slangenstelsel dat in lussen gelegd wordt, meestal op een plat dak. Ook bolcollectoren bestaan uit kunststof slangen die met water gevuld zijn (DWA installatie- en energieadvies, 2008). In tegenstelling tot plaatcollectoren en matcollectoren is het bij bolcollectoren niet nodig deze onder een hoek van 5 à 10 graden op het zuiden te richten, omdat door de sferische vorm de hellingshoek al vijftien graden is (Knoppers, 2008).

Het gewicht van een bolcollector gevuld met water bedraagt circa 31 kg/m² collectoroppervlak (Knoppers, 2008). Het gewicht van een gevulde vlakke plaatcollector is met circa 18 kg/m² veel lager, maar hiervoor zijn op het platte dak van het TwenteBad nog wel stellages nodig om de gewenste hoek van 5 à 10 graden te kunnen maken (Vlakke Plaat Collector 2,1 m², n.d.). Zonnecollectoren zijn daarmee niet zwaarder dan zonnepanelen bij toepassing van Solar Bears. Ook hiervoor geldt dat nader onderzoek uit moet wijzen of het plaatsen van zonnecollectoren op het dak van het TwenteBad mogelijk is.

DWA installatie- en energieadvies (2008) geeft optimale collectorratio's van verschillende typen collectoren voor verschillende toepassingen. Deze zijn weergegeven in Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Optimale collectorratio's naar type collector en type zwembad

		Bassinwaterverwarming	Douche- en kraanwaterverwarming
Overdekte baden	Afgedekte collector	7 - 9 m ² /m ³	7 - 9 m ² /m ³
	Onafgedekte collector	7 - 12 m ² /m ³	-
Openluchtbaden	Afgedekte collector	-	7 - 9 m ² /m ³
	Onafgedekte collector	2 m ² /m ³	-

4.5. Deelconclusies

In Paragraaf 1.4 werd de derde onderzoeksvraag genoemd. Deze luidt:

Hoe kan het energiegebruik van het TwenteBad worden verlaagd?

In Paragraaf 2.5 werd het jaarlijkse secundaire energiegebruik van het TwenteBad genoemd: 6.911.058 kWh. Per m² zwembadoppervlak bedraagt het jaarlijkse energiegebruik van het TwenteBad 2.130 kWh. Internationaal gezien lijkt het TwenteBad daarmee energiezuiniger dan veel van zijn soortgenoten. Zo vonden Noorse onderzoekers een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 4.303 kWh/m² ws voor zwembaden met een wateroppervlak van meer dan 600 m². Voor het beste derde van de onderzochte Noorse zwembaden in de categorie ws ≥ 600 m² werd een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 2.840 kWh/m² ws gevonden. Openbare zwembaden met een wateroppervlak van meer dan 600 m² en een jaarlijks energiegebruik van minder dan 2.840 kWh/m² ws, kunnen als energiezuinig worden beschouwd voor Noorse begrippen. Deense onderzoekers vonden een gemiddeld jaarlijks energiegebruik van 2.276 kWh/m² ws voor zwembaden met een wateroppervlak van meer dan 600 m².

Hierbij moet echter wel worden opgemerkt dat internationaal onderzoek zich beperkt tot overdekte zwembaden. Het TwenteBad is echter een combinatiebad. Het feit dat de buitenbaden zijn meegerekend bij het totale zwembadoppervlak, leidt tot een lager energiegebruik per m² ws. Immers, bij de buitenbaden is geen sprake van ventilatie of ruimteverwarming.

Het jaarlijkse energiegebruik van het TwenteBad per m² wateroppervlak is ruim 2,5 keer zo groot als dat van het Geusseltbad in Maastricht (807 kWh/m² ws). Het elektriciteitsgebruik van het TwenteBad is met 362 kWh/m² ws lager dan dat van Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep (448 kWh/m² ws). Het Eindhovense zwembad beschikt dan ook over een groot aantal glijbanen, een installatie voor kunstmatige golven en dergelijke. Het energiegebruik voor verwarming is met 1.768 kWh/m² ws ruim vijf keer hoger dan dat van het Neptunusbad in Klazienaveen (338 kWh/m² ws).

Een omvangrijk onderzoek naar het energiegebruik van Nederlandse openbare zwembaden ontbreekt, en op grond van het hierboven beschreven case-onderzoek kan niet worden vastgesteld of het TwenteBad tot de Nederlandse energiezuinige zwembaden behoort.

Feit is wel dat het hier gaat om een gebouw van meer dan veertig jaar oud, waarin zeker verbeteringen mogelijk zijn ten aanzien van het energiegebruik. Het jaarlijkse energiegebruik voor ruimteverwarming zou met 10,5% (1.626 GJ) kunnen worden verlaagd door de buitengevels van het recreatiegedeelte en de kleed-, douche- en toiletruimten na te isoleren. Kleinere besparingen op het energiegebruik voor verwarming zijn te behalen door bassins 's nachts af te dekken. De kostenbesparing die dat zou opleveren is echter niet in verhouding tot de investerings- en onderhoudskosten van dergelijke systemen.

Door het vervangen van de conventionele TL verlichting in het recreatiegedeelte, instructiebad en de kleed-, douche- en toiletruimten door hoogfrequente verlichting, kan jaarlijks 80.463 kWh bespaard worden. Dat bedraagt 6,9% van het totale elektriciteitsgebruik in 2012. Omdat hoogfrequente verlichting een langere levensduur heeft dan conventionele TL verlichting, zal de kostenbesparing ook groot zijn. In 2011 is er door Wiecherink berekend dat de totale kostenbesparing na vijftien jaar bijna € 83.000 (exclusief rente en aflossing) zou bedragen als alleen al het recreatiegedeelte en het instructiebad zouden worden uitgerust met hoogfrequente TL verlichting. Verdere kostenbesparingen op het elektriciteitsgebruik kunnen worden behaald door bewuster om te gaan met energiegebruik, bijvoorbeeld door 's nachts te spoelen en het elektrolyseapparaat 's nachts te gebruiken.

Ten slotte bestaan er mogelijkheden voor het opwekken van gebouwgebonden energie. In het verleden zijn de mogelijkheden voor het plaatsen van zonnepanelen op het dak van het TwenteBad geïnterviewd. Toen bleek dat zonnepanelen een te grote belasting zouden vormen voor het dak. Sinds kort zijn er echter betonnen draagconstructies voor zonnepanelen verkrijgbaar, de zogenaamde Solar Bears. Door toepassing hiervan kan het gewicht per m² zonnepaneel afnemen tot 28 – 33 kg, hetgeen het plaatsen van zonnepanelen op het dak misschien mogelijk maakt. Met de huidige zonnepanelen kan circa 80 kWh/m² zonnepaneel per jaar worden opgewekt.

Zonnecollectoren kunnen worden toegepast om tapwater te verwarmen. Voor de verwarming van het bassinwater voor de buitenbaden ligt het gebruik van onafgedekte collectoren voor de hand. De jaaropbrengst van onafgedekte collectoren ligt rond de 0,7 – 1,0 GJ per m² collectoroppervlak. Voor de verwarming van het bassinwater voor binnenbaden kunnen het beste afgedekte collectoren worden gebruikt. De jaaropbrengst van afgedekte collectoren ligt rond de 1,5 – 1,7 GJ per m² collectoroppervlak. Het gewicht van bolcollectoren bedraagt circa 31 kg/m² collectoroppervlak. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of het plaatsen van zonnepanelen en zonnecollectoren op het dak van het TwenteBad mogelijk is, en of dit financieel interessant is.

5. Conclusies, discussie en aanbevelingen

Hoofdstuk 5 bevat de conclusies, discussie en aanbevelingen van de bevindingen uit de afgelopen hoofdstukken.

5.1. Conclusies

In Paragraaf 1.3 werd de doelstelling genoemd. Deze luidt:

Het in kaart brengen van het huidige energiegebruik van het TwenteBad en het inventariseren van mogelijke maatregelen om het energiegebruik terug te dringen.

Daartoe werden drie onderzoeksvragen opgesteld. Bij de beantwoording van de eerste onderzoeksvraag bleek dat het jaarlijkse secundaire energiegebruik van het TwenteBad 6.911.058 kWh bedraagt. 83,0% daarvan bestaat uit het energiegebruik voor verwarming, de overige 17,0% bestaat uit het elektriciteitsgebruik. Met een rekenprogramma voor de energiestaat van een gebouw, werd het energiegebruik voor de verschillende van toepassing zijnde energiefuncties (ruimteverwarming, tapwaterverwarming, ventilatie en ontvochtiging, verlichting en elektrische hulpenergie ten behoeve van verwarming) bepaald. Een groot deel van het energiegebruik blijft echter onverklaard met deze wijze van berekenen en een energiestaatberekening blijkt geen goede manier om het energiegebruik van een openbaar zwembad te verklaren.

De tweede onderzoeksvraag richtte zich daarom op het werkelijke energiegebruik voor warmtapwater, verlichting en apparatuur. Voor het energiegebruik voor verwarming werd hiermee gevonden dat 17,4% ervan ten goede komt aan de verwarming van tapwater. De overige 82,6% wordt gebruikt voor ruimteverwarming. Wat betreft het elektriciteitsgebruik, wordt 18,6% hiervan veroorzaakt door verlichting, 15,5% door ventilatie en ontvochtiging en 0,9% door het elektrische hulpenergiegebruik ten behoeve van verwarming. De overige 65,0% wordt veroorzaakt door het gebruik van apparatuur, waaronder pompen voor bassinwater, filterinstallaties, een elektrolyseapparaat, een zonnepaneel en kantoor-, horeca- en huishoudelijke apparatuur. Ook werd de thermische schil van het gebouw gecontroleerd door middel van infraroodmetingen. Daarbij is gebleken dat er zich koudebruggen in de kleedruimten bevinden, bij de overgang van betonnen kolommen naar de ramen. Verder is gevalideerd dat het warmteverlies door ramen en deuren groter is dan door gevels.

De derde onderzoeksvraag richtte zich op verlaging van het energiegebruik van het TwenteBad. Internationaal is het TwenteBad met een energiegebruik van 2.130 kWh per m² bassinoppervlak energiezuiniger dan veel van zijn soortgenoten. Op basis van de inventarisatie van het energiegebruik van drie Nederlandse openbare zwembaden kan niet worden vastgesteld of het TwenteBad tot de energiezuinige openbare zwembaden behoort. Wel bleek hieruit dat er verschillende mogelijkheden bestaan om het energiegebruik van het TwenteBad terug te dringen. Het energiegebruik en de energiekosten van het TwenteBad kunnen worden verlaagd door het na-isoleren van gevels, het toepassen van energiezuinigere verlichting en door bewuster om te gaan met het energiegebruik. Met het afdekken van bassins om het warmteverlies door verdamping tegen te gaan, kunnen kleine besparingen op het energiegebruik en de energiekosten worden behaald, maar vanwege de hoge investering- en onderhoudskosten zal dat financieel niet interessant zijn. Wellicht bestaan er mogelijkheden voor het toepassen van zonnecollectoren en -panelen. Er is nader onderzoek nodig naar de mogelijkheden van na-isolatie van gevels en de toepassing van zonnecollectoren en -panelen. Ook de financiële aspecten hiervan, in termen van jaarlijkse besparingen en terugverdientijden, moeten daarbij worden onderzocht.

5.2. Discussie

De praktische en wetenschappelijke bijdragen en beperkingen van het onderzoek worden behandeld.

5.2.1. Praktische bijdragen

De bijdragen van dit onderzoek voor de Gemeente Hengelo, bestaan eruit dat het energiegebruik van het TwenteBad in kaart is gebracht en dat maatregelen voor het verlagen van het energiegebruik zijn geïnventariseerd. Verder is tijdens het onderzoek de wijze van factureren door Warmtenet Hengelo opgevallen.

Zoals gezegd geeft Warmtenet Hengelo aan hoeveel energie (in GJ) er in de factuurperiode geleverd is, en wat de kosten ervoor bedragen. In het geval van de houtkachel wordt de hoeveelheid geleverde energie na opwekking gemeten en geregistreerd door een verbruiksmeter. In het geval van de cv-ketels wordt de hoeveelheid aardgas (in m³) die is verbruikt geregistreerd. Het gas wordt echter wel gefactureerd naar de hoeveelheid geleverde energie, dus wordt hier een omrekeningsslag gemaakt. Warmtenet Hengelo berekent de hoeveelheid geleverde energie door de verbranding van gas op de volgende wijze:

Geleverde energie per m³ aardgas = energetische bovenwaarde aardgas (à 35,17 MJ/m³) x rendement verwarmingsketel (0,91)

De energetische waarde geeft aan hoeveel water een bepaalde brandstof bij volledige verbranding in staat is te verwarmen van 14,5 graden Celsius naar 15,5 graden Celsius. Bij de verbranding van koolwaterstoffen (zoals aardgas) is waterdamp één van de verbrandingsproducten. Bij het condenseren van de waterdamp komt ook warmte vrij. Als bij het vaststellen van de energetische waarde van één kubieke meter aardgas wordt uitgegaan van de warmte die vrijkomt bij verbranding plus de warmte die vrijkomt bij het condenseren van de waterdamp, wordt gesproken van de energetische bovenwaarde. Deze bedraagt voor Gronings aardgas inderdaad 35,17 MJ/m³ (Energieleveranciers.nl, n.d.).

Deze wijze van berekening is opmerkelijk. De HR-100 ketels in het TwenteBad kunnen in principe condenseren, maar zullen dat in de huidige opstelling met het temperatuurtraject (65 – 80 °C) niet doen. Hier is dus eigenlijk de energetische onderwaarde van toepassing: de warmte die vrijkomt bij de verbranding van één kubieke meter aardgas. Deze bedraagt 31,65 MJ/m³ (Energieleveranciers.nl, n.d.). Verder is het gebruikelijk om het rendement van een HR-100 ketel op 90% te waarderen. Warmtenet Hengelo hanteert een hoger rendement in haar berekening.

Als met de energetische onderwaarde van Gronings aardgas en een rendement van 90% gerekend zou worden, zou een lagere hoeveelheid geleverde energie (in GJ) worden gevonden. Voor de periode 01-01-2012 t/m 31-12-2012 zou bijvoorbeeld niet een geleverde energie door de verbranding van aardgas van 12.439 GJ worden gevonden, maar 11.071 GJ. Een verschil van 11,0%.

5.2.2. Wetenschappelijke bijdragen

De wetenschappelijke bijdrage van dit onderzoek bestaat eruit dat voor de praktijk van een Nederlands openbaar zwembad het energiegebruik in detail in kaart is gebracht. Dat is voor zover bekend nog nooit gebeurd. De methodiek die hierbij is toegepast is in principe ook toepasbaar voor andere openbare zwembaden.

Ook is gebleken dat een energieprestatieberekening niet geschikt is voor de bepaling van het jaarlijkse energiegebruik van een openbaar zwembad. De energieprestatiecoëfficiënt wordt berekend als het quotiënt van het karakteristieke energiegebruik en het toelaatbare karakteristieke energiegebruik (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012).

$$EPC = E_{ptot} / E_{p,adm;tot;nb}$$

E_{ptot} : Het karakteristieke energiegebruik wordt berekend als de som van het naar primaire energie omgerekende gebruik aan fossiele brandstoffen voor verwarming, bevochtiging, ventilatoren, verlichting, koeling, ontvochtiging, warm tapwater en het totaal aan daarbij gebruikte hulpenergie, verminderd met de naar primaire energie omgerekende eventuele op eigen perceel geproduceerde (gebouwgebonden) energie.

$E_{p,adm;tot;nb}$: Het toelaatbare energiegebruik voor de energieprestatie is afhankelijk van de vorm van het gebouw. Er wordt rekening gehouden met het verliesoppervlak en het gebruiksoppervlak.

Het karakteristieke energiegebruik dat wordt berekend met NEN 7120 is lager dan in werkelijkheid het geval is voor een openbaar zwembad, omdat in NEN 7120 bepaalde aannamen worden gedaan die niet stroken met de praktijk. NEN 7120 hanteert bijvoorbeeld ruimtetemperaturen van 20 °C voor rekenzones met een sportfunctie (overig), terwijl in openbare zwembaden vaak veel hogere ruimtetemperaturen worden gehanteerd. Daarnaast wordt in NEN 7120 met een gereduceerde of uitgeschakelde thermostaat gedurende veertien uren per dag en twee dagen per week gerekend, terwijl het TwenteBad dag en nacht, zeven dagen per week verwarmd wordt. Ook de warmtapwaterbehoefte voor sportfuncties (overig) waarmee in NEN 7120 gerekend wordt, is veel lager dan in een openbaar zwembad het geval is. In het TwenteBad is daarnaast het aantal branduren van verlichting hoger dan waarmee in de norm gerekend wordt. Bovendien wordt het energiegebruik van apparatuur niet meegenomen in energieprestatieberekeningen, terwijl apparatuur verantwoordelijk is voor een groot deel (naar schatting 65,0% in het TwenteBad) van het elektriciteitsgebruik.

Dit leidt ertoe dat een EPC-berekening, in de huidige vorm, in feite niet toepasbaar is voor een openbaar zwembad. Wanneer men de energieprestatie voor twee zwembaden met een identieke gebouwvorm en identieke installaties zou berekenen, zou voor beide zwembaden dezelfde EPC-waarde gevonden worden. Als één van beide zwembaden echter geen buitenbaden en kleinere binnenbaden heeft, of lagere ruimten- en watertemperaturen hanteert, zou dat zwembad eigenlijk op een lagere EPC uit moeten komen.

5.2.3. Beperkingen

Er zijn een aantal beperkingen die de resultaten van het onderzoek onnauwkeurig maken.

Vanwege de beschikbaarheid van facturen, is het totale energiegebruik van het TwenteBad in het jaar 2012 bepaald. Het ligt voor de hand dat het energiegebruik per jaar verschilt, doordat het ene jaar bijvoorbeeld kouder of warmer is dan het andere, er over de jaren energiebesparende maatregelen zijn genomen en doordat het gebruik van het gebouw over de jaren verschilt. In 2012 had het TwenteBad bijvoorbeeld een recordaantal bezoekers, waardoor bassinwater vaker verversd zal zijn. Dit leidt tot een hoger energiegebruik voor warm tapwater.

Bij de bepaling van het werkelijke energiegebruik voor tapwaterverwarming in Paragraaf 3.2 is het werkelijke distributie- en afgifterendement van dit systeem onbekend, waardoor met forfaitaire waarden

van NEN 7120 gerekend moest worden. Ook is voor de temperatuur van leidingwater geen meetwaarde beschikbaar, dus wordt deze gelijk verondersteld aan de bodemtemperatuur op één meter diepte.

Het werkelijke energiegebruik voor ventilatie en ontvochtiging, alsmede het elektrische hulpenergiegebruik ten behoeve van verwarming is onbekend. Van de meeste apparatuur is het energiegebruik ook onbekend. De schatting dat circa 65,0% van het jaarlijkse elektriciteitsgebruik wordt veroorzaakt door apparatuur is vermoedelijk aan de hoge kant, omdat het werkelijke energiegebruik voor ventilatie en ontvochtiging en het hulpenergiegebruik in werkelijkheid hoger zullen zijn dan met NEN 7120 berekend.

Zoals gezegd is er weinig gepubliceerd over het energiegebruik van openbare zwembaden. Er is zelfs geen enkel onderzoek dat het energiegebruik van Nederlandse openbare zwembaden in kaart brengt. In de wel beschikbare artikelen die hierover rapporteren ontbreekt vaak een diepgaande analyse van de resultaten, bijvoorbeeld het gemiddelde energiegebruik van de 33% energiezuinigste zwembaden. Om de invloed van het klimaat in verschillende regio's op het energiegebruik uit te schakelen, zou het energiegebruik per (gewogen) graaddag moeten worden uitgedrukt. Van de meeste onderzoeken is het echter onbekend welke jaren deze beslaan en welke ruimtetemperaturen worden gehanteerd.

Voor de berekening van het effect van na-isolatie van gevels op het energiegebruik, is grofweg uitgegaan van een verhoging van de warmteweerstand (R_C -waarde) met een factor 2. Het effect van na-isolatie is sterk afhankelijk van de staat van de spouwmuren van het TwenteBad, en het type isolatiemateriaal dat kan worden toegepast.

Wat betreft de berekening van de warmteverliezen van bassinwater, moet opgemerkt worden dat de formules genoemd in Bijlage H.2 slechts een benadering geven van de werkelijke situatie. Daarnaast zijn de berekeningen voor de warmteverliezen van buitenbaden onnauwkeuriger dan die voor binnenbaden. De water- en ruimtetemperatuur en luchtvochtigheid zijn binnen constant. De buitentemperatuur en luchtvochtigheid buiten variëren natuurlijk. Dat is deels ondervangen door met gemiddelde waarden van het KNMI te werken. De watertemperatuur is in de berekeningen constant op 23 °C verondersteld. Dat is de temperatuur die het water 's ochtends bij opening moet hebben. Gedurende een warme zomerdag zal de watertemperatuur overdag stijgen, hetgeen weer invloed heeft op de mate van warmteverlies.

5.3. Aanbevelingen

Om het energiegebruik van het TwenteBad te verminderen, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Het laten onderzoeken van de mogelijkheden voor na-isolatie van de gevels.

In het jaar van de oprichting van het TwenteBad, 1972, was het isoleren van gevels niet gebruikelijk. De warmteweerstand van de gevels, met uitzondering van het doelgroepengedeelte, is dan ook laag ($R_C = 0,43 \text{ m}^2\text{K/W}$). Door na-isolatie van de gevels kan de warmteweerstand met een factor 2 à 3 verhoogd worden. Uitgaande van een verhoging van de warmteweerstand met een factor 2 door na-isolatie van de gevels van het recreatiegedeelte en de kleed-, douche- en toiletruimten, kan jaarlijks circa 1.626 GJ op het energiegebruik voor verwarming bespaard worden. Dit komt overeen met 10,5% van het huidige jaarlijkse energiegebruik voor verwarming. De besparing op de energiekosten zou € 19.447 per jaar bedragen (prijsspeil 2012: € 11,96/GJ, excl. btw).

De geschiktheid van de gevels voor na-isolatie moet onderzocht worden. De spouw moet breder dan 3 cm zijn om de kans op regendoorslag niet te verhogen. De gevels vertonen hier en daar tekenen van degradatie door vocht en scheuren, hetgeen de mogelijkheden voor na-isolatie beperkt. Ook is eventueel aanvullend onderzoek nodig naar het meest geschikte isolatiemateriaal voor het TwenteBad en de financiële aspecten van na-isolatie, in termen van investeringskosten en terugverdientijden.

2. Het vervangen van de conventionele TL verlichting in het recreatiegedeelte, het instructiebad en de kleed-, douche- en toiletruimten door hoogfrequente TL verlichting.

Het jaarlijkse energiegebruik voor verlichting bedraagt met 218.331 kWh circa 18,6% van het totale jaarlijkse elektriciteitsgebruik. Met uitzondering van het doelgroepengedeelte, zijn alle rekenzones uitgerust met conventionele TL verlichting. Door de conventionele TL (T8) verlichting in het recreatiegedeelte, instructiebad en kleed-, douche- en toiletruimten te vervangen door hoogfrequente TL verlichting (T5-HF) wordt jaarlijks 80.463 kWh bespaard, hetgeen overeenkomt met 6,9% van het huidige elektrische energiegebruik. Dit zou een besparing op de energiekosten opleveren van € 5.447 per jaar (prijspeil 2012: € 0,067690, excl. btw). Door de langere levensduur van de hoogfrequente lampen, wordt daarnaast bespaard op de kosten voor het vervangen van de lampen.

3. Het laten onderzoeken of het plaatsen van zonnepanelen en -collectoren op het dak van het TwenteBad bouwkundig mogelijk en financieel interessant is.

Eerder onderzoek heeft uitgewezen dat het plaatsen van zonnepanelen op het dak van het TwenteBad een te grote belasting zou opleveren. Sinds kort zijn er echter betonnen draagconstructies, de zogenaamde Solar Bears, leverbaar. Daarmee wordt het totale gewicht van de constructies met zonnepanelen teruggebracht van 50 – 60 kg/m² zonnepaneel naar 28 – 33 kg/m² zonnepaneel. Per m² zonnepaneel kan circa 80 kWh elektriciteit per jaar worden opgewekt.

Het gewicht van een bolcollector (onafgedekte collector) gevuld met water is met circa 31 kg/m² collectoroppervlak niet zwaarder dan een zonnepaneel op een betonnen draagconstructie. De jaaropbrengst van onafgedekte collectoren ligt rond de 0,7 – 1,0 GJ per m² collectoroppervlak. Deze collectoren zijn goed toepasbaar voor het verwarmen van bassinwater voor buitenbaden. De jaaropbrengst van afgedekte collectoren ligt rond de 1,5 – 1,7 GJ per m² collectoroppervlak. Deze zijn toepasbaar voor het verwarmen van bassinwater voor binnenbaden en het verwarmen van douche- en kraanwater.

Er is aanvullend onderzoek nodig om te bepalen of zonnepanelen gedragen door Solar Bears en zonnecollectoren kunnen worden toegepast op het dak van het TwenteBad. Ook de financiële aspecten van dergelijke investeringen moeten daarbij onder de loep worden genomen.

Bibliografie

- Overheid.nl*. (1984, oktober 6). Opgeroepen op juni 27, 2013, van Besluit hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden:
http://wetten.overheid.nl/BWBR0003716/geldigheidsdatum_27-06-2013
- Agentschap NL. (2013, mei 22). *Beheer en onderhoud - energiezuinige verlichting*. Opgeroepen op juli 11, 2013, van Agentschap NL: <http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/beheer-en-onderhoud-energiezuinige-verlichting>
- Agentschap NL; Centraal Bureau voor de Statistiek; Energieonderzoek Centrum Nederland; Planbureau voor de Leefomgeving. (2012, september). *Notitie Energie: CO2 effecten elektriciteit*. Opgeroepen op juni 18, 2013, van CBS: http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/C6171FC2-656F-4777-A4EC-1AF88FE66560/0/Notitie_EnergieCO2_effecten_elektriciteit_Sept_2012_FINAAL.pdf
- Aman, M., Jasmon, G., Mokhlis, H., & Bakar, A. (2013). Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy*, 482 - 500.
- Amateur Swimming Association. (n.d.). *The use of energy in swimming pools*. Opgeroepen op juli 8, 2013, van http://www.swimming.org/assets/uploads/library/Use_of_Energy_in_Pools.pdf
- Architectenweb. (2010, september 14). *Energiezuinig zwembad krijgt label A++*. Opgeroepen op juli 15, 2013, van Architectenweb:
http://www.architectenweb.nl/aweb/redactie/redactie_detail.asp?iNID=24170
- ASHRAE. (2007). *ASHRAE Handbook HVAC Applications*. Atlanta, GA.
- Bekkering, P. (2013, april). Geusseltbad in Maastricht; Duurzaamste zwembad van Nederland. *Duurzaam Bouwen*, 26 - 27.
- Brambley, M., & Wells, S. (1983). Energy-conservation measures for indoor swimming pools. *Energy*, Vol. 8, no. 6, pp. 403 - 418.
- CBS. (2008, augustus 11). *Aantal zwembaden afgenomen*. Opgeroepen op mei 13, 2013, van CBS:
<http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/vrije-tijd-cultuur/publicaties/artikelen/archief/2008/2008-2531-wm.htm>
- Danish Technological Institute (n.d.). (sd). *Nøgletal, energi- og vandforbrug i svømmehaller*. Opgeroepen op juli 8, 2013, van Teknologisk Institut: <http://www.teknologisk.dk/21324>
- Day, T. (2006). *Degree-days: theory and application*. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- De Energiezaak, Energie-Nederland & Netbeheer Nederland. (2011). *Energie in Nederland 2011*. Zwolle: Zalsman B.V.
- D'haeseleer, W. (2005). De energieproblematiek in vogelvlucht. In *Energie vandaag en morgen: beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven: Uitgeverij Acco.
- Duurzaam gebouwd. (2012, februari 7). *Monumentaal stadhuis Hengelo duurzaam gerenoveerd*. Opgeroepen op april 29, 2013, van Duurzaam gebouwd:

- <http://www.duurzaamgebouwd.nl/20120207-monumentaal-stadhuis-hengelo-duurzaam-gerenoveerd>
- DWA installatie- en energieadvies. (2008). *Zonthermische energie voor zwembaden Friese Waddeneilanden*. Bodegraven: DWA installatie- en energieadvies.
- Energieleveranciers.nl. (n.d.). *Calorische waarde, bovenwaarde en onderwaarde*. Opgeroepen op juli 1, 2013, van Energieleveranciers.nl:
<http://www.energieleveranciers.nl/energie/begrippen/calorische-waarde>
- Energy Efficiency Office. (1994). *Introduction to energy efficiency in sports and recreation centres*. London: Department of the Environment.
- Enexis. (n.d.). *Toelichting bij uw netwerkfactuur*. Opgeroepen op juni 26, 2013, van Enexis:
<https://www.enexis.nl/Documents/enexis-toelichting-netwerkfactuur.pdf>
- Essent. (n.d.). *Begrippenlijst*. Opgeroepen op juni 26, 2013, van Essent:
<http://www.essent.nl/content/grootzakelijk/klantenservice/vraagantwoord/begrippenlijst.html>
- Gemeente Hengelo. (n.d.). *Energie besparen Hengelo*. Opgeroepen op april 29, 2013, van Energie besparen Hengelo: <http://www.energiebesparenhengelo.nl/>
- Gemeente Hengelo. (n.d.). *Wonen in Hengelo: Natuur & duurzaam*. Opgeroepen op april 29, 2013, van Gemeente Hengelo: <http://www.hengelo.nl/duurzaam>
- Gemeente Maastricht. (n.d.). *Koploper in duurzame zwembadenbouw*. Opgeroepen op juli 16, 2013, van Gemeente Maastricht: http://www.maastricht.nl/web/Home/Home/M_e_d_i_a_i_t_e_m-tonenop/Koploper-in-duurzame-zwembadenbouw.htm
- Gemeente Maastricht. (n.d.). *Ruimtestaat Zwem- en Sportcentrum De Geusselt - fase bestek en tekeningen*. Opgeroepen op juli 16, 2013, van Gemeente Maastricht:
<http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CD4QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.maastricht.nl%2Fweb%2Ffile%3Fuuid%3D2bc684f4-dd1c-4974-84aa-07375b2c6842%26owner%3Dbe0ef6f4-cbf0-48a4-8bd7-e6e0bc7bf5c0%26contentid%3D24898&ei=MufsUZbeCuaQ0QX>
- Geschiedenis24. (n.d.). *Persconferentie van Joop Den Uijl over de oliecrisis van 1973*. Opgeroepen op juli 30, 2013, van Geschiedenis24: <http://www.geschiedenis24.nl/speler.program.7058066.html>
- Geusseltbad. (n.d.). *Algemene info; De 5 baden*. Opgeroepen op augustus 1, 2013, van Geusseltbad:
<http://www.geusseltbad.nl/algemeen/algemene-info/de-5-baden>
- Janchiv, A., Oh, Y., & Choi, S. (2012). High quality biodiesel production from pork lard by high solvent additive. *ScienceAsia*, 95 - 101.
- Janssens, A. (n.d.). *Na-Isolatie van Bestaande Spouwmuren; analyse van kwaliteit en geschiktheid van materialen en uitvoeringstechnieken (samenvattend eindverslag)*.
- Kalogirou, S. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 231 - 295.

- Kamp, H. (2013, maart 11). *Kamerbrief Gunning aanbesteding schaliegas onderzoek*. Opgeroepen op juli 4, 2013, van Rijksoverheid: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2013/03/11/kamerbrief-gunning-aanbesteding-schaliegas-onderzoek.html>
- Kampel, W., Aas, B., & Bruland, A. (2013). Energy-use in Norwegian swimming halls. *Energy and Buildings*, 59, 181-186.
- Klok, T. (2009). Een duurzaam zwembad, een voorbeeld voor de samenleving. *Verwarming Ventilatie Plus*, 650 - 654.
- KNMI. (n.d.). *Klimatologie - Daggegevens van het weer in Nederland*. Opgeroepen op mei 28, 2013, van KNMI: <http://knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>
- KNMI. (n.d.). *Overzicht begrippen - Dauwpunt*. Opgeroepen op juni 12, 2013, van KNMI: <http://www.knmi.nl/cms/content/36543/dauwpunt>
- Knoppers, R. (2008, juli 18). *Bolle collectoren voor zonnewarmte*. Opgeroepen op juli 30, 2013, van Technisch Weekblad: <http://www.technischweekblad.nl/bolle-collectoren-voor-zonnewarmte.77830.lynkx>
- Koerts, A. (2011, november/december). *Budgetneutraal energieslurpende zwembaden opwaarderen*. Opgeroepen op juli 17, 2013, van BNG Bank: http://www.bng.nl/bng/pdf/2011nov-dec_Koerts_P14-18.pdf
- Kort, R. (n.d.). *Neptunus is het zuinigste zwembad*. Opgeroepen op juli 17, 2013, van Ecocert Energieadvies: <http://ecocertenergieadvies.nl/neptunus.pdf>
- Kuindersma, P. (2009). Luchtlekken geven hinder, energieverlies en schade. *Bouwen Nu*, 20 - 23.
- Liu, Q., Yu, G., & Liu, J. (2009). Solar radiation as large-scale resource for energy-short world. *Energy & Environment*, 319 - 329.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2011, augustus 29). Besluit van 29 augustus 2011 houdende vaststelling van voorschriften met betrekking tot het bouwen, gebruiken en slopen van bouwwerken (Bouwbesluit 2012). *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. (2009, oktober). *Handreiking Vervanging open verbrandingstoestellen voor corporaties en andere professionele verhuurders*. Opgeroepen op juni 2, 2013, van Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT): http://www.ilent.nl/Images/9250%20Handreiking%20vervanging%20openverbrandingstoestellen_tcm334-321823.pdf
- Mulier Instituut. (2012, juli 12). *Zwemmonitor 2012; Een beeld van het aanbod van zwemwater in Nederland*. Opgeroepen op juli 30, 2013, van Recron: http://www.recron.nl/l/library/download/urn:uuid:44105678-9d0c-4d0b-9f27-e4c71d8f4840/zwemonitor+2012+zwembaden+en+bassins+-+definitief-+juli2012.pdf?format=save_to_disk&ext=.pdf
- Over graaddagen. (n.d.). Opgeroepen op mei 21, 2013, van MinderGas.nl: http://www.mindergas.nl/degree_days/explanation

- Vlakke Plaat Collector 2,1 m²*. (n.d.). Opgeroepen op juli 10, 2013, van Groene-energiewinkel:
<http://www.groene-energiewinkel.nl/Zonneboilers+%28warmtapwater&verwarming%29/Losse+onderdelen/Vlakke+plaat+zonnecollectoren/45110020.html>
- Warmtenet Hengelo*. (n.d.). Opgeroepen op mei 14, 2013, van Warmtenet Hengelo:
<http://www.warmtenethengelo.nl/>
- Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep. (n.d.). *Even terug in de tijd: Zwemparadijs de Tongelreep*. Opgeroepen op juli 22, 2013, van Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep:
<http://www.tongelreep.nl/algemeen/historie.html>
- Nationaal Zwemcentrum de Tongelreep. (n.d.). *Plattegrond Tongelreep*. Opgeroepen op juli 16, 2013, van Tongelreep: <http://www.tongelreep.nl/algemeen/plattegrond-tongelreep.html>
- Nederlands Normalisatie-instituut. (2012). *NEN 7120: Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode*.
- Nederlands Normalisatie-instituut. (2012). *NEN 8088-1: Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen*.
- NRC. (2009, juni 12). *Alles over de gasbel van Slochteren*. Opgeroepen op juli 3, 2013, van NRC:
<http://vorige.nrc.nl/article2266913.ece>
- Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. (n.d.). *Klimazeitreihen - Bodentemperatur*. Opgeroepen op juni 3, 2013, van Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: <http://www.pik-potsdam.de/services/klima-wetter-potsdam/klimazeitreihen/bodentemperatur>
- Ramires, M., Nieto de Castro, C., Nagasaka, Y., Nagashima, A., Assael, M., & Wakeham, W. (1994). Standard Reference Data for the Thermal Conductivity of Water. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 1377 - 1381.
- Rijksoverheid. (2011, februari 25). *Energiebesparing*. Opgeroepen op mei 2, 2013, van Rijksoverheid:
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/energiebesparing/energiebesparing-in-gebouwen>
- Rijksoverheid. (2012, juni 28). *Energiebesparing*. Opgeroepen op mei 2, 2013, van Rijksoverheid:
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/energiebesparing/documenten-en-publicaties/convenanten/2012/06/28/convenant-energiebesparing-bestaande-woningen-en-gebouwen.html>
- Rijksoverheid. (n.d.). *Energiebesparing*. Opgeroepen op juli 2, 2013, van Rijksoverheid:
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/energiebesparing/vraag-en-antwoord/kan-ik-subsidie-voor-zonnepanelen-en-zonneboilers-krijgen.html>
- Rijksoverheid. (n.d.). *Gaswinning en gasinfrastructuur*. Opgeroepen op mei 10, 2013, van Rijksoverheid:
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/gas/gaspositie-van-nederland>
- Romijnders. (n.d.). *Romijnders Zonnepanelen*. Opgeroepen op juli 4, 2013, van Romijnders:
<http://www.romijnders.nl/romijnders-zonnepanelen>
- Saari, A., & Sekki, T. (2008). Energy Consumption of a Public Swimming Bath. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 202-206.

- Sartori, E. (2000). A critical review on equations employed for the calculation of the evaporation rate from free water surfaces. *Solar Energy*, Vol. 68, no. 1, 77 - 89.
- Shah, M. (2003). Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools. *Energy and Buildings*, 707 - 713.
- Shah, M. (2012). Improved method for calculating evaporation from indoor water pools. *Energy and Buildings*, 306 - 309.
- Sint Nicolaas, J. (2013, maart 8). *Toepassing Solar Bear maakt ballast overbodig*. Opgeroepen op juli 8, 2013, van Cobouw: <http://www.cobouw.nl/nieuws/algemeen/2013/03/08/toepassing-solar-bear-maakt-ballast-overbodig>
- Sportzaken.pro. (2013, juni 22). *Tongelreep zwemcomplex 'vet cool' verwarmt*. Opgeroepen op juli 12, 2013, van Sportzaken.pro: <http://www.sportzaken.pro/sportaccommodatiebeheer-en-exploitatie/tongelreep/>
- Steeds. (n.d.). *Hoe & Wat*. Opgeroepen op juli 5, 2013, van Steeds: <http://www.steeds.nl/zonnepanelen-hoe-en-wat.html>
- The Engineering ToolBox. (n.d.). *Air Properties*. Opgeroepen op juni 9, 2013, van The Engineering ToolBox: http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html
- The Engineering ToolBox. (n.d.). *Humidity Ratio of Air*. Opgeroepen op juni 12, 2013, van The Engineering ToolBox: http://www.engineeringtoolbox.com/humidity-ratio-air-d_686.html
- The Engineering ToolBox. (n.d.). *Water Vapor and Saturation Pressure in Humid Air*. Opgeroepen op mei 30, 2013, van The Engineering ToolBox: http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html
- Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylaktos, C., Droutsas, K., Balaras, C., Santamouris, M., et al. (1998). Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming Pools. *Energy and Buildings*, 123-135.
- U.S. Department of Energy. (2012). *Solid-State Lighting Research and Development: Multi-Year Program Plan*.
- van Helden, A., & van Hulsteijn, M. (2007, september). Onderzoek exploitatie zwembaden in de gemeenten Wassenaar, Voorschoten en Oegstgeest. Opgehaald van http://www.rekenkamerwvo.nl/dynamic/media/17/documents/4-Onderzoeken/2007/1-rapport_zwembaden.pdf
- VITO. (2009, Oktober). *Eco-design study Lot 19-Domestic Lighting*. Opgeroepen op juli 11, 2013, van eup4light.net: http://www.eup4light.net/assets/pdffiles/Final_part1_2/EuP_Domestic_Part1en2_V11.pdf
- Warmtenet Hengelo. (2011, november 29). *Nieuwbrief; speciale editie november 2011*.
- Watervision. (2009, november 30). *Onderwater LEDverlichting in zwembad Neptunus*. Opgeroepen op augustus 1, 2013, van Watervision: <http://www.watervision.nl/de/latest-news/neptunusbad-klazienaveen-nl.html>

Bijlagen

Bijlage A: TwenteBad in zeven onderdelen

Voor een onderzoek naar het energiegebruik, kan het TwenteBad in zeven onderdelen worden opgesplitst, waarvan zes rekenzones ten behoeve van energieprestatieberekeningen:

1. Het recreatiegedeelte met een ruimtetemperatuur van ongeveer 31 °C.
 - 1.1. Een recreatiebad met een oppervlak van 15 x 25 meter, een diepte van 200 tot 350 cm en een watertemperatuur van 30,2 °C (Figuur A.1).
 - 1.2. Een familiebad met een oppervlak van 12,5 x 10 meter, een diepte van 80 tot 140 cm en een watertemperatuur van 30,2 °C. In dit gedeelte bevinden zich ook twee glijbanen (Figuur A.2).
 - 1.3. Een peuterbad met een oppervlak van ongeveer 100 m² en een watertemperatuur van 30,2 °C (Figuur A.3).
 - 1.4. Een whirlpool (Figuur A.4).

Deze rekenzone heeft een gebruiksoppervlak van 1623,49 m² en de gebruiksfunctie *sportfunctie (overig)*.



Figuur A.1: Recreatiebad



Figuur A.2: Familiebad en glijbanen



Figuur A.3:
Peuterbad



Figuur A.4: Whirlpool

2. Het instructiebad met een oppervlak van 10 x 15 meter, een diepte van 10 tot 140 cm, een ruimtetemperatuur van 32,5 °C en een watertemperatuur van 31,5 °C (Figuur A.5). Deze rekenzone heeft een gebruiksoppervlak van 346,48 m² en de gebruiksfunctie *sportfunctie (overig)*.



Figuur A.5: Instructiebad



Figuur A.6: Doelgroepenbad

3. Het doelgroepengedeelte met een ruimtetemperatuur van ongeveer 29 °C.
 - 3.1. Het doelgroepenbad met een oppervlak van 15 x 25 meter, een diepte van 195 cm en een watertemperatuur van 26,8 °C (Figuur A.6). De gebruiksfunctie is *sportfunctie (overig)*.
 - 3.2. Een doucheruimte. De gebruiksfunctie is *sportfunctie (overig)*.
 - 3.3. Een berging. De gebruiksfunctie is *sportfunctie (overig)*.

De sportfuncties hebben tezamen een gebruiksoppervlak van 799,05 m².

- 3.4. Een vergaderruimte. De gebruiksfunctie is *bijeenkomstfunctie (overig)*.
- 3.5. Een tribune boven de vergaderruimte en de brug ernaartoe. De gebruiksfunctie is *bijeenkomstfunctie (overig)*.

De bijeenkomstfuncties hebben tezamen een gebruiksoppervlak van 204,30 m².

4. De kleed-, douche- en toiletruimten en ontvangsthal
 - 4.1. Kleedruimten: zestig kleedhokjes, zes gezinscabines en zes groepskleedruimten (Figuur A.7), doucheruimten en toiletruimten.
 - 4.2. Een ruimte met een zonnebank.
 - 4.3. Een werkplaats, bergingen en een cv-ruimte.
 - 4.4. Verwarmde verkeersruimten.

Deze ruimten (kleed-, douche- en toiletruimten) hebben een gezamenlijk gebruiksoppervlak van 1053,91 m² en de gebruiksfunctie *sportfunctie (overig)*.

- 4.5. De ontvangsthal met onder andere de kassa (Figuur A.8).
- 4.6. Toiletten.

Deze ruimten (ontvangsthal) hebben een gezamenlijk gebruiksoppervlak van 183,68 m² en de gebruiksfunctie *gemeenschappelijke ruimte*.



Figuur A.7: Kleedruimten



Figuur A.8: Ontvangsthal

5. De horeca
 - 5.1. Keuken en zitplaatsen.
 - 5.2. Een berging.
 - 5.3. Toiletten.
 - 5.4. Een EHBO post.

Deze rekenzone heeft een gebruiksoppervlak van 469,11 m² en de gebruiksfunctie *bijeenkomstfunctie (overig)*.

6. De Personeelsruimten

6.1. Kantoren.

6.2. Archief.

Deze ruimten hebben een gezamenlijk gebruiksoppervlak van 85,60 m² en de gebruiksfunctie *kantoorfunctie*.

6.3. Personeelskamer.

6.4. Keuken.

Deze ruimten hebben een gezamenlijk gebruiksoppervlak van 32,28 m² en de gebruiksfunctie *bijeenkomstfunctie*.

6.5. Personeelskleedruimten.

6.6. Droogruimte.

6.7. Toiletten.

6.8. Verkeersruimten.

Deze ruimten hebben een gezamenlijk gebruiksoppervlak van 67,39 m² en de gebruiksfunctie *gemeenschappelijke ruimte*.

7. De buitenbaden

7.1. Het diepe buitenbad met een oppervlak van 20 x 50 meter en een diepte van 140 tot 350 cm.

In de wintermaanden (september – mei) wordt er een blaashal over dit bad gezet, waardoor het ook bij slecht weer bruikbaar is voor onder andere schooljeugd (Figuur A.9).

7.2. Het familiebad met een oppervlak van 20 x 50 meter en een diepte van 40 tot 140 cm. In de lente van 2013 wordt dit bad in twee gedeelten van 20 x 25 meter opgesplitst, waarbij één gedeelte het diepe bassin verliest en van speeltoestellen wordt voorzien (Figuur A.10).

7.3. Het peuterbad met een oppervlak van 120 m² en een diepte van 10 cm (Figuur A.11).



Figuur A.9: Diepe buitenbad

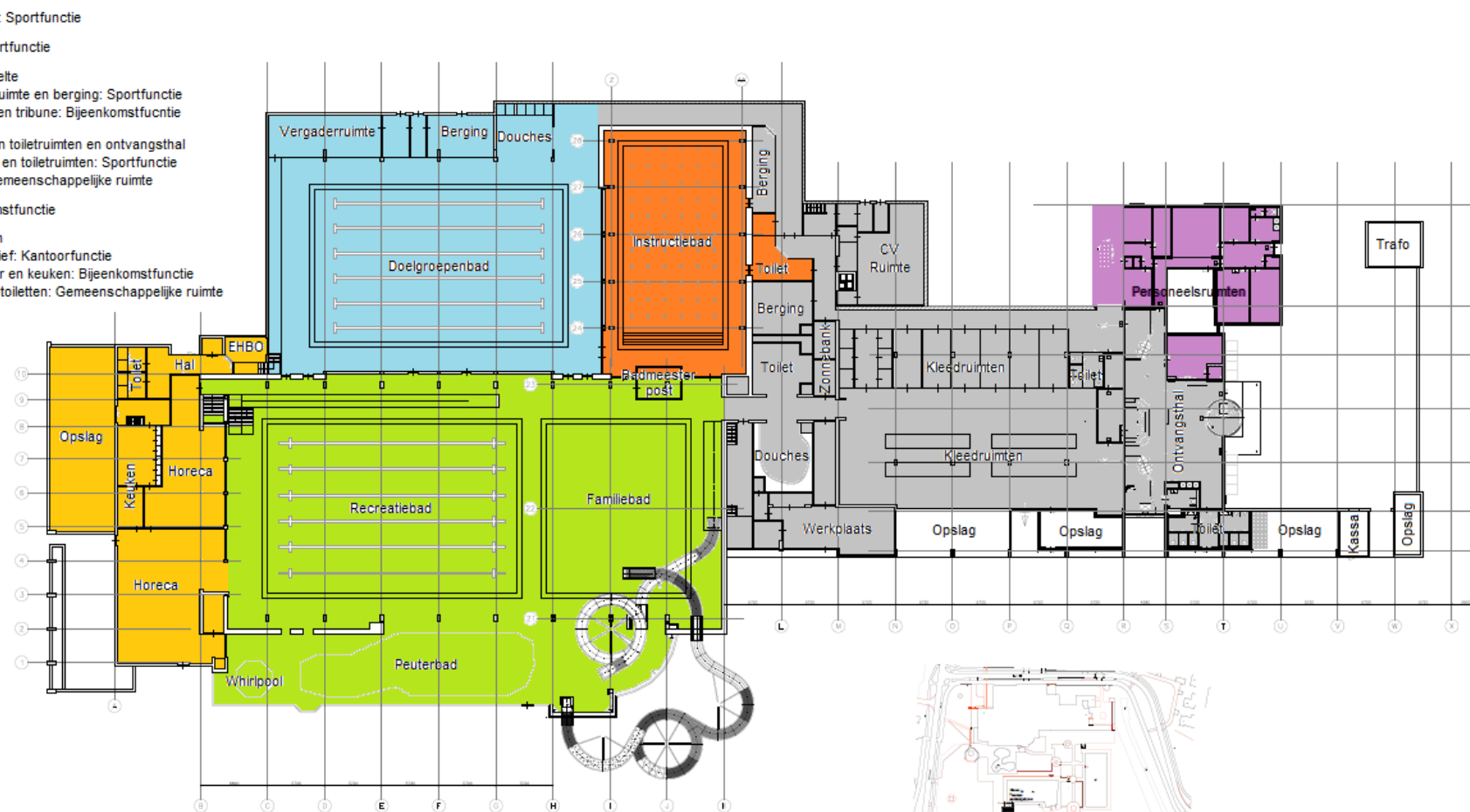


Figuur A.10: Familiebad (buiten)



Figuur A.11: Peuterbad (buiten)

Bijlage B: Indeling in rekenzones



Figuur B.1: Indeling in rekenzones

Bijlage C: Energiegebruik en -kosten voor verwarming

Tabel C.1: Energiegebruik voor verwarming en uitgesplitste kosten 2012/2013

	01-01-2012 t/m 24-04-2012	25-04-2012 t/m 11-07-2012	12-07-2012 t/m 16-11-2012	17-11-2012 t/m 28-02-2013	01-03-2013 t/m 02-05-2013	Totaal
Gas (GJ)	4969	2139	3545	4432	2207	17292
Hout (GJ)	3396	1220	2324	3168	1434	11542
Totaal (GJ)	8365	3359	5869	7600	3641	28834
Aantal graaddagen	3041,30	1256,20	2259,10	2944,40	1648,50	11149,50
Aantal gewogen graaddagen	3100,24	1004,96	2055,40	3238,84	1503,60	10903,04
Energiegebruik per graaddag (GJ)	2,75	2,67	2,60	2,58	2,21	2,59
Energiegebruik per gewogen graaddag (GJ)	2,70	3,34	2,86	2,35	2,42	2,64
Kosten (€) excl. BTW						
Kosten gas	58924,28	25368,38	42033,74	55671,94	27720,30	209718,64
Kosten hout	40276,56	14469,11	27562,64	39790,08	18011,04	140109,43
Vastrecht	6635,37	5098,94	8355,68	7096,32	4135,64	31321,95
Totale kosten	105836,21	44936,43	77952,06	102558,34	49866,98	381150,02
Kosten per graaddag (€)	34,80	35,77	34,51	34,83	30,25	34,19
Kosten per gewogen graaddag (€)	34,14	44,71	37,93	31,67	33,17	34,96

Energiegebruik 2012: 8365 GJ + 3359 GJ + 5869 GJ + (aantal graaddagen 17-11-2012 t/m 31-12-2012 * 2,58)

Het aantal graaddagen van 17-11-2012 t/m 31-12-2012 bedroeg 1186,50 (KNMI, n.d.). Het totale energiegebruik in het jaar 2012 komt daarmee op: 20.656 GJ.

Energiekosten 2012: € 105.836,21 + € 44.936,43 + € 77.952,06 + (aantal graaddagen 17-11-2012 t/m 31-12-2012 * € 34,83) = € 270.052,46

Bijlage D: Elektrisch energieverbruik en -kosten

Tabel D.1: Elektriciteitsgebruik en uitgesplitste kosten 2012

	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	Totaal
<i>Gebruik (kWh)</i>													
Gebruik normaal uren	54837	51933	52735	45383	51770	49474	51552	54824	48365	54360	49003	45902	610138
Gebruik laag uren	47299	43401	46735	47440	46741	45590	48411	44785	50008	43410	45228	54094	563142
Totaal gebruik	102136	95334	99470	92823	98511	95064	99963	99609	98373	97770	94231	99996	1173280
<i>Kosten Essent (€)</i>													
Gebruik normaal uren	3711,92	3515,34	3569,63	3071,98	3504,31	3348,90	3489,55	3711,04	3273,83	3679,63	3317,01	3107,11	41300,25
Gebruik laag uren	1928,85	1769,89	1905,85	1934,60	1906,10	1859,16	1974,20	1826,33	2039,33	1770,26	1844,40	2205,95	22964,92
Heffingskorting EB	-318,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-318,62
Vastrechtvergoeding	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	576,00
Energiebelastingen	3378,71	1058,21	1104,12	1030,34	1093,47	1055,21	1109,59	1105,66	1091,94	1085,25	1045,96	1109,96	15268,42
BTW	1662,28	1214,37	1259,24	1156,13	1244,86	1199,14	1258,05	1271,30	1226,09	1382,46	1313,63	1358,91	15546,46
Totale kosten Essent	10411,14	7605,81	7886,84	7241,05	7796,74	7510,41	7879,39	7962,33	7679,19	7965,60	7569,00	7829,93	95337,43
<i>Kosten Enexis (€)</i>													
Transportkosten	868,16	810,34	845,50	789,00	837,34	808,04	849,69	846,68	836,17	831,05	800,96	849,97	9972,90
Systeemdiensten	113,37	105,82	110,41	103,03	109,35	105,52	110,96	110,57	109,19	108,52	104,60	111,00	1302,34
Gecontracteerd vermogen (268 kW)	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	328,75	3945,00
Maximaal vermogen	290,08	279,72	270,84	282,68	273,80	267,88	261,96	276,76	287,12	264,92	259,00	290,08	3304,84
Vastrecht transportdienst	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	36,75	441,00
Vastrecht aansluitdienst	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	52,58	630,96
Huur transformatoren	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	61,01	732,12
Huur meterdiensten	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	65,28	783,36
BTW	345,04	330,65	336,51	326,63	335,32	327,90	335,73	337,89	337,60	367,26	358,88	377,04	4116,45
Totale kosten Enexis	2161,02	2070,90	2107,63	2045,71	2100,18	2053,71	2102,71	2116,27	2114,45	2116,12	2067,81	2172,46	25228,97
Totale kosten (€)	12572,16	9676,71	9994,47	9286,76	9896,92	9564,12	9982,10	10078,60	9793,64	10081,72	9636,81	10002,39	120566,40

Toelichting kostenposten

Essent (Essent, n.d.)

Gebruik normaal uren:	Het elektriciteitsgebruik tussen 07:00 en 23:00 op werkdagen. Het normaal-tarief bedroeg € 0,067690 per kWh in 2012.						
Gebruik laag uren:	Het elektriciteitsgebruik tussen 23:00 en 7:00 op werkdagen, in het weekend en op feestdagen. Het laag-tarief bedroeg € 0,040780 in 2012.						
Heffingskorting EB:	De jaarlijkse heffingskorting op de energiebelasting.						
Vastrechtvergoeding:	De vaste kosten voor de levering van energie.						
Energiebelastingen:	De belasting op energie. De belasting wordt in schijven berekend. Voor het TwenteBad zijn de eerste drie schijven (zones) van toepassing. De tarieven bedroegen in 2012: <table><tr><td>Zone 1: 0 – 10.000 kWh;</td><td>€ 0,114000 per kWh</td></tr><tr><td>Zone 2: 10.000 – 50.000 kWh;</td><td>€ 0,041500 per kWh</td></tr><tr><td>Zone 3: 50.000 – 10 miljoen kWh;</td><td>€ 0,011100 per kWh</td></tr></table>	Zone 1: 0 – 10.000 kWh;	€ 0,114000 per kWh	Zone 2: 10.000 – 50.000 kWh;	€ 0,041500 per kWh	Zone 3: 50.000 – 10 miljoen kWh;	€ 0,011100 per kWh
Zone 1: 0 – 10.000 kWh;	€ 0,114000 per kWh						
Zone 2: 10.000 – 50.000 kWh;	€ 0,041500 per kWh						
Zone 3: 50.000 – 10 miljoen kWh;	€ 0,011100 per kWh						
BTW:	De belasting over de toegevoegde waarde (omzetbelasting). Deze bedroeg 19% van het totale netto bedrag van januari t/m september 2012, en is per 1 oktober 2012 gewijzigd in 21%.						

Enexis (Enexis, n.d.)

Transportkosten:	De kosten voor het transport van elektrische energie. Het tarief hiervoor bedroeg € 0,008500 per kWh in 2012.
Systeemdiensten:	De kosten voor het energietransport over het landelijk transportnet. Deze kosten int Enexis voor de beheerder van het landelijk transportnet, TenneT.
Gecontracteerd vermogen:	De transportcapaciteit die in het distributienet wordt gereserveerd. In het geval van het TwenteBad bedraagt dit 268 kW. De prijs hiervoor bedroeg € 1,226667 per kW per maand in 2012.
Maximaal vermogen:	Het maximaal gemeten vermogen in de betreffende maand. De prijs hiervoor bedroeg € 1,480000 per kW per maand in 2012.
Vastrecht transportdienst:	De kosten voor databeheer, facturering en incasso.
Vastrecht aansluitdienst:	De kosten voor het onderhoud en instandhouden van de aansluiting.
Huur transformatoren:	De huur voor de transformatoren, inclusief het reguliere onderhoud en het verhelpen van storingen.

Huur meterdiensten:	De kosten voor de door Enexis Meetbedrijf B.V. verhuurde meetinrichting, inclusief de investering van de meetinrichting en het onderhoud.
BTW:	De belasting over de toegevoegde waarde (omzetbelasting). Deze bedroeg 19% van het totale netto bedrag van januari t/m september 2012, en is per 1 oktober 2012 gewijzigd in 21%.

Bijlage E: Bepaling theoretisch energiegebruik

TwenteBad

Twan Rovers, Universiteit Twente

Uniec^{2.0}

2,34

Algemene gegevens

projectomschrijving	TwenteBad
adres	Lage weide 3
postcode / plaats	7556 NA Hengelo
bouwjaar	1972
categorie	utiliteitsbouw

Indeling gebouw

Eigenschappen rekenzones			
type rekenzone	omschrijving	massa vloer	type plafond
verwarmde zone	Recreatiegedeelte	> 400 kg/m ²	gesloten plafond
verwarmde zone	Instructiebad	> 400 kg/m ²	gesloten plafond
verwarmde zone	Doelgroepengedeelte	> 400 kg/m ²	gesloten plafond
verwarmde zone	Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal	> 400 kg/m ²	gesloten plafond
verwarmde zone	Horeca	> 400 kg/m ²	gesloten plafond
verwarmde zone	Personeelsruimten	> 400 kg/m ²	gesloten plafond

Gebruiksfuncties per rekenzone Recreatiegedeelte							
gebruiksfunctie	A _g [m ²]	open verbinding	80% regel	aangesloten op gem. ruimte	θ _{int;set;H} [°]	q _{g;spec} [dm ³ /sm ²]	EPC eis
sportfunctie overig	1.623,49	nee	nee	n.v.t.	20,00	0,46	1,80

Gebruiksfuncties per rekenzone Instructiebad							
gebruiksfunctie	A _g [m ²]	open verbinding	80% regel	aangesloten op gem. ruimte	θ _{int;set;H} [°]	q _{g;spec} [dm ³ /sm ²]	EPC eis
sportfunctie overig	346,48	nee	nee	n.v.t.	20,00	0,46	1,80

Gebruiksfuncties per rekenzone Doelgroepengedeelte							
gebruiksfunctie	A _g [m ²]	open verbinding	80% regel	aangesloten op gem. ruimte	θ _{int;set;H} [°]	q _{g;spec} [dm ³ /sm ²]	EPC eis
sportfunctie overig	799,05	nee	ja	n.v.t.	20,00	0,46	1,80
bijeenkomstfunctie overig	204,30	nee	ja	n.v.t.	20,00	1,71	2,00

Gebruiksfuncties per rekenzone Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal							
gebruiksfunctie	A _g [m ²]	open verbinding	80% regel	aangesloten op gem. ruimte	θ _{int;set;H} [°]	q _{g;spec} [dm ³ /sm ²]	EPC eis
sportfunctie overig	1.053,91	nee	ja	ja	20,00	0,46	1,80

Gebruiksfuncties per rekenzone Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal								
gebruiksfunctie	A _g [m ²]	open verbinding	80% regel	aangesloten op gem. ruimte	θ _{int;set,H} [°]	q _{g;spec} [dm ³ /sm ²]	EPC eis	
gemeenschappelijke ruimte	183,68	nee	ja	n.v.t.	0,00	0,00	0,00	

Gebruiksfuncties per rekenzone Horeca								
gebruiksfunctie	A _g [m ²]	open verbinding	80% regel	aangesloten op gem. ruimte	θ _{int;set,H} [°]	q _{g;spec} [dm ³ /sm ²]	EPC eis	
bijeenkomstfunctie overig	469,11	nee	nee	n.v.t.	20,00	1,71	2,00	

Gebruiksfuncties per rekenzone Personeelsruimten								
gebruiksfunctie	A _g [m ²]	open verbinding	80% regel	aangesloten op gem. ruimte	θ _{int;set,H} [°]	q _{g;spec} [dm ³ /sm ²]	EPC eis	
kantoorfunctie	85,60	nee	ja	ja	20,00	1,11	1,10	
bijeenkomstfunctie overig	32,28	nee	ja	ja	20,00	1,71	2,00	
gemeenschappelijke ruimte	67,39	nee	ja	n.v.t.	0,00	0,00	0,00	

Infiltratie

meetwaarde voor infiltratie q _{v;10;spec}	nee	lengte van
het gebouw		120,77 m
breedte van het gebouw		61,69 m
hoogte van het gebouw		11,50 m

Eigenschappen infiltratie		
rekenzone	gebouwtype	q _{v;10;spec} [dm ³ /s per m ²]
Recreatiegedeelte	grondgebonden gebouw, tussenligging, plat dak	0,49
Instructiebad	grondgebonden gebouw, tussenligging, plat dak	0,49
Doelgroepengedeelte	grondgebonden gebouw, kop-, eind- of hoekligging, plat dak	0,59
Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal	grondgebonden gebouw, kop-, eind- of hoekligging, plat dak	0,59
Horeca	grondgebonden gebouw, kop-, eind- of hoekligging, plat dak	0,59
Personeelsruimten	grondgebonden gebouw, kop-, eind- of hoekligging, plat dak	0,59

Open verbrandingstoestellen

Het gebouw bevat geen open verbrandingstoestellen.

Bouwkundige transmissiegegevens

Transmissiegegevens rekenzone Recreatiegedeelte							
constructie	A [m²]	R _c [m²K/W]	U [W/m²K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduwing	toelichting
Vloer - AVR - 1.123,5 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	1.123,49	0,17					
Vloer (recreatiebad) - grond - 375,0 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	375.00	0.17					

Transmissiegegevens rekenzone Recreatie							
constructie	A [m²]	R _c [m²K/W]	U [W/m²K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduwing	toelichting
Vloer (familiebad) - grond - 125,0 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	125,00	0,17					
Achtergevel zuid - buitenlucht, Z - 425,1 m² - 90°							
Gevels	282,60	0,43					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	142,52		3,10	0,60	nee		minimale belem.
Zijgevel west - buitenlucht, W - 72,2 m² - 90°							
Gevels	17,38	0,43					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	54,86		3,10	0,60	nee		minimale belem.
Zijgevel oost - buitenlucht, O - 70,4 m² - 90°							
Gevels	39,29	0,43					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	31,06		3,10	0,60	nee		minimale belem.
Plat dak - buitenlucht, HOR, dak - 1.623,5 m² - 0°							
Daken (recreatie, doelgroepenbad, instructiebad)	1.623,49	3,50					minimale belem.
Doelgroepenbad - AVR - 244,6 m²							
Gevels	244,55	0,43					minimale belem.
Instructiebad - AVR - 89,1 m²							
Gevels	89,06	0,43					minimale belem.
Kleed-, douche- en toiletruimten - AVR - 61,4 m²							
Gevels	61,42	0,43					minimale belem.
Horeca - AVR - 165,2 m²							
Gevels	165,23	0,43					minimale belem.
Zijgevel west (boven horeca) - buitenlucht, W - 239,8 m² - 90°							
Gevels	239,79	0,43					minimale belem.
Zijgevel oost (boven kleed-, douche- en toiletruimten) - buitenlucht, O - 112,5 m² - 90°							
Gevels	112,45	0,43					minimale belem.
Achtergevel zuid (toren) - buitenlucht, Z - 80,5 m² - 90°							
Gevels	16,70	0,43					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	63,80		3,10	0,60	nee		minimale belem.
Zijgevel west (toren) - buitenlucht, W - 13,8 m² - 90°							
Gevels	2,51	0,43					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	11,29		3,10	0,60	nee		minimale belem.
Zijgevel oost (toren) - buitenlucht, O - 23,0 m² - 90°							
Gevels	4,18	0,43					minimale belem.

Transmissiegegevens rekenzone Recreatiegedeelte							
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduwing	toelichting
Ramen en glasdeuren	18,82		3,10	0,60	nee	minimale belem.	
Voorgevel noord (boven doelgroepenbad) - buitenlucht, N - 92,1 m² - 90°							
Gevels	92,13	0,43				minimale belem.	
Voorgevel noord (boven instructiebad) - buitenlucht, N - 33,6 m² - 90°							
Gevels	33,55	0,43				minimale belem.	

De lineaire warmteverliezen zijn berekend volgens de forfaitaire methode uit hoofdstuk 13 van NEN 1068.

Lineaire transmissiegegevens rekenzone Recreatiegedeelte		
constructie	l [m]	toelichting
Vloer (recreatiebad) - grond - 375,0 m²		
forfaitaire perimeter	80,00	Omtrek bassin
Vloer (familiebad) - grond - 125,0 m²		
forfaitaire perimeter	45,00	Omtrek bassin

Transmissiegegevens rekenzone Instructiebad							
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduwing	toelichting
Vloer - grond - 196,5 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	196,48	0,17					
Recreatie - AVR - 89,1 m²							
Gevels	89,06	0,43				minimale belem.	
Kleed-, douche- en toiletruimten - AVR - 154,4 m²							
Gevels	154,42	0,43				minimale belem.	
Doelgroepenbad - AVR - 181,8 m²							
Gevels	181,77	0,43				minimale belem.	
Plat dak - buitenlucht, HOR, dak - 346,5 m² - 0°							
Daken (recreatie, doelgroepenbad, instructiebad)	346,48	3,50				minimale belem.	
Zijgevel oost (boven kleed-, douche- en toiletruimten) - buitenlucht, O - 94,5 m² - 90°							
Gevels	94,50	0,43				minimale belem.	
Zijgevel noord (boven kleed-, douche- en toiletruimten) - buitenlucht, N - 57,4 m² - 90°							
Gevels	57,38	0,43				minimale belem.	
Achtergevel zuid (boven kleed-, douche- en toiletruimten) - buitenlucht, Z - 11,3 m² - 90°							
Gevels	11,25	0,43				minimale belem.	

Transmissiegegevens rekenzone Instructiebad							
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduwing	toelichting
Vloer - AVR - 150,0 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	150,00	0,17					

De lineaire warmteverliezen zijn berekend volgens de forfaitaire methode uit hoofdstuk 13 van NEN 1068.

Lineaire transmissiegegevens rekenzone Instructiebad		
constructie	l [m]	toelichting
Vloer - grond - 196,5 m²		
forfaitaire perimeter	50,00	Omtrek bassin

Transmissiegegevens rekenzone Doelgroepengedeelte							
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduwing	toelichting
Vloer - grond - 1.003,4 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	1.003,35	1,30					
Horeca - AVR - 15,6 m²							
Gevels	15,58	0,43					minimale belem.
Recreatie - AVR - 244,6 m²							
Gevels	244,55	0,43					minimale belem.
Instructiebad - AVR - 181,8 m²							
Gevels	181,77	0,43					minimale belem.
Voorgevel noord - buitenlucht, N - 244,6 m² - 90°							
Gevels (doelgroepenbad)	169,45	2,00					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	51,80		3,10	0,60	nee		minimale belem.
Deuren	23,30		3,40	0,00	nee		minimale belem.

Zijgevel west - buitenlucht, W - 162,8 m² - 90°							
Gevels (doelgroepenbad)	133,79	2,00					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	29,00		3,10	0,60	nee		minimale belem.

Plat dak - buitenlucht, HOR, dak - 1.003,4 m² - 0°							
Daken (recreatie, doelgroepenbad, instructiebad)	1.003,35	3,50					minimale belem.

Zijgevel west (boven horeca) - buitenlucht, W - 12,2 m² - 90°							
Gevels (doelgroepenbad)	5,06	2,00					minimale belem.
Ramen en glasdeuren	7,10		3,10	0,60	nee		minimale belem.

Zijgevel oost (boven kleed-, douche- en toileruitmen) - buitenlucht, O - 8,3 m² - 90°							
---	--	--	--	--	--	--	--

Transmissiegegevens rekenzone Doelgroepengedeelte							
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduw	toelichting
Gevels (doelgroepenbad)	8,25	2,00				minimale belem.	

De lineaire warmteverliezen zijn berekend volgens de forfaitaire methode uit hoofdstuk 13 van NEN 1068.

Lineaire transmissiegegevens rekenzone Doelgroepengedeelte		
constructie	l [m]	toelichting
Vloer - grond - 1.003,4 m²		
forfaitaire perimeter	56,20	Omtrek ruimte (buitenwanden)

Transmissiegegevens rekenzone Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal							
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduw	toelichting
Vloer - grond - 1.047,6 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	1.047,59	0,17					
Vloer - AVR - 190,0 m²							
Vloeren (grond/kruipruimten)	190,00	0,17					
Instructiebad - AVR - 154,4 m²							
Gevels	154,42	0,43					minimaal
Recreatie - AVR - 61,4 m²							
Gevels	61,42	0,43					minimaal
Voorgevel noord - buitenlucht, N - 175,7 m² - 90°							
Gevels	175,73	0,43					minimaal
Zijgevel oost - buitenlucht, O - 161,2 m² - 90°							
Gevels	131,77	0,43					minimaal
Ramen en glasdeuren	29,40		3,10	0,60	nee		minimaal
Achtergevel zuid - buitenlucht, Z - 188,2 m² - 90°							
Gevels	157,05	0,43					minimaal
Ramen en glasdeuren	31,10		3,10	0,60	nee		minimaal
Plat dak - buitenlucht, HOR, dak - 1.237,6 m² - 0°							
Daken (personeelsruimten, horeca, kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal)	1.237,59	0,86					minimaal
Zijgevel west - buitenlucht, W - 14,6 m² - 90°							
Gevels	14,55	0,43					minimaal
Personeelsruimten - AVR - 58,4 m²							
Gevels	58,35	0,43					minimaal

De lineaire warmteverliezen zijn berekend volgens de forfaitaire methode uit hoofdstuk 13 van NEN 1068.

Lineaire transmissiegegevens rekenzone Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal							
---	--	--	--	--	--	--	--

constructie	l [m]	toelichting
Vloer - grond - 1.047,6 m²		
forfaitaire perimeter	149,40	Omtrek ruimte (buitenwanden)

Transmissiegegevens rekenzone Horeca						
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduw
Vloer - grond - 469,1 m²						
Vloeren (grond/kruipruimten)	469,11	0,17				
Doelgroepenbad - AVR - 15,6 m²						
Gevels	15,58	0,43				minimale bele
Recreatie - AVR - 165,2 m²						
Gevels	165,23	0,43				minimale bele
Voorgevel noord - buitenlucht, N - 90,2 m² - 90°						
Gevels	65,80	0,43				minimale bele
Ramen en glasdeuren	24,40		3,10	0,60	nee	minimale bele
Zijgevel west - buitenlucht, W - 132,4 m² - 90°						
Gevels	96,73	0,43				minimale bele
Ramen en glasdeuren	35,70		3,10	0,60	nee	minimale bele
Achtergevel zuid - buitenlucht, Z - 68,1 m² - 90°						
Gevels	52,76	0,43				minimale bele
Ramen en glasdeuren	15,30		3,10	0,60	nee	minimale bele
Plat dak - buitenlucht, HOR, dak - 469,1 m² - 0°						
Daken (personeelsruimten, horeca, kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal)	469,11	0,86				minimale bele

De lineaire warmteverliezen zijn berekend volgens de forfaitaire methode uit hoofdstuk 13 van NEN 1068.

Lineaire transmissiegegevens rekenzone Horeca						
constructie	l [m]		toelichting			
Vloer - grond - 469,1 m²						
forfaitaire perimeter	71,40		Omtrek ruimte (buitenwanden)			
Transmissiegegevens rekenzone Personeelsruimten						
constructie	A [m²]	Rc [m²K/W]	U [W/m²K]	ggl [-]	zonwering	beschaduw
Vloer - grond - 185,3 m²						
Vloeren (grond/kruipruimten)	185,27	0,17				
Voorgevel noord - buitenlucht, N - 77,8 m² - 90°						
Gevels	70,07	0,43				minimale bel

Transmissiegegevens rekenzone Personeelsruimten						
constructie	A [m ²]	R _c [m ² K/W]	U [W/m ² K]	g _{gl} [-]	zonwering	beschaduwingsfactor
Ramen en glasdeuren	7,75		3,10	0,60	nee	minimale belasting
Zijgevel oost - buitenlucht, O - 60,2 m² - 90°						
Gevels	50,89	0,43				minimale belasting
Ramen en glasdeuren	9,35		3,10	0,60	hand	minimale belasting
Zijgevel west - buitenlucht, W - 54,2 m² - 90°						
Gevels	48,21	0,43				minimale belasting
Ramen en glasdeuren	6,00		3,10	0,60	nee	minimale belasting
Achtergevel zuid - buitenlucht, Z - 35,6 m² - 90°						
Gevels	29,55	0,43				minimale belasting
Ramen en glasdeuren	6,05		3,10	0,60	nee	minimale belasting
Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal - AVR - 58,4 m²						
Gevels	58,35	0,43				minimale belasting
Plat dak - buitenlucht, HOR, dak - 185,3 m² - 0°						
Daken (personeelsruimten, horeca, kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal)	185,27	0,86				minimale belasting

De lineaire warmteverliezen zijn berekend volgens de forfaitaire methode uit hoofdstuk 13 van NEN 1068.

Lineaire transmissiegegevens rekenzone Personeelsruimten		
constructie	l [m]	toelichting
Vloer - grond - 185,3 m²		
forfaitaire perimeter	51,30	Omtrek ruimte (buitenwanden)

Verwarming- en warmtapwatersystemen

verwarming/warmtapwater 1

Opwekking

type opwekker	<i>individueel cv-toestel, binnen EPC begrenzing</i>
indeling LT/HT voor opwekker	<i>hoge temperatuur</i>
toepassingsklasse (CW-klasse)	<i>4 (CW 4, 5 en 6)</i>
type CV-ketel - verwarming	<i>HR-100 ketel</i>
type CV-ketel - warmtapwater	<i>gasgestookt combitoestel HRww (67,5%)</i>
aantal opwekkers	<i>12</i>
hoeveelheid energie t.b.v. verwarming per toestel ($Q_{H;dis;nren;an}$)	<i>217.232 MJ</i>
hoeveelheid energie t.b.v. warmtapwater per toestel ($Q_{W;dis;nren;an}$)	<i>19.605 MJ</i>
opwekkingsrendement verwarming - CV ketel ($\eta_{H;gen}$)	<i>0,900</i>
opwekkingsrendement warmtapwater - CV ketel ($\eta_{W;gen}$)	<i>0,675</i>

Kenmerken afgiftesysteem verwarming

Type warmteafgifte					
type warmteafgifte	positie	hoogte	R _c	θ _{em;avg}	η _{H;em}
luchtverwarming	n.v.t.	≥ 8 m	n.v.t.	n.v.t.	0,85
luchtverwarming	n.v.t.	< 8 m	n.v.t.	n.v.t.	0,95
radiator- en/of convectorverwarming	buitenwand	< 8 m	< 2,5 m²K/W	> 50 °	0,90

afgifterendement (η_{H;em}) 0,900

Kenmerken distributiesysteem verwarming

warmtetransport door *lucht*
 koeltransport door *n.v.t. (lokaal systeem of geen koeling)*
 individuele regeling verwarming *nee*
 geïsoleerde leidingen en kanalen *ja*
 distributierendement (η_{H;dis}) 0,750

Kenmerken tapwatersysteem

gebruiksoppervlakte aangesloten op systeem 4.865,29 m²
 gemiddelde lengte uittapleidingen 1 of meer tappunten > 3 meter
 afgifterendement warmtapwater (η_{W;em}) 0,800

Douchewarmteterugwinning

douchewarmteterugwinning *nee*

Zonneboiler

zonneboiler *nee*

Hulpenergie verwarming

hoofdcirculatiepomp aanwezig *ja*
 hoofdcirculatiepomp voorzien van pompregeling *ja*
 aanvullende circulatiepomp aanwezig *nee*
 ondergrens van de modulatie van de brander (m_{min}) 0,4
 aantal toestellen met waakvlam 0

Aangesloten rekenzones

Recreatie
 Instructiebad
 Doelgroepenbad
 Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal
 Horeca
 Personeelsruimten

Ventilatie

ventilatie 1

Ventilatiesysteem

ventilatiesysteem	<i>Dd. mechanische toe- en afvoer - decentraal</i>
systeemvariant	<i>D5b decentrale WTW en CO2-sturing op afvoer met 2 of meer zones</i>
luchtvolumestroomfactor voor warmte- en koudebehoefte (f_{sys})	1,00
correctiefactor regelsysteem voor warmte- en koudebehoefte (f_{reg})	0,67

Kenmerken ventilatiesysteem

werkelijk geïnstalleerde ventilatiecapaciteit bekend	<i>ja</i>
mechanische toevoer van buiten ($q_{vinst;1c}$ / $q_{ve;sys;mech;e}$)	<i>0 dm³/s</i>
mechanische toevoer voorbehandeld ($q_{vinst;1d}$ / $q_{ve;sys;mech;pre}$)	<i>26.556 dm³/s</i>
terugregeling / recirculatie	<i>terugregeling tot 80% van ventilatiedebiet</i>
luchtdichtheidsklasse ventilatiekanalen	<i>onbekend</i>

Passieve koeling

max. benutting geïnstal. ventilatiecapaciteit voor koudebehoefte	<i>nee</i>
max. benutting geïnstal. spuicapaciteit voor koudebehoefte	<i>nee</i>
spuivoorziening	<i>ventilatiëroosters</i>

Kenmerken warmteterugwinning

rendement warmteterugwinning forfaitair	<i>langzaam roterende of intermitterende warmtewisselaar (70%)</i>
rendement warmteterugwinning inclusief dissipatie	<i>ja</i>
praktijkrendementcorrectiefactor (f_{rend})	0,80
fractie lucht via bypass	0,00

Kenmerken ventilatoren

vermogen ventilator(en) forfaitair berekend	<i>ja</i>
extra circulatie op ruimteniveau	<i>nee</i>

Aangesloten rekenzones

Recreatie
 Instructiebad
 Doelgroepenbad
 Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal
 Horeca
 Personeelsruimten

Verlichting

verlichting Recreatie

Verlichtingssysteem

verlichtingsvermogen forfaitair	<i>nee</i>
oppervlakte daglichtsector (A_{dayl}) forfaitair	<i>ja</i>

Kenmerken verlichtingssysteem

aanwezigheidsdetectie > 70% van rekenzone	<i>nee</i>
armatuurafzuiging > 70% van verlichtingsvermogen	<i>nee</i>

Eigenschappen verlichtingssysteem			
regeling	$P_{n;\text{spec}}$ [W/m ²]	A_{zone} [m ²]	F_D
vertrekschakeling	10,8	1.623,49	0,90

verlichting Instructiebad

Verlichtingssysteem

verlichtingsvermogen forfaitair	<i>nee</i>
oppervlakte daglichtsector (A_{dayl}) forfaitair	<i>ja</i>

Kenmerken verlichtingssysteem

aanwezigheidsdetectie > 70% van rekenzone	<i>nee</i>
armatuurafzuiging > 70% van verlichtingsvermogen	<i>nee</i>

Eigenschappen verlichtingssysteem			
regeling	$P_{n;\text{spec}}$ [W/m ²]	A_{zone} [m ²]	F_D
vertrekschakeling	19,5	346,48	0,90

verlichting Doelgroepenbad

Verlichtingssysteem

verlichtingsvermogen forfaitair	<i>nee</i>
oppervlakte daglichtsector (A_{dayl}) forfaitair	<i>ja</i>

Kenmerken verlichtingssysteem

aanwezigheidsdetectie > 70% van rekenzone	<i>nee</i>
armatuurafzuiging > 70% van verlichtingsvermogen	<i>nee</i>

Eigenschappen verlichtingssysteem			
regeling	$P_{n;\text{spec}}$ [W/m ²]	A_{zone} [m ²]	F_D
vertrekschakeling	10,8	1.003,35	0,90

verlichting Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal**Verlichtingssysteem**

verlichtingsvermogen forfaitair *nee*
 oppervlakte daglichtsector (A_{dayl}) forfaitair *ja*

Kenmerken verlichtingssysteem

aanwezigheidsdetectie > 70% van rekenzone *nee*
 armatuurafzuiging > 70% van verlichtingsvermogen *nee*

Eigenschappen verlichtingssysteem			
regeling	$P_{n,\text{spec}}$ [W/m ²]	A_{zone} [m ²]	F_D
vertrekschakeling	6,5	1.237,59	0,90

verlichting Horeca**Verlichtingssysteem**

verlichtingsvermogen forfaitair *nee*
 oppervlakte daglichtsector (A_{dayl}) forfaitair *ja*

Kenmerken verlichtingssysteem

aanwezigheidsdetectie > 70% van rekenzone *nee*
 armatuurafzuiging > 70% van verlichtingsvermogen *nee*

Eigenschappen verlichtingssysteem			
regeling	$P_{n,\text{spec}}$ [W/m ²]	A_{zone} [m ²]	F_D
vertrekschakeling	4,8	469,11	0,90

verlichting Personeelsruimten**Verlichtingssysteem**

verlichtingsvermogen forfaitair *nee*
 oppervlakte daglichtsector (A_{dayl}) forfaitair *ja*

Kenmerken verlichtingssysteem

aanwezigheidsdetectie > 70% van rekenzone *ja*
 armatuurafzuiging > 70% van verlichtingsvermogen *nee*

Eigenschappen verlichtingssysteem			
regeling	$P_{n,\text{spec}}$ [W/m ²]	A_{zone} [m ²]	F_D
vertrekschakeling	10,0	185,27	0,90

Resultaten

Jaarlijkse hoeveelheid primaire energie voor de energiefunctie		
verwarming	$E_{H,P}$	2.973.566 MJ
warmtapwater	$E_{W,P}$	348.540 MJ
koeling	$E_{C,P}$	807 MJ
zomercomfort	$E_{SC,P}$	133.316 MJ
bevochtiging	$E_{hum,P}$	0 MJ
ventilatoren	$E_{V,P}$	1.190.624 MJ
verlichting	$E_{L,P}$	1.087.520 MJ
geëxporteerde warmte/koude	$E_{P,exp,T}$	0 MJ
geëxporteerde elektriciteit	$E_{P,exp,el}$	0 MJ
op eigen perceel opgew. elektr. - installaties	$E_{P,pr;EPus,el}$	0 MJ
op eigen perceel opgew. elektr. - huishoudelijk	$E_{P,pr;nEPus,el}$	0 MJ

Oppervlakten		
totale gebruiksoppervlakte	$A_{g,tot}$	4.865,29 m ²
totale verliesoppervlakte	A_{ls}	10.058,52 m ²

Energiegebruik		
elektriciteitsgebruik	$E_{EPdel,el}$	271.023 kWh
externe warmte- en/of koudelevering	$E_{EPdel,dh}$	0,0 GJ
energiegebruik overig energiedragers	$E_{EPdel,aeq}$	92.265 m ³ aeq
specifieke elektriciteitsgebruik	$e_{EPdel,el}$	55,7 kWh/m ²
specifieke externe warmte- en/of koudelevering	$e_{EPdel,dh}$	0,0 GJ/m ²
specifieke energiegebruik overig energiedr.	$a_{EPdel,aeq}$	19,0 m ³ aeq/m ²

Elektriciteitsproductie		
op eigen perceel opgewekte elektriciteit	$E_{P,pr;us,el}$	0 kWh

Energieprestatie		
CO ₂ -emissie	m_{co2}	317.280 kg
specifieke energieprestatie	EP	1.182 MJ/m ²
karakteristiek energiegebruik	E_{Ptot}	5.734.373 MJ
toelaatbaar karakteristiek energiegebruik	$E_{P,adm;tot,nb}$	2.451.253 MJ
$E_{Ptot} / E_{P,adm;tot,nb}$		2,34 -

Het gebouw voldoet niet aan de eisen inzake energieprestatie uit het Bouwbesluit 2012.

Uniec2.0.5 is gebaseerd op NEN 7120;2011 "Energieprestatie van gebouwen – bepalingmethode" inclusief correctieblad C2 en NEN

8088-1 "Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen - Bepalingmethode voor de toevoerluchttemperatuur gecorrigeerde ventilatie- en infiltratieluchtvolumestromen voor energieprestatieberekeningen - Deel 1: Rekenmethode" inclusief correctieblad C1.

Bijlage F: Vermogen en energiegebruik verlichting

In Tabel F.1 is per rekenzone het type verlichting, het aantal lampen en het vermogen van de verlichting alsmede de voorschakelapparatuur opgenomen. Hieruit volgt een totaal vermogen (W). Door dit te delen door het gebruiksoppervlak van de betreffende rekenzone, wordt het geïnstalleerde vermogen per m² verkregen.

Tabel F.1: Verlichtingsvermogen

Rekenzone		Type verlichting	Aantal	Vermogen verlichting (W)	Vermogen voorschakelapparatuur (W)	Totaal vermogen (W)
Recreatiegedeelte	Recreatiebad	Aqualight A2	15	50	0	750
	Familiebad	Aqualight A2	8	50	0	400
	Lichtbakken	TL (T8) 2 x 58 W	114	116	24	15960
	Spots whirlpool en peuterbad	Spaarlamp	12	13	0	156
	Sfeerverlichting	Spaarlamp	20	13	0	260
Geïnstalleerd vermogen (W) per m ²						10,8
Instructiebad	Lichtbakken	TL (T8) 2 x 58 W	48	116	24	6720
	Sfeerverlichting	Spaarlamp	3	13	0	39
Geïnstalleerd vermogen (W) per m ²						19,5
Doelgroepengedeelte	Lichtbakken	TL (T5-HF) 3 x 54 W	32	162	21	5856
	Lichtbakken	TL (T5-HF) 2 x 54 W	40	108	14	4880
	Spots tribune	Spaarlamp	10	13	0	130
Geïnstalleerd vermogen (W) per m ²						10,8
Kleed-, douche- en toiletruimten, ontvangsthal	Lichtbakken kleedruimten	TL (T8) 2 x 58 W	26	116	24	3640
	Lichtbakken verkeersruimten	TL (T8) 2 x 58 W	20	116	24	2800
	Douche- en toiletruimten	Spaarlamp	32	13	0	416
	Lichtbakken ontvangsthal	TL (T8) 4 x 18 W	10	72	18	900
	Spots	Spaarlamp	20	13	0	260
Geïnstalleerd vermogen (W) per m ²						6,5
Horeca	Lichtbakken	TL (T8) 4 x 18 W	18	72	18	1620
	Spots	Spaarlamp	34	13	0	442
	Sfeerverlichting	Spaarlamp	15	13	0	195
Geïnstalleerd vermogen (W) per m ²						4,8
Personeelsruimten	Lichtbakken	TL (T8) 4 x 18 W	4	72	18	360
	Lichtbakken	TL (T8) 2 x 58 W	10	116	24	1400
	Spots	Spaarlamp	8	13	0	104
Geïnstalleerd vermogen (W) per m ²						10,0

Tabel F.2: Bepaling energiegebruik verlichting

Rekenzone	Type regeling	F _D	P _{n,spec} (W/m ²)	Parasitair vermogen (kWh/m ²)	Gebruiksoppervlak (m ²)	Branduren per jaar	Jaarlijks energiegebruik (kWh)
Recreatiegedeelte	Vertrekschakeling	0,9	10,8	3,0	1623,49	5057	84672
Instructiebad	Vertrekschakeling	0,9	19,5	3,0	346,48	4238	26810
Doelgroepengedeelte	Vertrekschakeling	0,9	10,8	3,0	1003,35	4537	47257
Kleed-, douche en toiletruimten, ontvangsthal	Vertrekschakeling	0,9	6,5	3,0	1237,59	5187	41266
Horeca	Vertrekschakeling	0,9	4,8	3,0	469,11	3796	9100
Personeelruimten	Vertrekschakeling	0,9	10,0	3,0	185,27	5200	9226
Totaal							218331

Tabel F.3: Branduren per rekenzone

Rekenzone	Recreatiegedeelte		Instructiebad		Doelgroepengedeelte		Kleed-, douche- en toilet- ruimten, ontvangsthal		Horeca		Personeelsruimten	
	Tijden:	Branduren:	Tijden:	Branduren:	Tijden:	Branduren:	Tijden:	Branduren:	Tijden:	Branduren:	Tijden:	Branduren:
Maandag	7:00 - 22:15	15,25	7:00 - 21:30	14,50	7:00 - 21:00	14	7:00 - 22:15	15,25	9:00 -19:00	10,00	7:00 - 22:30	15,50
Dinsdag	7:00 - 22:30	15,50	9:00 - 21:30	12,50	7:00 - 21:30	14,5	7:00 - 22:30	15,50	9:00 -19:00	10,00	7:00 - 22:30	15,50
Woensdag	7:00 - 22:30	15,50	9:00 - 22:00	13,00	7:00 - 22:00	15	7:00 - 22:30	15,50	9:00 -19:00	10,00	7:00 - 22:30	15,50
Donderdag	7:00 - 22:30	15,50	9:00 - 21:30	12,50	7:00 - 21:30	14,5	7:00 - 22:30	15,50	9:00 -19:00	10,00	7:00 - 22:30	15,50
Vrijdag	7:00 - 22:30	15,50	7:00 - 21:30	14,50	7:00 - 22:30	15,5	7:00 - 22:30	15,50	9:00 - 00:00	15,00	7:00 - 22:30	15,50
Zaterdag	8:00 - 18:00	10,00	8:30 - 16:00	7,50	7:00 - 15:45	8,75	7:00 - 18:00	11,00	8:00 - 17:00	9,00	7:00 - 18:00	11,00
Zondag	9:30 - 19:30	10,00	9:30 - 16:30	7,00	8:00 - 13:00	5	8:00 - 19:30	11,50	8:00 - 17:00	9,00	8:00 - 19:30	11,50
Per week:		97,25		81,50		87,25		99,75		73		100,00
52 weken:		5057		4238		4537		5187		3796		5200

Tabel F.4: Energiebesparing bij toepassing hoogfrequente TL verlichting

		Recreatiegedeelte	Instructiebad	Kleed-, douche- en toiletruimten	Totaal
Bestaande situatie	Vermogen verlichting (W)	116	116	116	
	Vermogen voorschakelapparatuur (W)	24	24	24	
	Aantal lampen	114	48	46	
Nieuwe situatie	Vermogen verlichting (W)	54	54	54	
	Vermogen voorschakelapparatuur (W)	7	7	7	
	Aantal lampen	114	48	46	
Verschil (W)		9006	3792	3634	
Branduren		5057	4238	5187	
Energiebesparing (kWh)		45543	16070	18850	80463

Bijlage G: Watergebruik en -kosten

Tabel G.1: Watergebruik en -kosten TwenteBad, 2012

	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	Totaal
Gebruik (m³)	2161	2102	2052	2371	4605	3246	2982	3021	2141	2432	2150	1905	31168
Kosten drinkwater	1318,21	1282,22	1251,72	1446,31	2809,05	1980,06	1819,02	1842,81	1306,01	1483,52	1311,5	1162,05	19012,48
Belasting leidingwater	4,03	3,86	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	48,19
Vastrecht	590,7	552,59	590,7	571,64	590,7	571,64	590,7	590,7	571,64	590,7	571,64	590,7	6974,05
BTW	114,78	110,32	110,79	121,32	204,23	153,34	144,83	146,25	112,9	124,7	113,23	105,41	1562,1
Totale kosten (€)	2027,72	1948,99	1957,24	2143,3	3608,01	2709,07	2558,58	2583,79	1994,58	2202,95	2000,4	1862,19	27596,82

Tabel G.2: Watergebruik naar bassin in 2012

<i>Watergebruik (m³)</i>	Recreatiebaden (T = 30,2 °C)	Instructiebad (T = 31,5 °C)	Doelgroepenbad (T = 26,8 °C)	Buitenbaden (T = 23 °C)	Totaal
januari	640	179	278	0	1097
februari	533	163	202	0	898
maart	522	174	262	78	1035
april	861	176	323	9	1369
mei	507	173	217	2514	3411
juni	674	258	282	946	2161
juli	852	250	261	342	1705
augustus	798	177	168	456	1598
september	494	180	236	41	950
oktober	665	213	297	45	1220
november	546	189	376	0	1110
december	568	180	296	42	1086
Totaal	7659	2312	3197	4473	17641

Tabel G.3: Maandgemiddelde bodemtemperatuur op één meter diepte in 2012 (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, n.d.)

Maand	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bodemtemperatuur (°C)	4,01	0,34	6,06	9,15	16,09	17,76	20,46	21,04	17,88	12,15	7,28	3,49

Tabel G.4: Energiegebruik bassinwaterverwarming (GJ) naar bassin en maand in 2012

<i>Energiegebruik (GJ)</i>	Recreatiebaden	Instructiebad	Doelgroepenbad	Buitenbaden	Totaal
januari	176	52	66	0	294
februari	167	53	56	0	276
maart	132	46	57	14	249
april	190	41	60	1	292
mei	75	28	24	182	309
juni	88	37	27	52	204
juli	87	29	17	9	142
augustus	77	19	10	9	115
september	64	26	22	2	114
oktober	126	43	46	5	220
november	131	48	77	0	256
december	159	53	72	9	293
Totaal	1470	475	534	283	2763

Tabel G.5: Douchewatergebruik in 2012

<i>Watergebruik (m³)</i>	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	Totaal
Binnen	235	260	213	204	199	190	136	119	145	224	211	168	2304
Buiten	23,5	26	21,3	20,4	19,9	190	136	119	14,5	22,4	21,1	16,8	630,9
Totaal	258,5	286	234,3	224,4	218,9	380	272	238	159,5	246,4	232,1	184,8	2934,9

Tabel G.6: Energiegebruik douchewaterverwarming (GJ) per maand in 2012

<i>Energiegebruik (GJ)</i>	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	Totaal
Binnen	83,7	102,6	71,3	61,6	45,7	40,3	25,0	21,1	30,6	60,7	67,9	60,7	671,1
Buiten	8,4	10,3	7,1	6,2	4,6	40,3	25,0	21,1	3,1	6,1	6,8	6,1	144,9
Totaal	92,0	112,8	78,4	67,8	50,2	80,6	50,0	42,3	33,6	66,7	74,7	66,8	816,0

Bijlage H: Warmteverlies bassinwater

In deze bijlage worden de gebruikte formules weergegeven, alsmede de uitgangspunten die gehanteerd zijn bij de berekeningen van het warmteverlies van bassinwater.

H.1: Uitgangspunten

Bij de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Significante water- en luchtsnelheden voor de binnenbaden (recreatie, instructie- en doelgroepenbad) worden afwezig verondersteld; $v \leq 0,15 \text{ m s}^{-1}$. De maximale waarde van $0,15 \text{ m s}^{-1}$ is door verschillende onderzoekers gemeten, zo beschrijft Shah (2012, p. 307). Ook ASHRAE (the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, een internationale technische organisatie voor personen en organisaties die geïnteresseerd zijn in verwarming, ventilatie, airconditioning, en koeling, kortweg HVAC) raadt luchtsnelheden van tussen de $0,05$ en $0,15 \text{ m s}^{-1}$ aan voor deze toepassing (ASHRAE, 2007). Natuurlijke convectie is hierdoor dominant.
- De watersnelheid voor de buitenbaden wordt eveneens nul verondersteld. Voor de windsnelheid worden de uurvakgemiddelde waarden gebruikt die gemeten zijn bij KNMI meetstation Twenthe, gemiddeld voor de maanden waarin de buitenbaden in 2012 geopend waren (juni, juli en augustus), voor de uren waarin het diepe buitenbad afgedekt wordt (22:00 – 7:00): $V = 2,36 \text{ m s}^{-1}$ (KNMI, n.d.).
- De gemiddelde watertemperatuur (T_w) wordt gelijk verondersteld aan de watertemperatuur aan het oppervlak: $T_w = T_s$.
- Voor de dauwpuntstemperatuur (buiten) worden de uurvakgemiddelde waarden gebruikt die gemeten zijn bij KNMI meetstation Twenthe, gemiddeld voor de maanden waarin de buitenbaden in 2012 geopend waren (juni, juli en augustus), voor de uren waarin het diepe buitenbad afgedekt wordt: $T_{a,buiten} = 11,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (KNMI, n.d.).

Het dauwpunt is de temperatuur waarbij waterdamp begint te condenseren door afkoeling van de lucht zonder dat vocht wordt toegevoerd of afgevoerd. Zodra de dauwpuntstemperatuur wordt bereikt is de lucht verzadigd met waterdamp en bedraagt de relatieve vochtigheid 100% (KNMI, n.d.).

- Voor de luchtdruk wordt het gemiddelde van de waarden genomen die in 2012 gemeten werden bij KNMI meetstation Twenthe: $P = 101.410,7 \text{ Pa}$ (KNMI, n.d.).
- De lucht direct boven het wateroppervlak is verzadigd met water: de luchtvochtigheid is daar 100%. Dat komt neer op een partiële waterdampdruk, P_{sat} (Pa), van (The Engineering ToolBox, n.d.):

$$P_{sat} = e^{\left(77,3450 + 0,0057 \cdot T - \frac{7235}{T}\right)} / (T)^{8,2}$$

Met T de watertemperatuur (T_s) in Kelvin.

- De thermische geleidbaarheid (k) van zwembadwater wordt gelijk verondersteld aan dat van zuiver water. De temperatuur afhankelijke waarden hiervan worden gegeven door (Ramires, Nieto de Castro, Nagasaka, Nagashima, Assael, & Wakeham, 1994).
- De molaire massa (M_v) van zwembadwater wordt gelijk verondersteld aan die van zuiver water: $18,015 \text{ g mol}^{-1}$.
- De latente verdampingswarmte (h_{fg}) van zwembadwater wordt gelijk verondersteld aan die van zuiver water: 2260 kJ kg^{-1} .
- De soortelijke warmte (c_p) van lucht bedraagt $1,005 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ bij de hier relevante temperaturen.
- De kinematische viscositeit (ν) van lucht bedraagt $16,00 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ voor de binnenbaden bij de hier relevante temperaturen (The Engineering ToolBox, n.d.).
- De kinematische viscositeit (ν) van lucht bedraagt $14,80 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ voor de buitenbaden (etmaalgemiddelde buitentemperatuur: $16,64 \text{ }^\circ\text{C}$) (The Engineering ToolBox, n.d.).
- Alle oppervlakken in de ruimtes (muren, daken, etc.) die de bassins omsluiten worden verondersteld een temperatuur te hebben die gelijk is aan de ruimtetemperatuur.
- Voor de U-waarde van de zwembadwanden en –bodem, wordt met een waarde van: $U = 0,57 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ gerekend. Deze waarde wordt aangeraden voor zwembaden met betonnen muren van tien cm dik met daarop een laag marmer van 2,5 cm dik (Brambley & Wells, 1983).
- De buitenbaden worden verwarmd tot een temperatuur van $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Verdere temperatuurstijgingen van bassinwater van de buitenbaden zijn het gevolg van opvallende zonnestraling en buiten- en grondtemperaturen die hoger zijn dan $23 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Voor de bodemtemperatuur in worden de jaargemiddelden uit 2012 genomen (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, n.d.), als het gaat om binnenbaden:

Tien centimeter beneden maaiveld:	$13,1 \text{ }^\circ\text{C}$
Eén meter beneden maaiveld:	$11,3 \text{ }^\circ\text{C}$
Twee meter beneden maaiveld:	$11,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Vier meter beneden maaiveld:	$10,9 \text{ }^\circ\text{C}$

Voor de bodemtemperatuur in berekeningen voor buitenbaden, worden de gemiddelde waarden van de maanden juni, juli en augustus uit 2012 genomen (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, n.d.):

Tien centimeter beneden maaiveld:	$24,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Eén meter beneden maaiveld:	$19,8 \text{ }^\circ\text{C}$
Twee meter beneden maaiveld:	$16,4 \text{ }^\circ\text{C}$
Vier meter beneden maaiveld:	$12,2 \text{ }^\circ\text{C}$

Deze waarden werden gemeten in het Duitse Potsdam, nabij Berlijn, waar in 2012 een gemiddelde temperatuur werd gemeten van $9,6 \text{ }^\circ\text{C}$ (tegenover $9,8 \text{ }^\circ\text{C}$ in Twente).

- Het recreatiebad wordt tot twee meter onder waterpeil omsloten door aangrenzende verwarmde ruimten. De temperatuur van die ruimten wordt gelijk verondersteld aan de watertemperatuur. Alleen de gedeelten van wanden daaronder worden derhalve meegenomen in de berekening voor het energieverlies van bassinwater door geleiding. De bodem ligt op de grond en wordt dus eveneens in deze berekeningen meegenomen. De familie- en instructiebaden worden tot de bodem omsloten door aangrenzende verwarmde ruimten. De temperatuur van die ruimten wordt gelijk verondersteld aan de watertemperatuur. Er is in deze bassins derhalve alleen sprake van geleiding van warmte door de zwembadbodem, die op de grond ligt.

In de lente van 2013 is het familiebad (buiten) in twee gedeelten van 20 x 25 meter opgesplitst, waarbij één gedeelte het diepe bassin heeft verloren en plaats heeft gemaakt voor een natte speelplaats. Hier wordt uitgegaan van een U-waarde van nul, omdat het beton onder de nieuwe bodem meer dan 40 cm dik is. Bij het andere gedeelte van het familiebad wordt gerekend met $U = 0,57 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ gerekend.

H.2: Gebruikte formules

De volgende formules zijn gebruikt bij de berekening van het warmteverlies van bassinwater:

Warmteoverdracht door verdamping (binnenbaden) (Shah, 2012):

Bij de berekeningen betreffende verdamping wordt uitgegaan van onbezette zwembaden. Volgens (Shah, 2003) zal er meer verdamping van bassinwater zijn in bezette zwembaden, door onder andere het ontstaan van golven en spetters en het nat worden van de vloer. Het doel van deze berekeningen is echter het bepalen van het warmteverlies van bassinwater gedurende de nacht (22:00 – 7:00), om te kunnen bepalen of het loont bassins 's nachts af te dekken.

$$E = K \rho_w (\rho_r - \rho_w)^{\frac{1}{3}} (W_w - W_r)$$

Waarin:

E: De mate van verdamping ($\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

K: Een constante:

$K = 35$, indien: $(\rho_r - \rho_w) > 0,02$

$K = 40$, indien: $(\rho_r - \rho_w) < 0,02$

Indien $(\rho_r - \rho_w) < 0$, dan wordt de absolute waarde hiervan gebruikt.

ρ_w : De dichtheid van lucht bij watertemperatuur en een relatieve vochtigheid van 100% (kg m^{-3})

ρ_r : De dichtheid van lucht bij ruimtetemperatuur en –vochtigheid (kg m^{-3})

Deze dichtheden worden als volgt berekend:

$$\rho = \frac{p_d M_d + p_v M_v}{R T}$$

Waarin:

p_d : De partiële druk van droge lucht (Pa)

$$p_d = (1 - \Phi)p_{sat}$$

Met:

Φ : De relatieve vochtigheid (-)

p_{sat} : De verzadigde dampdruk (Pa)

M_d : De molaire massa van droge lucht: $0,028964 \text{ kg mol}^{-1}$.

p_v : De partiële druk van waterdamp (Pa)

$$p_v = \Phi p_{sat}$$

M_v : De molaire massa van waterdamp: $0,018016 \text{ kg mol}^{-1}$.

R : De gasconstante: $8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

T : De water- dan wel ruimtetemperatuur (K)

W_w : De specifieke vochtigheid van lucht bij watertemperatuur en een relatieve vochtigheid van 100% (-)

W_r : De specifieke vochtigheid van lucht bij ruimtetemperatuur en -vochtigheid (-)

De specifieke vochtigheid wordt als volgt berekend (The Engineering ToolBox, n.d.):

$$W = \frac{\text{massa van waterdamp}}{\text{massa van droge lucht}} = \frac{m_w}{m_r} = 0,62198 p_v / (p_{atm} - p_v)$$

Waarin:

p_v : De partiële druk van waterdamp in de lucht (Pa)

p_{atm} : De atmosferische druk: $101.410,7 \text{ (Pa)}$

Hieruit wordt de mate van warmteverlies door verdamping berekend volgens de formule van Brambley & Wells (1983):

$$q_{evap} = E h_{fg}$$

Waarin:

q_{evap} : De mate van warmteverlies door verdamping ($\text{kJ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$)

h_{fg} : De latente verdampingswarmte van water: 2260 kJ kg^{-1}

Door q_{evap} te vermenigvuldigen met het bassinoppervlak (A_b) in m^2 en het aantal seconden van de nachten in het jaar 2012 ($60 \times 60 \times 9 \times 366$) wordt het totale nachtelijke warmteverlies van bassinwater door verdamping voor dat jaar verkregen.

Warmteoverdracht door verdamping (buitenbaden) (Sartori, 2000):

Net als bij de berekening van warmteoverdracht door verdamping bij binnenbaden, wordt hier uitgegaan van onbezette zwembaden gedurende de nacht.

$$m = (0,00407V^{0,8}L^{-0,2} - 0,01107L^{-1})(P_w - P_d)/P$$

Waarin:

m: De massaflux van het waterdamp aan het wateroppervlak door diffusie ($\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$)

V: De windsnelheid (m s^{-1})

L: De karakteristieke lengte van het bassin (m)

P_w : De partiële druk van waterdamp in de lucht bij watertemperatuur (Pa)

P_d : De partiële druk van waterdamp in de lucht bij de dauwpuntstemperatuur (Pa)

P: De atmosferische druk: 101.410,7 (Pa)

Hieruit wordt de mate van warmteverlies door verdamping berekend volgens de formule van Brambley & Wells (1983):

$$q_{\text{evap}} = m h_{fg}$$

Waarin:

q_{evap} : De mate van warmteverlies door verdamping ($\text{kJ s}^{-1} \text{m}^{-2}$)

h_{fg} : De latente verdampingswarmte van water: 2260 kJ kg^{-1}

Door q_{evap} te vermenigvuldigen met het bassinoppervlak (A_b) in m^2 en het aantal seconden van de nachten in het jaar 2012 waarin de buitenbaden in bedrijf waren (60 x 60 x 9 x 92) wordt het totale nachtelijke warmteverlies van bassinwater door verdamping voor dat jaar verkregen.

Warmteoverdracht door stroming (Brambley & Wells, 1983):

$$q_{\text{conv}} = Nu k(T_s - T_a)/L$$

Waarin:

q_{conv} : De mate van warmteverlies door convectie ($\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$)

Nu: Het getal van Nusselt (-).

$$Nu = 0,27(GrPr)^{\frac{1}{4}}$$

Waarin:

Gr: Het Getal van Grashof: $Gr = g \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_{\text{average}}} \right) L^3 / \nu^2$

Waarin:

g : De zwaartekrachtversnelling: $9,81 \text{ m s}^{-2}$

$\Delta\rho$: Het verschil in dichtheid tussen de lucht bij ruimtetemperatuur en vochtigheid en de lucht bij watertemperatuur en een relatieve vochtigheid van 100% (kg m^{-3})

ρ_{average} : De gemiddelde dichtheid van de lucht bij ruimtetemperatuur en vochtigheid en de lucht bij watertemperatuur en een relatieve vochtigheid van 100% (kg m^{-3})

L : De karakteristieke lengte van het bassin (m). Deze wordt berekend als het gemiddelde van de lengte van de zijden bij een rechthoekig bassin.

ν : De kinematische viscositeit van lucht ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)

Pr : Het Getal van Prandtl: $Pr = \nu \rho_{\text{average}} c_p / k$

Waarin:

c_p : De soortelijke warmte van lucht ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

k : De thermische geleidbaarheid van zwembadwater. Deze bedraagt ongeveer $0,614 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ bij een temperatuur van $30,2^\circ\text{C}$ en $0,602 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ bij een temperatuur van $16,66^\circ\text{C}$ (Ramires et al., 1994).

T_a : De ruimtetemperatuur in het geval van binnenbaden, de buitentemperatuur in het geval van buitenbaden (K)

T_s : De watertemperatuur aan het wateroppervlak (K)

Door q_{conv} te vermenigvuldigen met het bassinoppervlak (A_b) in m^2 en het aantal seconden in het jaar 2012 ($60 \times 60 \times 24 \times 366$) wordt het totale warmteverlies van bassinwater door convectie voor dat jaar voor de binnenbaden verkregen.

Door q_{conv} te vermenigvuldigen met het bassinoppervlak (A_b) in m^2 en het aantal seconden in het jaar 2012 dat de buitenbaden in bedrijf waren ($60 \times 60 \times 24 \times 92$) wordt het totale warmteverlies van bassinwater door stroming voor dat jaar voor buitenbaden verkregen.

Warmteoverdracht door straling (Brambley & Wells, 1983):

$$Q_{\text{rad}} = \sigma(T_s^4 - T_a^4)A_b$$

Waarin:

Q_{rad} : Het netto warmteverlies van het wateroppervlak door straling (J/s)

σ : De Stefan-Boltzmannconstante. Deze bedraagt $5,670373 \times 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

T_s : De watertemperatuur aan het wateroppervlak (K)

T_a : De ruimtetemperatuur in het geval van binnenbaden, de buitentemperatuur in het geval van buitenbaden (K)

A_b : Het wateroppervlak (m^2)

Door Q_{rad} te vermenigvuldigen met het aantal seconden in het jaar 2012 ($60 \times 60 \times 24 \times 366$) wordt het totale warmteverlies van bassinwater door straling voor dat jaar voor binnenbaden verkregen.

Door Q_{rad} te vermenigvuldigen met het aantal seconden in het jaar 2012 dat de buitenbaden in bedrijf waren ($60 \times 60 \times 24 \times 92$) wordt het totale warmteverlies van bassinwater door straling voor dat jaar voor buitenbaden verkregen.

Warmteoverdracht door geleiding (Brambley & Wells, 1983):

$$Q_{cond} = UA(T_s - T_g)$$

Waarin:

Q_{cond} : Het warmteverlies door geleiding (J/s)

U : De warmtegeleidingscoëfficiënt. Deze bedraagt $0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

A : Het totale oppervlak van de zwembadbodem en –wanden (m^2)

T_s : De watertemperatuur aan het wateroppervlak (K)

T_g : De temperatuur van de grond (K)

Door Q_{cond} te vermenigvuldigen met het aantal seconden in het jaar 2012 ($60 \times 60 \times 24 \times 366$) wordt het totale warmteverlies van bassinwater door geleiding voor dat jaar voor binnenbaden verkregen.

Door Q_{cond} te vermenigvuldigen met het aantal seconden in het jaar 2012 dat de buitenbaden in bedrijf waren ($60 \times 60 \times 24 \times 92$) wordt het totale warmteverlies van bassinwater door geleiding voor dat jaar voor buitenbaden verkregen.