

Enkele jaren om veel energie te besparen

Afstudeerverslag: Energiebesparende maatregelen in bedieningsgebouwen op rioolwaterzuiveringen



Figuur 1-1: Personeelsgedeelte en bezoekerscentrum rioolwaterzuivering Leeuwarden (eigen foto)

Colofon

Auteur: Dytmer van der Wal

E-mail: Dytmer@gmail.com

Studentnummer: 000019267

Plaats: It Heidenskip, Heidenskipsterdyk 41,

Datum: 15-6-2022

Opleiding: Bachelor Milieukunde, Major Milieutechnologie.

Hogeschool Van Hall Larenstein, Leeuwarden.

Begeleiders vanuit school: Marina Sanders (Marina.sanders@hvhl.nl),

Jan Hessels Miedema (janhessels.miedema@hvhl.nl).

In opdracht van Wetterskip Fryslân.

Begeleiders vanuit Wetterskip Fryslân: Hans de vries (hdevries1@wetterskipfryslan.nl),

Klaas Jan Agema (kagama@wetterskipfryslan.nl),

Klaas Brandsma (kbrandsma@wetterskipfryslan.nl),

Sybrein Gerbens (sgerbens@wetterskipfryslan.nl)

Jasper de Vries (jdevries1@wetterskipfryslan.nl).

Voorwoord

Dit rapport bevat de resultaten van een onderzoek naar energiebesparende maatregelen in de bedieningsgebouwen van rioolwaterzuiveringsinstallaties in het beheer van Wetterskip Fryslân. De resultaten zijn gebaseerd op berekeningen uit modellen, interviews met klaarmeesters en collega's en verschillende bronnen afkomstig van het internet en verslagen. Het is geschreven voor het Wetterskip Fryslân om deze te helpen met het besparen van energie in de bedieningsgebouwen. Dit verslag is geschreven ten tijde van de afstudeerperiode die liep van 1 februari 2022 tot en met 15 Juni 2022.

Dit verslag is geschreven in opdracht van het Wetterskip met als begeleiders: Hans de Vries, Klaas Jan Agema, Sybren Gerbens, Klaas Brandsma en Jasper de Vries. Vanuit school hebben de begeleiders: Marina Sanders en Jan Hessels Miedema, mij geholpen bij de waarborging van de kwaliteit van dit onderzoek.

Daarom wil ik deze begeleiders hartelijk danken voor het tot stand laten komen van dit onderzoek en het volbrengen van deze afstudeeropdracht.

Dytmer van der Wal

Samenvatting

Er is een streven van de Nederlandse Overheid om in 2050 de energievoorziening duurzaam te hebben en CO₂-neutraal te zijn. Om dit doel te bereiken wil de overheid stappen nemen, groot en klein. Hiervoor is een activiteitenbesluit opgesteld waarin besloten is dat voor iedere exploitant van een inrichting die meer dan 50.000 kWh elektriciteit en/of meer dan 25.000 m³ aardgas gebruikt een energiebesparingsplicht geldt. Zo ook voor het Wetterskip Fryslân.

Het Wetterskip heeft meerdere rioolwaterzuiveringsinstallaties in beheer, op deze zuiveringen staan bedieningsgebouwen waarin energiebesparende maatregelen te treffen zijn. De hoofdvraag van dit onderzoek is dan ook:

Welke energiebesparende maatregelen kunnen er getroffen worden, met betrekking tot de bedieningsgebouwen, door het Wetterskip Fryslân, die voldoen aan de eisen die in het Activiteitenbesluit staan en/of aan de criteria die het Wetterskip Fryslân stelt en wat is het effect van de uitvoering ervan?

Deze hoofdvraag is beantwoord doormiddel van een multicriteria-analyse. Het effect van de energiebesparende maatregelen is berekend doormiddel van warmteverliesmodellen en een stroomverbruik-model. In deze modellen zijn de gegevens geplaatst die gevonden zijn tijdens bezoeken aan de bedieningsgebouwen en data van het internet over bouwmaterialen en opgenomen vermogens van apparaten.

De criteria die gebruikt zijn in de MCA zijn: terugverdientijd, impact op bedrijfsvoering, technische levensduur en effect van de energiebesparende maatregel.

Om het effect te kunnen bepalen is een referentiesituatie gemodelleerd waarin er in Leeuwarden jaarlijks 19337 kWh aan elektriciteit en 8780 m³ aan aardgas (door warmteverliezen) wordt verbruikt. In Heerenveen wordt er jaarlijks 10075 kWh aan elektriciteit en 1660 m³ aan aardgas (door warmteverliezen) verbruikt. In de referentiesituatie voor Leeuwarden zijn twee energiebesparende maatregelen al genomen, het veranderen van de verwarmingsprogramma's van een koffiezetapparaat en de Cv-ketels. Dit werd gedaan om een goede representatie te verkrijgen van de werkelijke verbruiken.

Wanneer de energiebesparende maatregelen zoals: "het isoleren van bouwoppervlaktes (muren, vloeren, daken), het vervangen van verlichting en installeren van bewegingssensoren en het plaatsen van warmtewisselaars op de ventilatie", uitgevoerd worden, dan ontstaat er een nieuwe situatie met een verlaagd verbruik.

In die nieuwe situatie waarin alle energiebesparende maatregelen worden doorgevoerd wordt er in Leeuwarden jaarlijks 2749 m³ aan aardgas (door warmteverliezen) en 15238 kWh aan elektriciteit verbruikt. Dat is een reductie van respectievelijk 67% en 21% ten opzichte van de referentiesituatie. In Heerenveen wordt er dan jaarlijks 657 m³ aardgas (door warmteverliezen) en 8595 kWh aan elektriciteit verbruikt. Dat is een reductie van respectievelijk 60% en 14,7% ten opzichte van de referentiesituatie.

Het advies voor Leeuwarden is om alle maatregelen te nemen behalve het vervangen van de ketels door nieuwe Cv-ketels. Het advies voor Heerenveen is om alle maatregelen te nemen behalve het installeren van een warmtewisselaar op de ventilatie.

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	1
1.1	Aanleiding.....	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Doel	2
1.4	Hoofdvraag	2
1.5	Deelvragen.....	2
1.6	Afbakening.....	2
1.7	Actorenanalyse	3
2	Methode.....	5
2.1	Operationalisatie.....	5
2.2	Criteria voor energiebesparende maatregelen	5
2.3	Dataverzameling algemeen	8
3	Theoretisch kader	10
3.1	Uitleg modellen.....	10
4	Resultaten	12
4.1	Beginsituatie	12
4.2	Energiebesparende maatregelen resultaten	13
4.3	Multicriteria-analyse	15
5	Conclusie	17
5.1	Leeuwarden	17
5.2	Heerenveen	19
6	Advies.....	20
6.1	Veranderen thermostaatinstellingen Leeuwarden en veranderen instellingen koffiezetapparaat	20
6.2	Leeuwarden	21
6.3	Heerenveen	26
6.4	Bedieningsgebouwen algemeen.....	30
7	Discussie.....	31
7.1	Metten verbruiken en gebruik modellen	31
7.2	Graaddagen	31
7.3	Toekomstbestendigheid.....	32
8	Bibliografie	33
1	Bijlage 1.....	37
2	Bijlage 2.....	38
2.1	Terugverdientijd.....	38

2.2	Isolatie en warmteverlies	38
2.2.1	Warmteverlies door ventilatie	41
2.3	Berekenen gewogen graaddagen	42
2.4	Parameters voor Warmteverlies model	43
2.5	Elektriciteitsverbruik model	48
3	Bijlage 3, Plattegronden Bedieningsgebouwen.....	51
3.1	Plattegrond Rioolwaterzuivering Leeuwarden	51
3.2	Plattegrond Heerenveen	53
4	Bijlage 4.....	54
4.1	Slimme thermostaat.....	54
4.1.1	Werking slimme thermostaat	54
4.1.2	Besparing en terugverdientijd slimme thermostaat	54
4.1.3	Uitvoering slimme thermostaat	55
4.1.4	Voor- en nadelen slimme thermostaat.....	55
4.2	Licht- en bewegingssensor	55
4.2.1	Werking bewegingssensor	55
4.2.2	Besparing en terugverdientijd bewegingssensor	55
4.2.3	Uitvoering bewegingssensor.....	61
4.2.4	Voor- en nadelen bewegingssensor	61
4.3	Isoleren van spouw personeelsgedeelte Leeuwarden.....	62
4.3.1	Werking isoleren spouw	62
4.3.2	Besparing en terugverdientijd isoleren spouw	62
4.3.3	Uitvoering isoleren spouw	62
4.3.4	Voor- en nadelen isoleren spouw	62
4.4	Nieuwe ruiten	63
4.4.1	Werking nieuwe ruiten	63
4.4.2	Besparing en terugverdientijd nieuwe ruiten	63
4.4.3	Uitvoering nieuwe ruiten	63
4.4.4	Voor- en nadelen nieuwe ruiten	63
4.5	Vervanging verlichting.....	64
4.5.1	Werking vervangen verlichting	64
4.5.2	Besparing en terugverdientijd vervangen verlichting	64
4.5.3	Uitvoering vervangen verlichting	64
4.5.4	Voor- en nadelen vervangen verlichting.....	65
4.6	Sensor en Vernieuwing verlichting	66
4.6.1	Werking sensoren en vernieuwen verlichting	66

4.6.2	Besparing en terugverdientijd sensoren en vernieuwen verlichting	66
4.6.3	Uitvoering sensoren en vernieuwen verlichting	66
4.6.4	Voor- en nadelen sensoren en vernieuwen verlichting.....	66
4.7	Vervanging ketels Leeuwarden.....	67
4.7.1	Werking vervangen ketels	67
4.7.2	Besparing en terugverdientijd vervangen ketels	67
4.7.3	Uitvoering vervangen ketels	67
4.7.4	Voor- en nadelen vervangen ketels.....	67
4.8	Uitwendige zonnepanelen Leeuwarden	68
4.8.1	Werking zonnepanelen.....	68
4.8.2	Besparing en terugverdientijd zonnepanelen.....	68
4.8.3	Uitvoering zonnepanelen	68
4.8.4	Voor- en nadelen zonnepanelen.....	68
4.9	Dakisolatie Heerenveen en Leeuwarden.....	69
4.9.1	Werking dakisolatie	69
4.9.2	Besparing en terugverdientijd dakisolatie	69
4.9.3	Uitvoering dakisolatie.....	70
4.9.4	Voor- en nadelen dakisolatie	70
4.10	Vloerisolatie Heerenveen en Leeuwarden	71
4.10.1	Werking vloerisolatie.....	71
4.10.2	Besparing en terugverdientijd vloerisolatie.....	71
4.10.3	Uitvoering vloerisolatie.....	71
4.10.4	Voor- en nadelen vloerisolatie	71
4.11	Warmtewisselaars ventilatiesystemen	72
4.11.1	Werking warmtewisselaar	72
4.11.2	Besparing en terugverdientijd warmtewisselaar	72
4.11.3	Uitvoering warmtewisselaar	74
4.11.4	Voor- en nadelen warmtewisselaar	74
4.12	Veranderen instelling koffiezetapparaat bezoekerscentrum Leeuwarden.....	75
4.12.1	Werking koffiezetapparaat	75
4.12.2	Besparing en terugverdientijd koffiezetapparaat	75
4.12.3	Uitvoering koffiezetapparaat	75
4.12.4	Voor- en nadelen koffiezetapparaat	75
5	Bijlage 5 Zonneboilers en warmtepompen	76
6	Bijlage 5.....	77
6.1	Werking van een lichtsensor	77

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Fossiele brandstoffen zijn eindig en de energie die daar wereldwijd mee geproduceerd wordt, wordt duurder. Daarom is het besparen van energie belangrijk voor iedereen. Ook om reductie van het uitstoten van broeikasgassen te realiseren. In het Parijs akkoord is de doelstelling om onder 2 graden temperatuurstijging te blijven. Om dit te realiseren moet er meer duurzame CO₂ neutrale energie geproduceerd worden en er moet een transitie plaatsvinden van fossiele brandstoffen naar die duurzame energie. Tevens kan er dus voorkomen worden dat die energie überhaupt nodig is, door energiebesparende maatregelen te treffen.

Er is een streven van de Nederlandse Overheid om in 2050 de energievoorziening duurzaam te hebben en CO₂-neutraal te zijn. Om dit doel te bereiken wil de overheid stappen nemen, groot en klein. Er wordt op verschillende manieren aan dit doel gewerkt, zoals het opwekken van energie, doormiddel van windturbines en zonnepanelen of het ervoor zorgen dat er minder energie verbruikt wordt. De overheid stelt daarom ook verplichtingen aan en stimulansen voor haar inwoners om dit doel te bereiken. Zo kon er subsidie aangevraagd worden voor zonnepanelen en worden er eisen gesteld aan nieuwbouw huizen zodat deze een lage energieverbruiksklasse hebben. Ook wil de overheid dat bestaande inrichtingen, (dus bedrijven en instellingen) energie gaan besparen, dit is vastgelegd in het Activiteitenbesluit.

In het Activiteitenbesluit is door de overheid besloten dat voor iedere exploitant/bedrijfsvoerder van een inrichting die meer dan 50.000 kWh elektriciteit en/of meer dan 25.000 m³ aardgas gebruikt een energiebesparingsplicht geldt. Deze energiebesparingsplicht stelt dat dat alle energiebesparende maatregelen die binnen 5 jaar kunnen worden terugverdiend gedaan moeten worden (Ministerie van I en W, 2022).

Het Wetterskip Fryslân is een van de inrichtingen die valt binnen dit Activiteitenbesluit en wil daarom uitzoeken welke energiebesparende maatregelen er genomen kunnen en moeten worden. Het Wetterskip Fryslân heeft verschillende taken die zij uitvoeren, waaronder het onderhoud aan dijken, het zorgen voor voldoende water en het schoonhouden van het oppervlaktewater. Zij verbruiken hiervoor ook energie en moeten daarom energie gaan besparen.

1.2 Probleemstelling

Exploitanten/bedrijfsvoerders van inrichtingen die onder het Activiteitenbesluit vallen kunnen zelf vormgeven aan de energiebesparende maatregelen die ze nemen. Zolang alle energiebesparende maatregelen die binnen 5 jaar worden terugverdien genomen worden, maar er kan ook gekozen worden voor een energiebesparende maatregel die een langere terugverdientijd en hetzelfde of een beter effect heeft.

Het Wetterskip Fryslân heeft door de vele taken ook vele mogelijkheden voor het besparen van energie. Zo ook bij de Rioolwaterzuiveringsinstallaties (kortweg RWZI's), bij de RWZI's is personeel aanwezig die de installaties controleren, bedienen en onderhouden. Dit personeel is geplaatst in een bedieningsgebouw, waar er onderhoudsmateriaal aanwezig is, maar ook kantines, bedieningspanelen, monitoren en meer. Het probleem is dat het Wetterskip Fryslân niet weet waar er energie bespaard kan worden in die bedieningsgebouwen en welke energiebesparende maatregelen er uitgevoerd moeten worden. Er ontbreekt een overzicht van de energiebesparende maatregelen die genomen moeten en kunnen worden door het Wetterskip Fryslân.

Het Wetterskip Fryslân heeft zelf ook een bepaalde visie over de energiebesparende maatregelen en hoe deze eruit moeten komen te zien

1.3 Doel

Het doel is om een overzicht van energiebesparende maatregelen te maken voor de bedieningsgebouwen van Leeuwarden en Heerenveen en de assets daarvan voor het Wetterskip Fryslân, gedurende de periode van 1 feb. 22 tot 26 jun. 22. Dit mondt uit in een Excel-sheet met de berekeningen van terugverdientijden en de voor- en nadelen van energiebesparende maatregelen inclusief de criteria gesteld door Wetterskip Fryslân en die in het Activiteitenbesluit staan. Ook komt er een overzicht met daarin welke energiebesparende maatregelen genomen kunnen worden, waarom en hoe deze uitgevoerd kunnen worden.

1.4 Hoofdvraag

Welke energiebesparende maatregelen kunnen er getroffen worden, met betrekking tot de bedieningsgebouwen, door het Wetterskip Fryslân, die voldoen aan de eisen die in het Activiteitenbesluit staan en/of aan de criteria die het Wetterskip Fryslân stelt en wat is het effect van de uitvoering ervan?

1.5 Deelvragen

1. Wat zijn de huidige warmteverliezen door de oppervlaktes (vloer, muren, ramen, dak) en ventilatie van de bedieningsgebouwen van Heerenveen en Leeuwarden?
2. Wat zijn de verbruiken van de apparaten in de bedieningsgebouwen in Leeuwarden en Heerenveen?
3. Wat zijn de energiebesparende maatregelen die kunnen worden genomen in/bij de bedieningsgebouwen in Heerenveen en Leeuwarden?
4. Wat zijn de terugverdientijden van de energiebesparende maatregelen betreffende de bedieningsgebouwen op de zuiveringen Heerenveen en Leeuwarden?
5. Wat zijn de voor- en nadelen van de energiebesparende maatregelen op basis van o.a. duurzaamheid en terugverdientijd?
6. In hoeverre kunnen de energiebesparende maatregelen voor de zuiveringsgebouwen uitgevoerd worden op basis van tijd, kosten en duurzaamheid?

1.6 Afbakening

Deze opdracht zal gaan over de energiebesparende maatregelen die kunnen worden getroffen betreffende de bedieningsgebouwen op de terreinen van de rioolwaterzuiveringen. Dit betekent dat het zuiveringsproces en de gebruikte installaties daarvan niet zullen worden meegenomen in dit onderzoek. Dit is vanwege tijd, kennis en vanwege het feit dat de meeste energiebesparende maatregelen betreffende die machines niet binnen 5 jaar terug worden verdiend (vanwege de hoge investeringskosten).

Het onderzoek is gefocust op de bedieningsgebouwen op de RWZI's van Heerenveen en Leeuwarden.

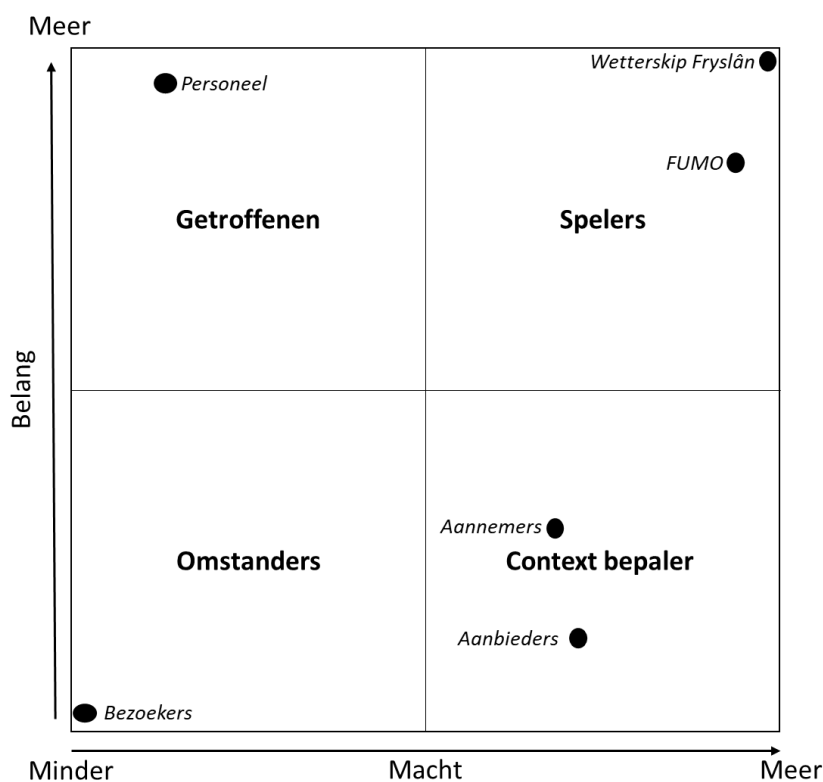
1.7 Actorenanalyse

Bij dit onderzoek zijn de volgende actoren aanwezig:

- Wetterskip Fryslân
- Klaarmeester/personeel bedieningsgebouw
- Bezoekers rioolwaterzuiveringen
- Aanbieders/producenten van energiebesparende maatregelen
- Fryske Utfieringstjinst Miljeu en Omjouwing (FUMO)
- Aannemers/uitvoerders van energiebesparende maatregelen

De actoren hebben hun eigen belangen en visie op bepaalde onderwerpen die in dit onderzoek te pas komen, ook oefenen ze invloed op dit onderzoek. Daarom is er een krachtenveldanalyse nodig om een overzicht te kunnen vormen met waar de actoren staan tegenover dit onderzoek.

In Figuur 1-1 zijn de actoren in een grafiek gezet met op de Y-as het belang van een actor en op de X-as de macht/invloed van een actor.



Figuur 1-1: Krachtenveld grafiek van de actorenanalyse

Aan de hand van Figuur 1-1 kan gezien worden hoe belangrijk en hoeveel macht een actor heeft. In het stuk tekst hieronder staat de redenering voor waarom een actor op welk plek staat.

Het Wetterskip Fryslân is de belangrijkste actor en heeft een grote invloed op het project als het gaat om dataverzameling, gebruik van dit rapport en uitvoering van energiebesparende maatregelen. De belangen van het Wetterskip Fryslân kunnen samengevat worden tot het vinden van een duurzame energiebesparende maatregel die voldoet aan de eisen gesteld in het Activiteitenbesluit. Zij hebben belang bij dit onderzoek omdat ze aan een wettelijke verplichting moeten voldoen en de benodigde kennis en informatie om aan die verplichting te voldoen niet aanwezig is. Veel macht/invloed en veel belang.

Het personeel van het bedieningsgebouw is een minder belangrijke actor en hebben invloed op de dataverzameling maar niet op het gebruik van dit rapport en uitvoering van energiebesparende maatregelen. De belangen kunnen worden samengevat tot het assisteren in de verzameling van data en een goede uitvoering en instandhouding van de energiebesparende maatregelen. Zij hebben baat bij dit onderzoek doordat hun werkplek moet worden aangepast zodat deze meer energie bespaart. Weinig macht/invloed, veel belang.

Bezoekers van rioolwaterzuivering zijn de minst belangrijke actor en hebben ook weinig invloed op het project. Zij hebben belang bij een goede uitvoering van de energiebesparende maatregelen maar worden minder beïnvloed dan het personeel. Kortom weinig macht/invloed en weinig belang.

De aanbieders van energiebesparende maatregelen zijn een redelijk belangrijke actor en hebben gemiddelde invloed op de resultaten van dit project. Ze hebben er belang bij dat de energiebesparende maatregelen correct werken. Hierdoor is de macht/invloed iets over de helft in de grafiek wanneer er tegenover de andere actoren wordt gemeten en weinig belang. Waardoor ze laag in de grafiek komen maar wel aan de kant van meer macht.

De FUMO is een belangrijke actor en hebben veel invloed op het gebruik van dit rapport en uitvoering van energiebesparende maatregelen. Ze hebben er belang bij dat de uitkomsten van dit rapport correct zijn en dat de correcte data is verzameld. Ze hebben veel macht maar iets minder belang als er tegenover

De uitvoerders van de energiebesparende maatregelen zijn een minder belangrijke actor maar hebben wel invloed op de resultaten van dit onderzoek en uitvoering van energiebesparende maatregelen. Ze hebben er belang bij dat zij gekozen worden voor het uitvoeren van een energiebesparende maatregel en dat deze goed worden uitgevoerd met het gewenste effect. Zij hebben ongeveer dezelfde macht/invloed als de aanbieders maar hebben meer belang bij een goede uitvoering dan de aanbieders. Als de uitvoering goed is, dan kunnen ze voor meer projecten worden gekozen.

2 Methode

2.1 Operationalisatie

Voor dit onderzoek is het nodig om bepaalde woorden te definiëren zodat er geen verwarring ontstaat over wat er in dit onderzoek met dat woord bedoeld wordt. Allereerst om duidelijk te maken wat met energiebesparende maatregel wordt bedoeld, zal dit hier uitgelegd worden.

Een energiebesparende maatregel kan bestaan uit verschillende varianten, om een paar te noemen: Het aanpassen van pompen en andere installaties, het renoveren van gebouwen, de thermostaat een graad lager zetten, de ramen dichthouden, installeren van dubbel glas, inspuiten van isolatie en vervangen Cv-ketel.

Al deze acties zijn vormen van (energiebesparende)maatregelen, daarom wordt in deze opdracht als definitie gehandhaafd: *Alle handelingen die uitgevoerd kunnen worden waarna deze leiden tot een reductie in het gebruik van energie. Met als randvoorwaarde dat het niet ten koste gaat van de bedrijfsvoering en de processen op de zuivering.*

In de Multicriteria-analyse en in dit onderzoek komt duurzaamheid voorbij als kanttekening en niet als criteria omdat duurzaamheid al onderdeel is van de criteria. Een lange levensduur is een voorbeeld van duurzaamheid, lage aankoopkosten zijn ook een voorbeeld van duurzaamheid. Duurzaamheid wordt nog wel gedefinieerd om het begrip duidelijk te maken.

De definitie van duurzaamheid: *alle ontwikkelingen die bijdragen aan een gezonde aarde met welvarende bewoners en goed functionerende ecosystemen* (CBS, 2022)

Ofwel de energiebesparende maatregel moet er niet voor zorgen dat de aarde er als geheel op terug gaat. Zo moeten er geen milieugevaarlijke stoffen, door in gebruik name van de energiebesparende maatregelen, in het milieu terecht komen. Ook de gezondheid van de mensen mag er niet op achteruit gaan.

2.2 Criteria voor energiebesparende maatregelen

De energiebesparende maatregelen moeten voldoen aan de volgende criteria die opgesteld zijn door het Wetterskip Fryslân en die in het Activiteitenbesluit staan:

- De energiebesparende maatregel moet binnen 5 jaar worden terugverdient of binnen de technische levensduur.
- De energiebesparende maatregel moet zo duurzaam mogelijk zijn, uitgaande van materiaal, uitvoering en impact. Met duurzaam wordt bedoeld: *“alle ontwikkelingen die bijdragen aan een gezonde aarde met welvarende bewoners en goed functionerende ecosystemen.* (CBS, 2022)
- De energiebesparende maatregel moet zo weinig mogelijk negatieve impact hebben op het proces en bedrijfsvoering tijdens installatie/uitvoering. *Denk aan het niet meer kunnen gebruiken van een kamer voor een dag i.v.m. een verbouwing.*
- De energiebesparende maatregelen die niet binnen 5 jaar terugverdiend worden, worden ook geanalyseerd om te kijken of deze meer voordelen hebben dan eenzelfde soort energiebesparende maatregel die wel binnen 5 jaar terug wordt verdiend
- De energiebesparende maatregelen moeten betrekking hebben tot de bedieningsgebouwen.
- In het activiteitenbesluit (Ministerie van I en W, 2022), staat de volgende regel: *“De te nemen maatregelen zijn dan ook alleen energiebesparende maatregelen. Duurzame*

energiemaatregelen (voor het opwekken van energie) zijn geen verplichting op basis van artikel 2.15 en ook geen alternatief voor energiebesparende maatregelen.” Dit betekent bijvoorbeeld dat het gebruik van zonnepanelen voor het opwekken van elektriciteit voor eigen gebruik geen alternatief is voor een energiebesparende maatregel.

- De technische levensduur moet langer zijn dan de terugverdientijd. Anders heeft het geen nut om de energiebesparende maatregel uit te voeren.

De Multi criteria-analyse zal deze criteria meenemen. In de Multi criteria-analyse zal er aan verschillende criteria een waarde worden gegeven. Hierdoor kunnen de energiebesparende maatregelen met elkaar vergeleken worden. In deze tabel worden de volgende criteria genoemd:

- Terugverdientijd
- Impact op bedrijfsvoering
- Technische levensduur
- Effect van energiebesparende maatregel

Deze criteria worden gekwantificeerd ofwel meetbaar gemaakt, er worden punten toegekend op een schaalverdeling, aan de criteria wordt een weging gelegd die bepaald hoe belangrijk een criteria wordt gevonden en daar wordt ook uitleg over gegeven. Zie hieronder de criteria voor de Multi criteria-analyse in Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Criteria en uitleg voor de Multi criteria-analyse

Criteria	Eenheid/kwantificering	Schaalverdeling	Weging	Uitleg
Terugverdientijd	Jaren.	0 = 20+ jaar. 1 = 15 tot 20 jaar. 2 = 10 tot 15 jaar. 3 = 5 tot 10 jaar. 4 = 2,5 tot 5 jaar. 5 = 0 tot 2,5 jaar.	1	De terugverdientijd is belangrijk omdat het een indicatie geeft van wanneer een energiebesparende maatregel zichzelf heeft terugverdiend. Hoe korter deze tijd hoe beter het is. Het Wetterskip eist als voorwaarde dat een energiebesparende maatregel zich tenminste binnen de technische levensduur terugverdiend. De optie bestaat om te kiezen voor een energiebesparende maatregel te kiezen die duurzamer is en een groter effect heeft dan een andere maatregel die binnen 5 jaar wordt terugverdiend.
Impact op bedrijfsvoering	Wordt het werk van de klaarmeesters gehinderd door de installatie van een	0 = Volledige hinder door installatie maatregel, tijdelijke	0,5	Het werk van de klaarmeesters mag als voorwaarde niet gehinderd worden tijdens het <u>gebruik</u> van de

	energiebesparende maatregel? De hinder die de medewerkers van de zuivering ondervinden door installatie van de energiebesparende maatregel kan worden uitgedrukt in dagen/weken.	verhuizing van werkplek nodig voor installatie. (Dus zoeken tijdelijke werkplek, zoals een zeecontainer met daarin de apparatuur benodigd voor het managen van de zuivering) 1 = Meer dan twee weken hinder (geen volledige hinder, dus werk van klaarmeesters kan doorgaan hoewel niet optimaal) door werkzaamheden veroorzaakt door installatie energiebesparende maatregel 2 = 1 tot 2 weken hinder door installatie energiebesparende maatregel. 3 = 1 tot 7 dagen hinder door installatie energiebesparende maatregel. 4 = 1 dag hinder door energiebesparende maatregel. 5 = Geen hinder door installatie maatregel.		energiebesparende maatregel. Maar, tijdens installatie van een energiebesparende maatregel kan het voorkomen dat de klaarmeester gehinderd wordt. Hierdoor is het belangrijk dat de duur van het hinderen zo kort mogelijk is. Hinder betekend in dit geval dat de klaarmeesters hun werk niet optimaal of naar behoren kunnen uitvoeren door toedoen van de installatie van de energiebesparende maatregel. Tijdens overleg met de begeleiders afkomstig van het Wetterskip is besloten om de impact op de bedrijfsvoering een weging van 0,5 te geven. Deze vonden de impact op de bedrijfsvoering minder belangrijk dan het uiteindelijke resultaat omdat quote: "De installatie toch moet worden uitgevoerd, ongeacht eventuele hinder".
Technische levensduur	Jaren.	0 = Minder dan 1 jaar. 1 = 1 tot 5 jaar. 2 = 5 tot 10 jaar. 3 = 10 tot 15 jaar. 4 = 15 tot 20 jaar. 5 = 20+ jaar.	1	De technische levensduur geeft aan hoe lang een energiebesparende maatregel meegaat, hoe langer hoe beter.

Effect van energiebesparende maatregel	Besparing van elektrische energie. Besparing van warmte. Dit wordt gemeten door het gemodelleerde <u>referentie</u> verbruik in gas of elektriciteit te vergelijken met het gemodelleerde verbruik na het in gebruik name van een energiebesparende maatregel. Dit betekent dat de huidige situatie het referentiepunt is en dat er bij het bereken van de besparing ervan uit wordt gegaan dat er geen andere energiebesparende maatregelen worden gedaan. Het effect van energiebesparende maatregelen worden onafhankelijk van elkaar berekend.	0 = 0 tot 5 procent van het totale verbruik. 1 = 5 tot 10 procent van het totale verbruik. 2 = 10 tot 15 procent van het totale verbruik. 3 = 15 tot 25 procent van het totale verbruik. 4 = 25 tot 50 procent van totale verbruik. 5 = 50 tot 100 procent van het totale verbruik (elektriciteit of gas)	1	Het effect van de energiebesparende maatregel is te meten met de besparing van elektriciteit of gas. Doordat er maatregelen te bedenken zijn die een langere terugverdientijd hebben maar een groter energiebesparend effect hebben kan het beter zijn over een langere termijn om voor de energiebesparende maatregel te kiezen met de langere terugverdientijd.
---	---	--	---	--

2.3 Dataverzameling algemeen

Het eerste deel van de dataverzameling is literatuuronderzoek, hierbij is er in de archieven gekeken van het Wetterskip, Provincie en gemeentes voor het vinden van de bouwplannen. Hierbij is er contact opgenomen met de desbetreffende archivisten van de overheidsinstanties. De bouwplannen zijn bestudeerd en er is gekeken naar de verschillende materialen die gebruikt zijn, oppervlaktes en diktes van muren, ramen, daken en vloeren en geïnstalleerde ventilatie.

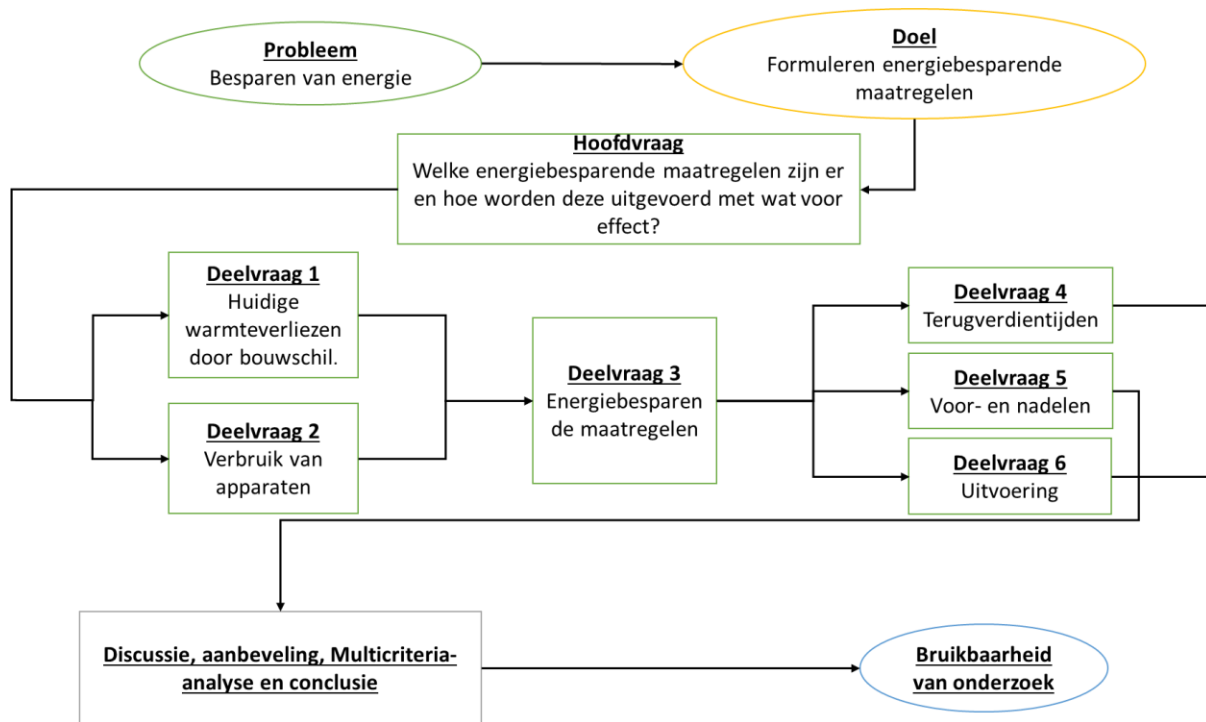
De bezoeken aan de bedieningsgebouwen hebben veel informatie opgeleverd als het gaat om de apparaten die er aanwezig zijn en het vinden van de bouwplannen. Verder wordt er ook met de klaarmeesters overlegd over welke apparaten gebruikt worden, voor hoelang en wat de normale bezigheden zijn in het gebouw om een duidelijk beeld te scheppen over welke ruimtes wanneer gebruikt worden.

Andere informatie die is verzameld voor het model gaat over isolatie. Deze informatie komt uit verschillende bronnen die door meerdere bouwbedrijven gebruikt worden en erkend zijn. Deze informatie gaat over de eigenschappen van bouwmaterialen, isolatiemateriaal, energieprijzen, ketels en andere informatie dat nut heeft voor het model en de uitwerking ervan.

Ook wordt er voor de energiebesparende maatregelen gezocht naar informatie over vervangende apparaten en manieren zoals het veranderen van bepaald gedrag voor het besparen van energie.

Zoekwoorden die zullen worden gebruikt bevatten maar zijn niet gelimiteerd tot: Ketels, Cv-ketels, isolatie, zonnecollectoren, warmtewisselaars, NEN-Normen, bouwbesluiten, ventilatie, elektriciteitsverbruik, warmte, warmtestroom, warmteweerstand, duurzame oplossingen, duurzaamheid, duurzame gebouwen, standaardwaarden, inspuits isolatie, pompen, warmte-koude opslag, warmtepomp, investeringskosten, stroomverbruik.

Voor het volgende stuk zijn de dataverzameling en analyses opgesteld per deelvraag, verder is een vereenvoudigde flowchart te zien waarin het onderzoek te volgen in Figuur 2-1. Een uitgebreide versie is te vinden in bijlage 1.



Figuur 2-1: Vereenvoudigde flowchart

Concluderend bestaat de verzameling van data uit: literatuuronderzoek naar de kwantitatieve en kwalitatieve informatie over de energiebesparende maatregelen, onderzoek naar missende informatie over de gebouwen en interviews met klaarmeesters, collega's, bedrijven en experts over bepaalde energiebesparende maatregelen en hun ervaringen.

De data zijn voor de eerste twee deelvragen geanalyseerd doormiddel van een model in Excel, voor deelvraag 3 is de data van deelvraag 1 en 2 geanalyseerd om daar vervolgens energiebesparende maatregelen uit te bedenken. Voor deelvraag 4, 5 en 6 is de data van deelvraag 3 geanalyseerd aan de hand van een literatuurstudie, interviews en offertes, hieruit is vergelijking tussen energiebesparende maatregelen gemaakt en is er een beoordeling gemaakt voor de energiebesparende maatregelen. Een gedetailleerd overzicht kan gevonden worden in bijlage 4

3 Theoretisch kader

3.1 Uitleg modellen

Er zijn twee modellen gebruikt in dit onderzoek, het eerste model is gebruikt voor het berekenen van de elektrische verbruiken van apparaten en de kosten die daarmee gepaard gaan. Het tweede model dat is gebruikt gaat over de warmteverliezen door de bouwschil en het gasverbruik door de warmteverliezen. In bijlage 2 zijn de gebruikte formules en parameters te vinden die in beide modellen gebruikt zijn. In het warmteverlies model is een splitsing gemaakt in de onderdelen van de bedieningsgebouwen om de berekeningen eenvoudiger te maken. In het bedieningsgebouw van Heerenveen is de splitsing gemaakt van eerste verdieping en begane grond, in het bedieningsgebouw van Leeuwarden is de splitsing gemaakt van het bezoekerscentrum en personeelsgedeelte. De plattegronden hiervan staan in bijlage 3.

Het eerste model is eenvoudig en berekent automatisch het aantal kilowattuur per jaar voor elk apparaat door het piekvermogen in kilowatt te vermenigvuldigen met het aantal uren dat het apparaat in bedrijf is, zie Figuur 3-1. Ook wordt het Stand-by vermogen vermenigvuldigd met het aantal uren dat het apparaat stand-by staat. Daarna wordt wanneer van toepassing het verbruik keer het aantal van dat apparaat gedaan en hierdoor wordt het totale verbruik berekend. Het verbruik in kilowattuur wordt keer de elektriciteitsprijs gedaan die in dit geval €0,15,- per kWh is. Voor het vermogen van de apparaten is het piekvermogen gebruikt omdat er in de span van dit onderzoek niet achterhaald kan worden wat de daadwerkelijke gebruiken zijn.

Gegevens voor bedieningsgebouw (Leeuwarden)									
Apparaat	Ruimte	Aantal	Vermogen (kW)	Vermogen standby (kW)	Uren in bedrijf	Uren standby	Verbruik (kWh)	Kosten (euro)	Aantal
Denon Professional (audiointallatie)	ontvangstruimte	1	0,015		624		9,36	€ 1,40	0,050866
Denon (audio installatie)	ontvangstruimte	1	0,024		624		14,976	€ 2,25	0,081385
Audio-installatie onderdeel	ontvangstruimte	2	0,0072		624		8,9856	€ 1,35	0,048831
Dell 1703FP (monitor)	ontvangstruimte	1	0,055	0,003	624		34,32	€ 5,15	0,186507
Philips tornado T2 (lamp)	ontvangstruimte	41	0,0022		780		70,356	€ 10,55	0,38234
Daikin ventilatie	ontvangstruimte	1	4,4		375		1650	€ 247,50	8,966706
Tiptel telefoon	ontvangstruimte	1	0,005	0,000625	10	8750	5,51875	€ 0,83	0,029991
Omniline koffiezetapparaat	ontvangstruimte	1	2,3		156	730	1818,8	€ 272,82	9,884027
Miele M616G (magnetron)	ontvangstruimte	1	2,2		26		57,2	€ 8,58	0,310846
Miele kookplaat Ceran	ontvangstruimte	1	3,9		39		152,1	€ 22,82	0,826567
Koelkast	ontvangstruimte	1	0,032077626		8760		281	€ 42,15	1,527057
Afzuigkap Miele	ontvangstruimte	1	0,15		39		5,85	€ 0,88	0,031791
Noodverlichting	ontvangstruimte	2	0,003		8760		52,56	€ 7,88	0,28563
Netlinx M3100 (wifi-router)	ontvangstruimte	1	0,0108		8760		94,608	€ 14,19	0,514135
Noodverlichting	WC bezoekers + Hal	5	0,003		8760		131,4	€ 19,71	0,714076
Osram Deluxe D lamp	WC bezoekers + Hal	34	0,0045		312		47,736	€ 7,16	0,259415
Noodverlichting	Teamleider + Hal	5	0,003		8760		131,4	€ 19,71	0,714076

Figuur 3-1: Model elektrisch verbruik

In Figuur 3-1 is een deel van het model te zien dat gebruikt is om het elektrische verbruik in te schatten.

Het andere model dat is gebruikt, kan de warmteverliezen door de bouwschil berekenen. In Tabel 2-1 in bijlage 2.4 worden de verschillende parameters neergezet die ook in het model zijn gebruikt. De gebruikte formules en uitleg daarvan staan in bijlage 2.2. Dit model wordt daar in uitgelegd omdat er vele formules en gegevens in staan.

De gemodelleerde warmteverliezen zijn omgezet naar aardgasverbruik door met de warmteverliezen de stookgrens te berekenen. Met deze stookgrens kan het aantal gewogen graaddagen bepaald worden. Deze graaddagen worden vermenigvuldigd met het warmteverlies zodat het aantal benodigde Watt per dag wordt berekend. Hieruit wordt het aantal Joule (Watt/seconde) berekend en met de stookwaarde van aardgas wordt het benodigde aantal kubieke meters aan aardgas berekend.

Het model werkt door de bouwgegevens zoals oppervlaktes van muren, ramen, daken en vloeren in te voeren. Ook zijn de materialen nodig waaruit de bouwoppervlaktes bestaan, dit verschilt dus per locatie. Hieruit kan de referentie situatie worden berekend waarna deze ook in het model worden gezet zodat verschillen bij het modelleren van andere situatie gelijk gezien kunnen worden. Het model haalt gegevens van materialen uit een lijst afkomstig van verschillende bronnen , deze bronnen bestaan uit:

- (Dieter Vandenberhge, 2022)
- (De isolatieshop, 2021)
- (Nederlandse Vereniging van Journalisten, 2022)
- (Redactie Livios, 2021)
- (Sleiderink Bouwmaterialen, 2022)
- (Van Boxtel, 1995)

Hieruit kunnen de warmteverliezen worden berekend en de eventuele besparing ook. Voor het gasverbruik is er gerekend met een kostprijs van €1,00, per m³ aardgas.

4 Resultaten

4.1 Beginsituatie

In het elektriciteitsmodel is geschat dat de huidige (referentie) situatie van het elektriciteitsverbruik in Leeuwarden 19337 kWh per jaar bedraagt, met een kostenplaatje van €2900,- per jaar.

Voor Heerenveen is geschat dat het elektriciteitsverbruik 10075 kWh per jaar is met een kostenplaatje van €1511,- per jaar. Beide complete modellen staan in bijlage 2.5. Hiermee is deelvraag 2 ook beantwoord.

In onderstaande tabellen zijn de warmteverliezen per graad temperatuurverschil in de huidige (referentie) situatie te zien. Ofwel het antwoord op deelvraag 1.

Tabel 4-1: Warmteverliezen per graad temperatuurverschil bedieningsgebouw Leeuwarden

Onderdeel	Warmteverliezen Bezoekerscentrum	Warmteverliezen Personeelsgedeelte	Eenheid
Muur	58	295	W.K ⁻¹
Dak	107	199	W.K ⁻¹
Ramen	210	330	W.K ⁻¹
Ventilatie	210	329	W.K ⁻¹
Vloer	72	284	W.K ⁻¹
Totaal	585	1153	W.K ⁻¹

Met deze warmteverliezen in Tabel 4-1 kan het gasverbruik berekend worden en komt neer op 2602 m³ aardgas per jaar wanneer er 15 uren per werkdag totaal verwarmd wordt voor het bezoekerscentrum van Leeuwarden. Voor het personeelsgedeelte is het gasverbruik rond de 6178 m³ aardgas per jaar wanneer er 15 uren per werkdag totaal verwarmd wordt. Het totaal aan gasverbruik voor Leeuwarden door warmteverliezen is geschat op 8780 m³ per jaar.

Tabel 4-2: Warmteverliezen per graad temperatuurverschil bedieningsgebouw Heerenveen

Onderdeel	Warmteverliezen Eerste verdieping	Warmteverliezen Begane grond	Eenheid
Muur	53	181	W.K ⁻¹
Dak	104	0	W.K ⁻¹
Ramen	30	35	W.K ⁻¹
Ventilatie	129	71	W.K ⁻¹
Vloer	381	277	W.K ⁻¹
Totaal	316	287	W.K ⁻¹

Met deze warmteverliezen in Tabel 4-2 kan het gasverbruik berekend worden en komt neer op 857 m³ aardgas per jaar wanneer er 8 uren per werkdag constant verwarmd wordt voor de eerste verdieping en 803 m³ aardgas per jaar wanneer er 8 uren per werkdag constant verwarmd wordt. In totaal komt dit neer op een verbruik van 1660 m³ aardgas per jaar door warmteverliezen.

De verbruiken van het aardgas zijn berekend doormiddel van het aantal gewogen graaddagen, dit wordt verder uitgelegd in bijlage 2.3. Ook staat in bijlage 2.4 de gegevens van de materialen en de verschillende parameters zoals de opbouw van de bouwschil van de gebouwen.

In Tabel 4-3 staat ter verduidelijking de huidige (referentie) situatie aangegeven. Het aantal uren dat verwarmd wordt in Heerenveen is lager geschat omdat er minder mensen aanwezig zijn op die locatie en dat er in de toekomst ook minder verwarmd hoeft te worden. De reden daarvoor is dat het personeel en de bedieningsapparatuur naar een nieuwe locatie worden geplaatst wanneer het nieuwe gebouw van de slibontwateringsinstallatie wordt geopend.

Tabel 4-3: Waarden referentiesituatie

Plaats	Jaarlijks geschat gasverbruik (m ³ /jaar)	Jaarlijks geschat elektriciteitsverbruik (kWh/jaar)	Uren verwarmd per jaar
Leeuwarden	8780	19337	3900
Heerenveen	1660	10075	2080

4.2 Energiebesparende maatregelen resultaten

Aan de hand van de verzamelde data zijn er meerdere energiebesparende maatregelen gevonden die geïmplementeerd kunnen worden. In Tabel 4-4 en Tabel 4-5 is een overzicht gemaakt van de gevonden maatregelen voor Leeuwarden en Heerenveen en de verschillende criteria die er aan gesteld waren. In bijlage 4 is een uitgebreide uitleg te vinden over alle energiebesparende maatregelen die in Tabel 4-4 en Tabel 4-5 staan. Met deze gevonden data is de multicriteria-analyse ook ingevuld en staat in Tabel 4-6 en Tabel 4-7. Doormiddel van de multicriteria-analyse konden de verschillende energiebesparende maatregelen met elkaar vergeleken worden. In onderstaande Tabel 4-4 en Tabel 4-5 staat het antwoord op deelvraag 4, in bijlage 4 staan ook de voor- en nadelen per energiebesparende maatregel en daarmee ook het antwoord op deelvraag 5.

De terugverdientijd is berekend door de geschatte kosten te delen door de besparing per jaar in euro's, het overzicht hiervan staan in Tabel 4-4 en Tabel 4-5. Ook de absolute hoeveelheid die bespaard wordt staat in deze tabel, samen met het effect van de energiebesparende maatregel. Het effect van de energiebesparende maatregel gaat dus over het percentage wat bespaard wordt als er vergeleken wordt met de referentiesituatie. Een voorbeeld hiervan is het isoleren van de spouw in het personeelsgedeelte van Leeuwarden. Wanneer deze maatregel wordt genomen dan wordt er 613 m³ aardgas per jaar bespaard, 613 m³ is 13,1% van 4683 m³. Hierdoor zijn de percentages van besparing van de energiebesparende maatregelen onafhankelijk van elkaar en kunnen de percentages opgeteld worden zodat het totaal energie bespaard berekend kan worden.

De impact op de bedrijfsvoering is bij alle energiebesparende maatregelen ingeschat en hieruit is gekomen dat bij de meeste energiebesparende maatregelen de hinder minder dan een week duurt. Alleen bij het installeren van nieuwe ruiten bestaat de kans dat hinder lang duurt omdat er naast de ramen ook nieuwe kozijnen moeten worden geplaatst.

De technische levensduur van de energiebesparende maatregelen zijn verkregen door de technische documenten te bestuderen afkomstig van de fabrikanten en installateurs en ervaringen van andere gebruikers van energiebesparende maatregelen. Alle energiebesparende maatregelen gaan langer mee dan 10 jaar.

Ook zijn warmtepompen en andere manieren om van het gas af te kunnen onderzocht, de resultaten hiervan staan in bijlage 5. Samengevat zijn er meerdere manieren om van het gas af te gaan, deze manieren bestaan uit onder andere: een water-water warmtepomp, lucht-water warmtepomp, lucht-lucht warmtepomp, airconditioning en een biogasketel. Bij de warmtepompen moet er een lage-temperatuur verwarming worden geïnstalleerd. De biogasketel maakt gebruik van het biogas die geproduceerd wordt op de zuivering in Leeuwarden, waardoor deze optie alleen geschikt is voor Leeuwarden in dit onderzoek.

Wanneer alle energiebesparende maatregelen worden genomen dan komt het totaal aan energieverbruik voor Leeuwarden uit op: 2749 m³ aardgas per jaar en 15238 kWh per jaar. Dit is een besparing van respectievelijk 68% en 21% ten opzichte van de referentiesituatie.

Voor Heerenveen wordt het verbruik in de nieuwe situatie: 657 m³ aardgas per jaar en 8595 kWh per jaar. Dit is een besparing van respectievelijk 60% en 14,7% ten opzichte van de referentiesituatie.

Tabel 4-4: Overzicht resultaten Leeuwarden

Energiebesparende Maatregel	Terugverdientijd	Impact op bedrijfsvoering	Technische levensduur	Effect van energiebesparen de maatregel	Hoeveelheid besparing per jaar
Veranderen instellingen koffiezetapparaat	0 jaar	Geen	Niet van toepassing	5,4%	1113 kWh
Slimme thermostaat	0 jaar	Geen	10+ jaar	55%	10.000 m ³ aardgas
Bewegingssensor Leeuwarden	0 jaar	1 dag hinder	10 jaar	6,2%	1196 kWh
Isoleren spouw personeelsgebouwen Leeuwarden	4,1 jaar	1 dag hinder	20+ jaar	13,1%	1095 m ³ aardgas
Nieuwe ruiten Leeuwarden	5,7-8,5 jaar	2 weken hinder	10-20 jaar	20%	1756 m ³ aardgas
Vervanging verlichting Leeuwarden	1,5-3,2 jaar	1 dag hinder	20+ jaar	7,6%	1478 kWh
Sensor en Vervangen verlichting Leeuwarden	2 jaar	1 dag hinder	10 jaar	10,6%	2049 kWh
Vervanging ketels Leeuwarden	4,5-18 jaar	1 week hinder	15+ jaar	5%	439 m ³ aardgas
Uitwendige zonnewering Leeuwarden	6,5 jaar	Geen hinder	15-20 jaar	10,6%	2050 kWh
Dakisolatie Leeuwarden	7,6 jaar	1 tot 7 dagen hinder	20+ jaar	3,4%	162 m ³ aardgas
Warmtewisselaar ventilatie Leeuwarden	7,3 jaar	1 tot 3 dagen	15+ jaar	19%	1668 m ³ aardgas

Tabel 4-5: Overzicht resultaten Heerenveen

Energiebesparende Maatregel	Terugverdiendtijd	Impact op bedrijfsvoering	Technische levensduur	Effect van energiebesparen de maatregel	Hoeveelheid besparing per jaar
Bewegingssensor Heerenveen	0-1 jaar	1 dag hinder	10 jaar	10,7%	1082 kWh
Vervanging verlichting Heerenveen	1,7 jaar	1 dag hinder	20+ jaar	9,3%	939 kWh
Sensor en Vervangen verlichting Heerenveen	3 jaar	1 dag hinder	10 jaar	14%	1480 kWh
Dakisolatie Heerenveen	7,5 jaar	1 tot 7 dagen hinder	20+ jaar	8%	131 m ³ aardgas
Vloerisolatie Heerenveen	9 jaar	Geen hinder	20+ jaar	27%	450 m ³ aardgas
Warmtewisselaar ventilatie Heerenveen	24 jaar	1 tot 3 dagen	15+ jaar	26%	430 m ³ aardgas

4.3 Multicriteria-analyse

In de multicriteria-analyse zijn aan de vier criteria een schaal- en puntenverdeling toegekend dat uitgelegd staat in hoofdstuk 2.2. Hierdoor kunnen de verschillende energiebesparende maatregelen met elkaar vergeleken worden. Alle criteria hebben een aantal punten toegekend gekregen op een schaal van 0 tot 5, maar de impact op de bedrijfsvoering weegt zoals uitgelegd bij de methode 0,5 keer mee. Hierdoor ligt de puntenschaal van de impact op de bedrijfsvoering tussen 0 en 2,5. In de laatste kolom is het totaal van punten opgeteld, een energiebesparende maatregel heeft minimaal 0 punten en maximaal 17,5.

Tabel 4-6: Multicriteria-analyse Leeuwarden

Energiebesparende Maatregel	Terugverdiendtijd	Impact op bedrijfsvoering	Technische levensduur	Effect van energiebesparende maatregel	Totaal
Veranderen instellingen koffiezetapparaat	5	2,5	5	1	13,5
Slimme thermostaat	5	2,5	3	5	15,5
Bewegingssensor Leeuwarden	5	2	3	1	11
Isoleren spouw personeelsgedeelte Leeuwarden	4	2	5	2	13
Nieuwe ruiten Leeuwarden	3	0,5	4	3	10,5
Vervanging verlichting Leeuwarden	5	2	5	1	13
Sensor en Vervangen	5	2	3	2	12

verlichting Leeuwarden					
Vervanging ketels Leeuwarden	1	1,5	4	1	7,5
Uitwendige zonnewering Leeuwarden	3	2,5	4	2	11,5
Dakisolatie Leeuwarden	3	1,5	5	0	9,5
Warmtewisselaar ventilatie Leeuwarden	3	1,5	4	3	11,5

Tabel 4-7: Multicriteria-analyse Heerenveen

Energiebesparende Maatregel	Terugverdientijd	Impact op bedrijfsvoering	Technische levensduur	Effect van energiebesparende maatregel	Totaal
Bewegingssensor Heerenveen	5	2	3	2	12
Vervanging verlichting Heerenveen	5	2	5	1	13
Sensor en Vervangen verlichting Heerenveen	4	2	3	2	11
Dakisolatie Heerenveen	3	1,5	5	1	10,5
Vloerisolatie Heerenveen	3	2,5	5	4	14,5
Warmtewisselaar ventilatie Heerenveen	0	1,5	4	4	9,5

5 Conclusie

5.1 Leeuwarden

De warmteverliezen zijn op dit moment 2094 Watt per Kelvin voor het gehele bedieningsgebouw in Leeuwarden en het totale verbruik van de apparaten wordt geschat op 19.337 kWh per jaar. De energiebesparende maatregelen die voor de referentiesituatie gedaan worden, zijn de volgende:

Het veranderen van het verwarmingsprogramma van de thermostaat. Met deze maatregel wordt er geschat dat er 10.000 m³ aan aardgas per jaar bespaard wordt doordat er niet onnodig gas wordt geleverd aan de ketels. Omdat het programma veranderd kan worden met lage kosten voor investering wordt het binnen 1 jaar terugverdiend en is het duurzame en korttijdige oplossing doordat er geen nieuwe materialen aangeschaft hoeven te worden.

Het veranderen van het verwarmingsprogramma van het koffiezetapparaat. Met deze maatregel wordt er geschat dat er 1113 kWh per jaar wordt bespaard. De boiler wordt gedurende de hele dag een aantal keren opgewarmd om ervoor te zorgen dat er altijd heet water beschikbaar is voor het zetten van warme dranken. Door het programma te veranderen zodat de boiler 's nachts niet of minder verwarmd, wordt er energie bespaard. Omdat het programma veranderd kan worden met lage kosten voor investering wordt het binnen 1 jaar terugverdiend en is het duurzame en korttijdige oplossing doordat er geen nieuwe materialen aangeschaft hoeven te worden.

De verplichte maatregelen die binnen 5 jaar worden terugverdiend zijn: het vervangen van de verlichting, het installeren van bewegingssensoren, een combinatie van die twee en het isoleren van de spouwmuur.

Gezien het feit dat de combinatie van de bewegingssensor en het vernieuwen van de verlichting binnen 5 jaar wordt terugverdiend is het verplicht om beide opties dan ook te doen. Wanneer beide opties gedaan worden zorgt dit voor een besparing van 10,6% of 2049 kWh per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Deze lampen gaan 20+ jaar mee en de sensor 10+ jaar. De installeringstijd is kort doordat de lampen toegankelijk zijn om te vervangen. Het duurzaamheidsaspect is iets lager omdat de oude lampen moeten worden weggegooid, deze kunnen wel gerecycled worden.

Er wordt geschat dat het isoleren van de spouwmuur doormiddel van inspuitsulatie binnen 5 jaar terugverdiend wordt. Deze maatregel bespaard 13,1% of 1095 m³ aan aardgas per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Dit is gelijk aan een verlaging van 211 W/K aan warmteverliezen. Het isolatiemateriaal kan weer verwijderd worden indien nodig en de isolerende waarde van het materiaal blijft gedurende de technische levensduur hetzelfde als de beginwaarde.

De andere energiebesparende maatregelen die kunnen worden genomen bestaan uit:

Het isoleren van het dak. Met deze maatregel wordt er geschat dat er 162 m³ aan aardgas per jaar wordt bespaard door platen van minerale wol tegen het plafond te plaatsen. Dit is een verlaging van 58 W/K aan warmteverliezen. Hierdoor wordt er minder warmte verloren waardoor er minder gestookt hoeft te worden om de kamers op dezelfde temperatuur te houden.

Het plaatsen van nieuwe ruiten. Met deze maatregel wordt er geschat dat 1756 m³ aan aardgas per jaar bespaard kan worden. Dit is gelijk aan een verlaging van 324 W/K aan warmteverliezen. De nieuwe ruiten hebben een betere isolerende waarde dan het huidig geïnstalleerde dubbelglas. Deze maatregel kan duurzamer gemaakt worden als het glas gerecycled wordt en de kozijnen hergebruikt kunnen worden. Deze energiebesparende maatregel kan een lange installatietijd hebben van 4+ weken wanneer er nieuwe kozijnen moeten worden geplaatst.

Het installeren van uitwendige zonnewering. Met deze maatregel wordt er geschat dat 2050 kWh per jaar bespaard wordt. De besparing komt van de verlaging van het aantal uren dat de airconditioning in bedrijf is. De zonnewering blokkeert inkomende straling waardoor de kamers minder opwarmen en de airconditioning niet aan hoeft om die kamers te koelen.

Het installeren van een warmtewisselaar op de ventilatie. Met deze maatregel wordt er geschat dat 1668 m³ aan aardgas bespaard wordt. Dit is gelijk aan een verlaging van 483 W/K aan warmteverliezen. De warmtewisselaar zorgt ervoor dat lucht gefilterd wordt en dat verse binnenkomende lucht van buiten verwarmd wordt door oude uitgaande lucht van binnen. Hierbij is ervan uitgegaan dat een aantal kamers niet op de ventilatie worden aangesloten en dat die kamers natuurlijk worden geventileerd (door gaten en kieren).

Als laatste kunnen de Cv-ketels worden vervangen. Met deze maatregel wordt er geschat dat er 439 m³ aan aardgas per jaar wordt bespaard. De huidige ketels werken met een onderrendement van 90% omdat de ketels niet geoptimaliseerd zijn voor het gebruik van aardgas. Dit is niet een duurzame maatregel omdat het gebruik van aardgas niet toekomstbestendig is.

Wanneer alle bovengenoemde energiebesparende maatregelen worden uitgevoerd, dan worden de warmteverliezen ingeschat op 1019 Watt per Kelvin in het bedieningsgebouw van Leeuwarden. Het elektriciteitsverbruik van Leeuwarden na implementatie van de energiebesparende maatregelen wordt geschat op 15238 kWh per jaar. De geschatte besparing in euro's voor Leeuwarden komt neer op €6646,- per jaar.

5.2 Heerenveen

Voor Heerenveen worden de warmteverliezen ingeschat op 1261 Watt per Kelvin voor het gehele bedieningsgebouw. Tevens zijn de verbruiken van de apparaten ingeschat, deze komen voor Heerenveen uit op 10.075 kWh per jaar.

De verplichte maatregelen die binnen 5 jaar worden terugverdiend zijn: het vervangen van de verlichting, het installeren van bewegingssensoren en de combinatie van die twee.

Gezien het feit dat de combinatie van de bewegingssensor en het vernieuwen van de verlichting binnen 5 jaar wordt terugverdiend is het verplicht om beide opties dan ook te doen. Wanneer beide opties gedaan worden zorgt dit voor een besparing van 1480 kWh per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Deze lampen gaan 20+ jaar mee en de sensor 10+ jaar. De installeringstijd is kort doordat de lampen toegankelijk zijn om te vervangen. Het duurzaamheidsaspect is iets lager omdat de oude lampen moeten worden weggegooid, deze kunnen wel gerecycled worden.

De andere energiebesparende maatregelen die kunnen worden genomen bestaan uit:

Er wordt geschat dat het isoleren van de kruipruimte doormiddel van Drowa isolatiechips binnen 9 jaar terugverdiend wordt. Deze maatregel bespaart 450 m³ aan aardgas per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Dit is gelijk aan een verlaging van 269 W/K aan warmteverliezen. Het isolatiemateriaal kan weer verwijderd worden indien nodig en de isolerende waarde van het materiaal blijft gedurende de technische levensduur hetzelfde als de beginwaarde.

Het isoleren van het dak. Met deze maatregel wordt er geschat dat er 131 m³ aan aardgas per jaar wordt bespaard door platen van minerale wol tegen het plafond te plaatsen. Dit is een verlaging van 48 W/K aan warmteverliezen. Hierdoor wordt er minder warmte verloren waardoor er minder gestookt hoeft te worden om de kamers op dezelfde temperatuur te houden.

Het installeren van een warmtewisselaar op de ventilatie. Met deze maatregel wordt er geschat dat 430 m³ aan aardgas bespaard wordt. Dit is gelijk aan een verlaging van 170 W/K aan warmteverliezen. De warmtewisselaar zorgt ervoor dat lucht gefilterd wordt en dat verse binnenkomende lucht van buiten verwarmd wordt door oude uitgaande lucht van binnen.

Wanneer alle bovengenoemde energiebesparende maatregelen worden uitgevoerd, dan worden de warmteverliezen ingeschat op 774 Watt per Kelvin in het bedieningsgebouw van Heerenveen. Het elektriciteitsverbruik van Heerenveen na implementatie van de energiebesparende maatregelen wordt geschat op 8595 kWh per jaar. Voor Heerenveen komt de geschatte besparing uit op €1225,- per jaar.

6 Advies

6.1 Veranderen thermostaatinstellingen Leeuwarden en veranderen instellingen koffiezetapparaat

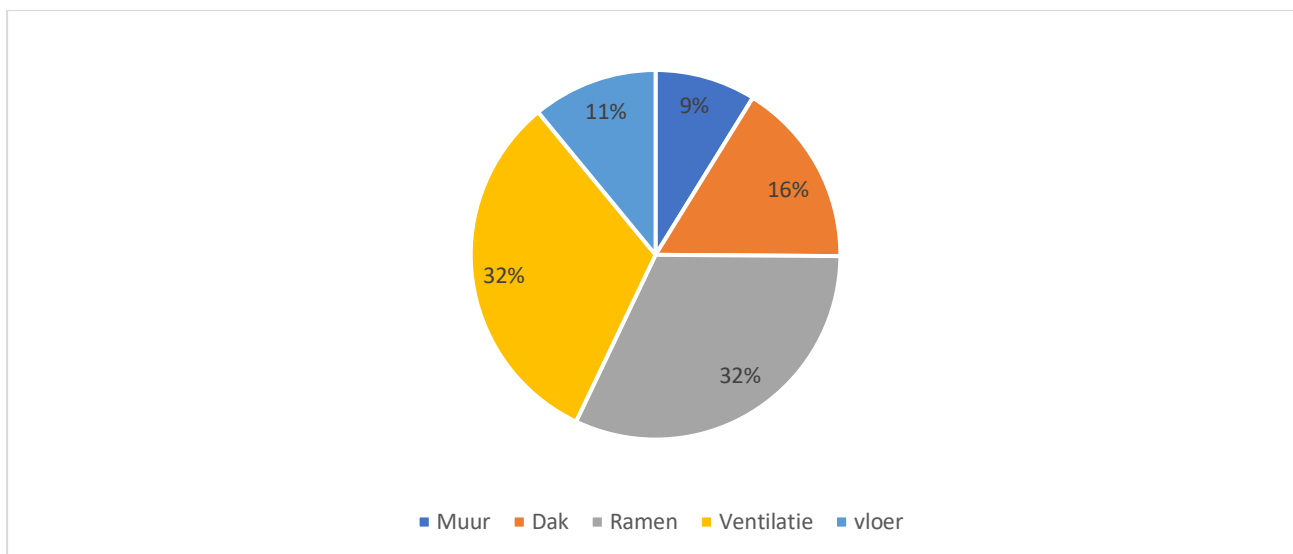
Deze energiebesparende maatregel is zoals eerder genoemd een maatregel waar ervan uit wordt gegaan dat deze wordt uitgevoerd voordat er andere energiebesparende maatregelen worden uitgevoerd. Hierdoor is de referentiesituatie een situatie waarin er alleen verwarmd wordt tijdens de werkuren op de zuivering, ofwel maandag tot en met vrijdag van 7:00 tot 16:00 (of 8:00 tot 17:00) en op bepaalde momenten gedurende de nacht en het weekend om ervoor te zorgen dat de kamers tijdig op temperatuur zijn tijdens de werkuren. Door deze maatregel te nemen kan er 55% procent bespaard worden als het alleen gaat om warmteverliezen tijdens het verwarmen en ervan uit wordt gegaan dat er elke seconde wordt verwarmd. Omdat dit gaat om een jaarlijkse geschatte besparing van €10.000,- aan aardgas is dit een energiebesparende maatregel die gedaan moet worden. Wanneer dit niet wordt gedaan, dan zullen de andere energiebesparende maatregelen wel sneller terugverdiend worden. Dit zou een onrealistische weergave geven van de terugverdiëntijden en daarom is er dus voor de referentiesituatie gekozen waarin er alleen verwarmd wordt tijdens werkuren. Het is niet bekend hoeveel er precies zal worden bespaard omdat er nog steeds 's nachts wordt verwarmd. Het gevolg hiervan is dat er de mogelijkheid bestaat dat er meer of minder gas wordt verbruikt dan ingeschat en dat de terugverdiëntijden korter of langer worden.

In een gesprek met Energie Coördinator, Klaas Brandsma en Adviseur Energietransitie, Jasper de Vries, is overlegd over het aandeel van besparing dat het veranderen van de thermostaatinstelling oplevert. Hierdoor is de referentiesituatie bepaald waarin er dus 55% wordt bespaard, met in gedachte dat de besparing kleiner kan zijn.

Verder is in de referentiesituatie van het elektriciteitsverbruik ervoor gekozen om de instellingen van het koffiezetapparaat in Leeuwarden al te veranderen. Dit bespaart 1113 kWh per jaar.

6.2 Leeuwarden

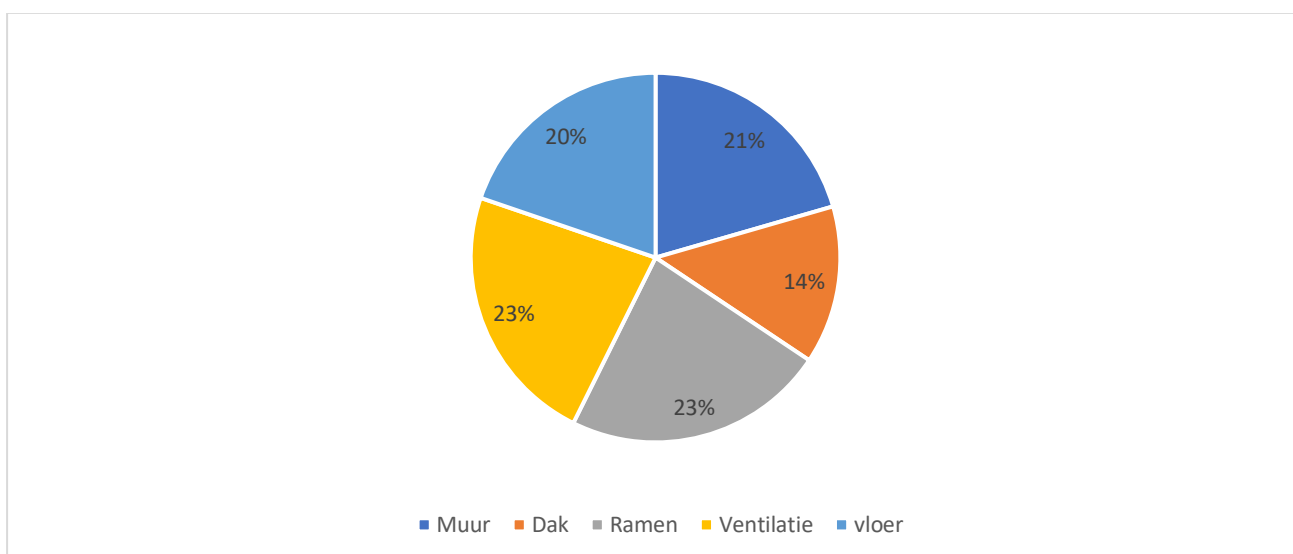
De verdeling van warmteverliezen in de referentiesituatie is geplaatst in een taartdiagram in Figuur 6-1 en in Figuur 6-2. De absolute hoeveelheden in de referentiesituatie staan in Tabel 6-1 en Tabel 6-2.



Figuur 6-1: Verdeling warmteverliezen bezoekersgebouw, referentiesituatie

Tabel 6-1: Warmteverliezen bezoekerscentrum Leeuwarden, referentiesituatie

Muur	58	Watt per Kelvin	9%
Dak	107	Watt per Kelvin	16%
Ramen	210	Watt per Kelvin	32%
Ventilatie	210	Watt per Kelvin	32%
Vloer	72	Watt per Kelvin	11%
Totaal	657	Watt per Kelvin	100%



Figuur 6-2: Verdeling warmteverliezen personeelsgedeelte, Referentiesituatie

Tabel 6-2: Warmteverliezen personeelsgedeelte Leeuwarden, Referentiesituatie

Muur	295	Watt per Kelvin	21%
Dak	199	Watt per Kelvin	14%
Ramen	330	Watt per Kelvin	23%
Ventilatie	329	Watt per Kelvin	23%
Vloer	284	Watt per Kelvin	20%
Totaal	1437	Watt per Kelvin	100%

De verplichte maatregelen die binnen 5 jaar worden terugverdiend zijn het vervangen van de verlichting, het installeren van bewegingssensoren, een combinatie van die twee en het isoleren van de spouwmuur. Gezien het feit dat de combinatie van de bewegingssensor en het vernieuwen van de verlichting binnen 5 jaar wordt terugverdiend is het verplicht om beide opties dan ook te doen. Wanneer beide opties gedaan worden zorgt dit voor een besparing van 10,6% of 2049 kWh per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Hierdoor wordt ook de menselijke factor in het besparen van energie verminderd doordat dit nu automatisch gaat.

Er wordt geschat dat het isoleren van de spouwmuur doormiddel van inspuitsisolatie binnen 5 jaar terugverdiend wordt. Ook de uitvoering hiervan zorgt net zoals installatie van bewegingssensoren en nieuwe verlichting voor 1 dag daadwerkelijke hinder en bespaard 13,1% of 1095 m³ aan aardgas per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Deze spouwmuurisolatie kan weer verwijderd worden indien noodzakelijk.

Het isoleren van de spouwmuur kan worden geplaatst in een pakket samen met andere energiebesparende maatregelen die aardgas besparen. In dat pakket zit ook het installeren van HR++ glas in het gehele bedieningsgebouw (dus inclusief bezoekerscentrum). Dit bespaart 20% ofwel 1756 m³ aan aardgas per jaar en heeft een terugverdientijd tussen de 6 en 9 jaar. Het glas kan gerecycled worden, een probleem dat kan optreden is dat de kozijnen ook moeten worden vervangen om de nieuwe ruiten te kunnen plaatsen. Dit zorgt voor extra kosten en tijd. Wanneer er nieuwe ramen worden geplaatst, kan er voor de optie gekozen worden om zonwerende ramen te plaatsen. Wanneer dit gedaan wordt is het installeren van uitwendige zonnewering overbodig.

Ook het installeren van mechanische ventilatie met een warmtewisselaar kan aardgas besparen. Deze warmtewisselaar warmt koude binnenkomende lucht van buiten op doormiddel van uitgaande warme lucht van binnen. Door deze energiebesparende maatregel te installeren kan er 19% of 1668 m³ aan aardgas per jaar bespaard worden ten opzichte van de referentiesituatie met een terugverdientijd van 7,3 jaar. Het advies hier is om niet alle ruimten te ventileren met de mechanische ventilatie zodat een goedkopere ventilatie-unit met een kleiner debiet kan worden aangeschaft.

Een laatste aanpassing aan de bouwschil die aardgas bespaard is het installeren van dakisolatie, waarbij er platen van minerale wol tegen het plafond worden geplaatst om de warmteverliezen terug te dringen. Bij de berekening is van 40 millimeter dikte uitgegaan omdat deze het vlugst wordt terugverdiend. De terugverdientijd is met 40 millimeter 7,6 jaar en bespaard 3,4% of 162 m³ aan aardgas per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Om uiteindelijk van het gas af te gaan is het verstandiger om voor een dikkere plaat te kiezen, deze heeft een langere terugverdientijd maar houdt de warmte wel beter binnen.

Het vervangen van de ketels kan een besparing van aardgas opleveren wanneer er een hoger rendement behaald wordt. In discussie met collega's van het Wetterskip zijn er meerdere opties voorbijgekomen om van het gas af te komen of om biogas weer gaan te gebruiken, deze opties worden besproken in hoofdstuk 6.4 en in bijlage 5. Wanneer er nieuwe gelijksoortige Cv-ketels worden geplaatst kan er 5% of 439 m³ aan aardgas bespaard worden ten opzichte van de referentiesituatie, de terugverdientijd komt hiermee op 4,5 jaar als 1 ketel geplaatst wordt en 9 jaar wanneer er 2 worden geplaatst. In de huidige situatie staan er 4 ketels dus wanneer er ook 4 nieuwe ketels geplaatst worden wordt de terugverdientijd 18 jaar. Het advies is om dit niet te doen als het plan op lange termijn is om van het aardgas af te gaan. Ook wordt de besparing kleiner als andere maatregelen worden geïnstalleerd.

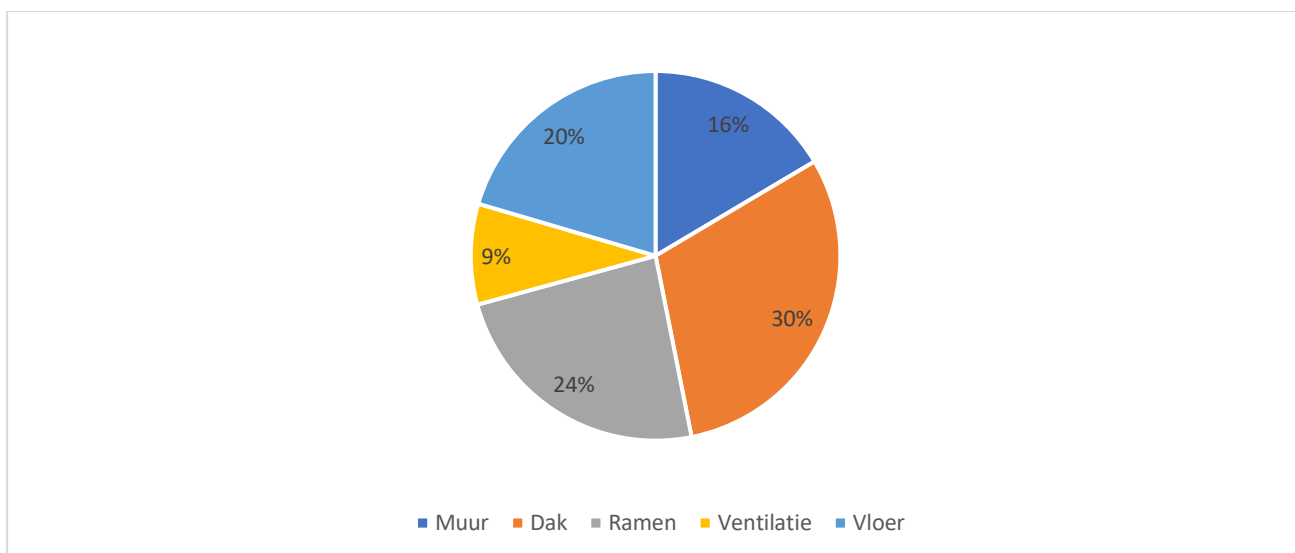
Het andere pakket bestaat uit elektriciteits-besparende maatregelen en bevat het vervangen van de verlichting, installeren van bewegingssensoren en het installeren van uitwendige zonnewering. De eerste twee energiebesparende maatregelen zijn al besproken in dit hoofdstuk, daarom wordt er hier aandacht besteedt aan uitwendige zonnewering. De zonnewering bespaard energie door de binnenkomende warmte van de zon te weren waardoor er minder gekoeld hoeft te worden. De airconditioning hoeft hierdoor minder vaak en lang aan te staan. De geschatte besparing is 10,6% of 2050 kWh per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. De zonnewering wordt dan terugverdiend in 6,5 jaar. Wanneer er nieuwe ramen worden geplaatst, kan er voor de optie gekozen worden om zonwerende ramen te plaatsen. Wanneer dit gedaan wordt is het installeren van uitwendige zonnewering overbodig.

De MCA geeft de volgende uitkomsten wat betreft prioritering van maatregelen:

1. Vervangen verlichting en isoleren spouwmuur
2. Bewegingssensor/vervangen verlichting
3. Uitwendige zonnewering
4. Bewegingssensor
5. Nieuwe ruiten
6. Dakisolatie personeelsgedeelte
7. Vervangen ketels

Wanneer alle genoemde energiebesparende maatregelen worden uitgevoerd dan komen er de volgende totalen uit voor respectievelijk aardgasverbruik en elektriciteitsverbruik: 2749 m³ aardgas per jaar en 15238 kWh per jaar. In Figuur 6-3 en Figuur 6-4 en in Tabel 6-3 en Tabel 6-4 zijn de nieuwe warmteverliezen en de verdeling daarvan te zien. Dit is dus nadat alle energiebesparende maatregelen worden genomen als het gaat om warmteverliezen. Er wordt in totaal 1075 Watt per Kelvin aan warmteverliezen voorkomen als de energiebesparende maatregelen worden doorgevoerd. Het advies is dan ook om alle genoemde maatregelen te treffen behalve het vervangen van de ketels door nieuwe ketels omdat er andere alternatieven voor het verwarmen van het bedieningsgebouw zijn. Deze alternatieven zijn uitgelegd in hoofdstuk 6.4.

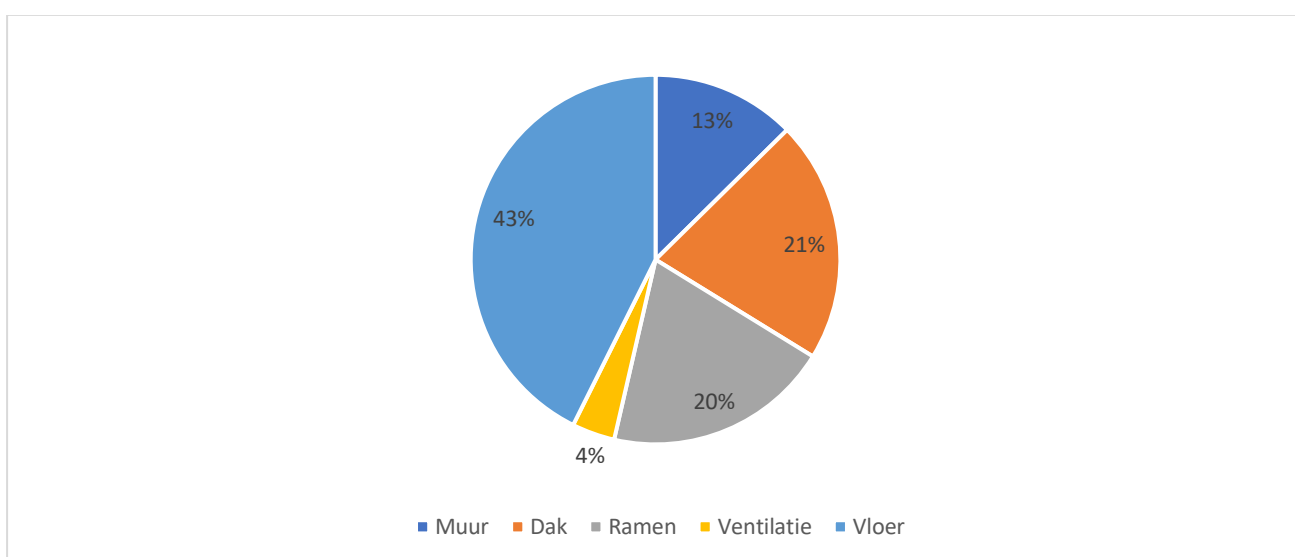
Wanneer alle maatregelen genomen worden behalve het vervangen van de ketels dan komt de totale besparing aan aardgas uit op 4681 m³ per jaar en het nieuwe verbruik wordt dan 3188 m³ aardgas per jaar door warmteverliezen. Deze keuze is gemaakt op basis van de multicriteria-analyse en de wens van het Wetterskip om uiteindelijk van het gas af te gaan.



Figuur 6-3: Verdeling warmteverliezen bezoekerscentrum Leeuwarden, nieuwe situatie

Tabel 6-3: Warmteverliezen bezoekerscentrum Leeuwarden, nieuwe situatie

Muur	58	Watt per Kelvin	16%
Dak	107	Watt per Kelvin	30%
Ramen	84	Watt per Kelvin	24%
Ventilatie	31	Watt per Kelvin	9%
Vloer	72	Watt per Kelvin	20%
Totaal	352	Watt per Kelvin	100%



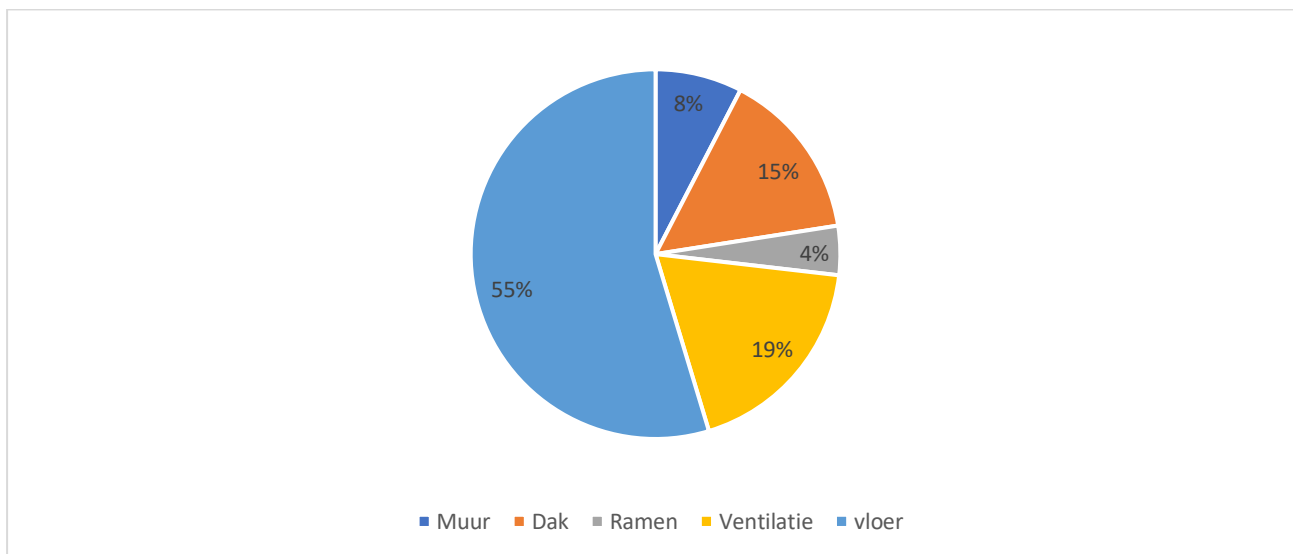
Figuur 6-4: Verdeling warmteverliezen personeelsgedeelte Leeuwarden, nieuwe situatie

Tabel 6-4: Warmteverliezen personeelsgedeelte Leeuwarden, nieuwe situatie

Muur	84	Watt per Kelvin	13%
Dak	141	Watt per Kelvin	21%
Ramen	132	Watt per Kelvin	20%
Ventilatie	25	Watt per Kelvin	4%
Vloer	284	Watt per Kelvin	43%
Totaal	667	Watt per Kelvin	100%

6.3 Heerenveen

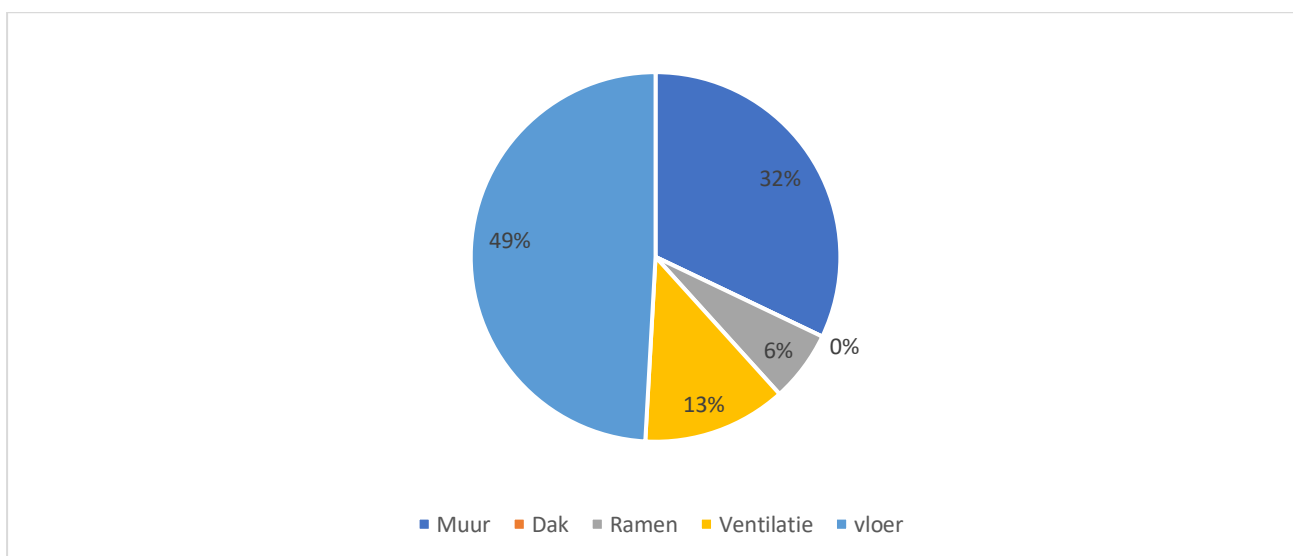
De verdeling van de warmteverliezen in de referentiesituatie zijn geplaatst in een taartdiagram te zien in Figuur 6-5 en in Figuur 6-6. De absolute hoeveelheden staan in Tabel 6-5 en Tabel 6-6.



Figuur 6-5: Verdeling warmteverliezen eerste verdieping Heerenveen, Referentiesituatie

Tabel 6-5: Warmteverliezen eerste verdieping Heerenveen, Referentiesituatie

Muur	53	Watt per Kelvin	8%
Dak	104	Watt per Kelvin	15%
Ramen	30	Watt per Kelvin	4%
Ventilatie	129	Watt per Kelvin	19%
Vloer	381	Watt per Kelvin	55%
Totaal	697	Watt per Kelvin	100%



Figuur 6-6: Verdeling warmteverliezen begane grond Heerenveen, Referentiesituatie

Tabel 6-6: Warmteverliezen begane grond Heerenveen, Referentiesituatie

Muur	181	Watt per Kelvin	32%
Dak	0	Watt per Kelvin	0%
Ramen	35	Watt per Kelvin	6%
Ventilatie	71	Watt per Kelvin	13%
Vloer	277	Watt per Kelvin	49%
Totaal	564	Watt per Kelvin	100%

De verplichte maatregelen die binnen 5 jaar worden terugverdiend zijn het vervangen van de verlichting, het installeren van bewegingssensoren, een combinatie van die twee. Gezien het feit dat de combinatie van de bewegingssensor en het vernieuwen van de verlichting binnen 5 jaar wordt terugverdiend is het verplicht om beide opties dan ook te doen. Wanneer beide opties gedaan worden zorgt dit voor een besparing van 12% of 1480 kWh per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Hierdoor wordt ook de menselijke factor in het besparen van energie verminderd doordat dit nu automatisch gaat.

Het eerste pakket aan energiebesparende maatregelen die gedaan kunnen worden bevat de maatregelen die aardgas besparen. In dat pakket zit het installeren van vloerisolatie. Dit bespaart 27% ofwel 450 m³ aan aardgas per jaar ten opzichte van de referentiesituatie en heeft een terugverdientijd van 9 jaar. Hierbij wordt de kruipruimte opgevuld met isolatiechips, dit zorgt er wel voor dat er geen directe toegang tot de gehele kruipruimte meer is. Het advies is om deze maatregel wel te nemen omdat de terugverdientijd ruim binnen de technische levensduur zit.

Ook het installeren van mechanische ventilatie met een warmtewisselaar kan aardgas besparen. Deze warmtewisselaar warmt koude binnenkomende lucht van buiten op doormiddel van uitgaande warme lucht van binnen en gaat door een filter zodat de lucht ook schoner wordt. Door deze energiebesparende maatregel te installeren kan er 26% of 430 m³ aan aardgas per jaar bespaard worden ten opzichte van de referentiesituatie met een terugverdientijd van 24 jaar. De warmtewisselaar heeft een lange terugverdientijd omdat het apparaat nog stroom verbruikt (rond de 650 kWh per jaar), dit kost €101,- per jaar aan stroom. Het advies is om deze optie niet te doen aangezien de terugverdientijd lang is en wanneer het gebouw minder gebruikt gaat worden er ook minder geventileerd wordt.

Een laatste aanpassing aan de bouwschil die aardgas bespaard is het installeren van dakisolatie, waarbij er platen van minerale wol tegen het plafond worden geplaatst om de warmteverliezen terug te dringen. Bij de berekening is van 40 millimeter dikte uitgegaan omdat deze het vlugst wordt terugverdiend. De terugverdientijd is met 40 millimeter 7,5 jaar en bespaard 8% of 131 m³ aan aardgas per jaar ten opzichte van de referentiesituatie. Het advies is om dit wel te doen en wanneer dit gebouw van het gas af moet, om ook voor dikkere platen te kiezen zodat er nog minder warmte verloren gaat. Hierdoor blijven de kamers gemakkelijker op temperatuur.

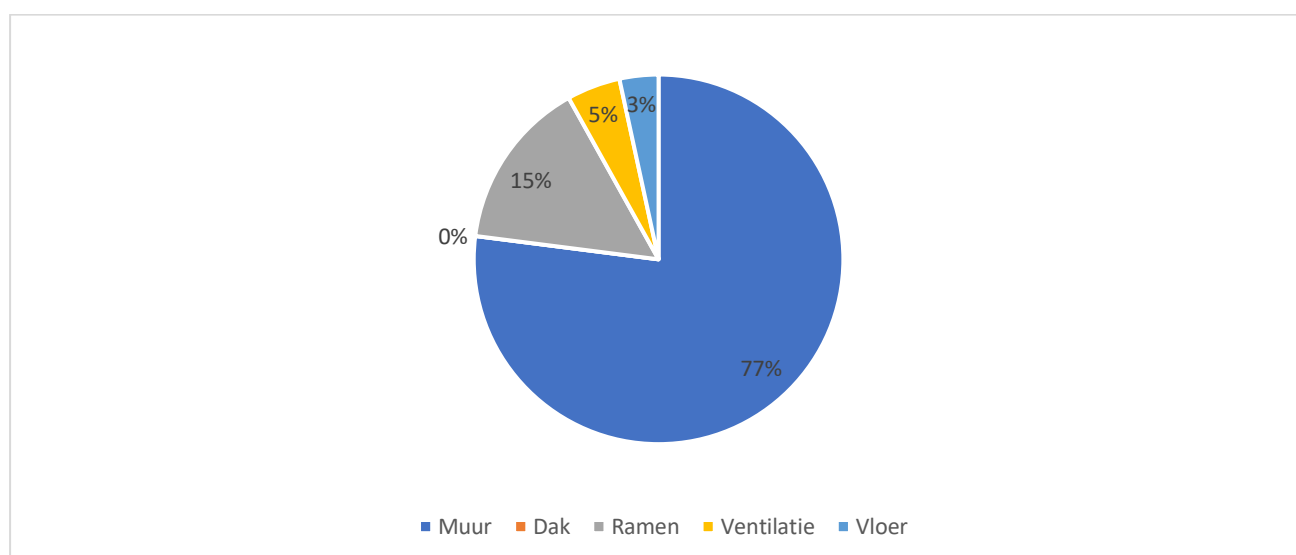
Het andere pakket bestaat uit elektriciteits-besparende maatregelen en bevat het vervangen van de verlichting en installeren van bewegingssensoren.

De MCA geeft de volgende uitkomsten wat betreft prioritering van maatregelen:

1. Vloerisolatie
2. Vervangen verlichting
3. Bewegingssensor/vervangen verlichting
4. Bewegingssensor
5. Dakisolatie
6. Warmtewisselaar ventilatie

Wanneer alle genoemde energiebesparende maatregelen worden uitgevoerd dan komen er de volgende totalen uit voor respectievelijk aardgasverbruik en elektriciteitsverbruik: 657 m³ aardgas per jaar en 9942 kWh per jaar. In die situatie ziet de verdeling van warmteverliezen er als volgt uit, te zien in Figuur 6-7 en Figuur 6-8 en in Tabel 6-7 en Tabel 6-8. Er wordt in totaal 487 Watt per Kelvin aan warmteverliezen voorkomen door het implementeren van de energiebesparende maatregelen. De verliezen door de vloer van de eerste verdieping in Watt is gering doordat het verschil in temperatuur met de ruimte eronder maar op 3 graden wordt geschat.

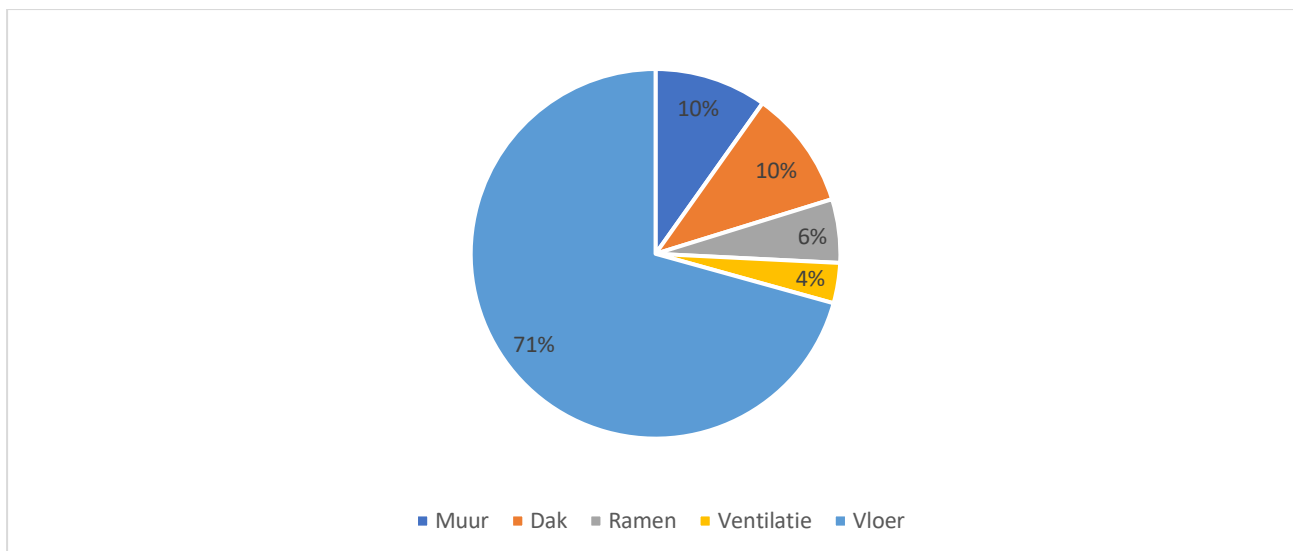
Wanneer de warmtewisselaar op de ventilatie niet wordt geïnstalleerd wordt er in totaal 1079 m³ per jaar aan aardgas gebruikt voor het verwarmen en is de besparing 581 m³ aardgas per jaar. Deze keuze is gemaakt op basis van de multicriteria-analyse en specifiek de terugverdientijd.



Figuur 6-7: Verdeling warmteverliezen begane grond Heerenveen, nieuwe situatie

Tabel 6-7: Warmteverliezen begane grond Heerenveen, nieuwe situatie

Muur	181	Watt per Kelvin	77%
Dak	0	Watt per Kelvin	0%
Ramen	35	Watt per Kelvin	15%
Ventilatie	11	Watt per Kelvin	5%
Vloer	8	Watt per Kelvin	3%
Totaal	234	Watt per Kelvin	100%



Figuur 6-8: Verdeling warmteverliezen eerste verdieping Heerenveen, nieuwe situatie

Tabel 6-8: Warmteverliezen eerste verdieping Heerenveen, nieuwe situatie

Muur	53	Watt per Kelvin	10%
Dak	56	Watt per Kelvin	10%
Ramen	30	Watt per Kelvin	6%
Ventilatie	19	Watt per Kelvin	4%
Vloer	381	Watt per Kelvin	71%
Totaal	540	Watt per Kelvin	100%

6.4 Bedieningsgebouwen algemeen

Omdat het grotere doel van het Wetterskip is om CO₂-neutraal te zijn en om aan de besluiten in het activiteitenbesluit te doen is er gevraagd om een stappenplan te maken voor andere bedieningsgebouwen en hoe deze van gas af kunnen.

Als eerste moeten de bouwplannen gevonden worden zodat oppervlaktes kunnen worden berekend en de materialen worden bepaald. Het is belangrijk om de materialen goed in beeld te krijgen zodat het model juist kan worden ingevuld. Hiervoor moet er in de kruipruimtes worden gekeken, boven de systeemplafonds, het soort ruiten moet worden bepaald en indien van toepassing het bepalen van de spouwbreedte en opvulling daarvan.

Als de materialen en oppervlaktes bekend zijn kunnen ze worden ingevuld in het warmteverliesmodel, van hieruit kan gezien worden waar de grootste verliezen zijn. Verder is het advies om te overleggen met een aannemer en installateur van isolatiematerialen zodat de meest geschikte optie per locatie kan worden gekozen.

Doorgaans zullen alle bouwoppervlaktes (muren, ramen, daken en vloeren) geïsoleerd moeten worden om van het gas af te kunnen. Er kan op verschillende manieren worden verwarmd als er van gas wordt afgestapt, zoals een zonneboiler, airconditioning of een warmtepomp. Het probleem dat hierbij optreedt is dat deze verwarming een lage-temperatuur verwarming moet zijn (rond de 40 tot 50 graden Celsius). Doordat er een lage-temperatuur verwarming moet worden gebruikt moet het gebouw voldoende geïsoleerd zijn om een aangename binnentemperatuur te kunnen behouden. In de bedieningsgebouwen van Leeuwarden en Heerenveen zijn de bestaande radiatoren niet geschikt voor lage-temperatuurverwarming.

Om warmtepompen of zonneboilers te gebruiken moet er dus nieuwe verwarming worden geplaatst, dit kan vloerverwarming zijn maar ook een aangepaste radiator die op een lagere temperatuur werkt. Door het vervangen van de verwarming kan hinder ontstaan, zeker als er vloerverwarming moet worden geplaatst. Bij vloerverwarming moet er een laag worden verwijderd zodat de buizen waar de verwarming uit bestaat in de vloer kunnen worden geplaatst.

Er kan ook voor gekozen worden om niet het gehele gebouw te verwarmen en dus ook niet het gehele gebouw te isoleren, ruimtes zoals de werkplaats, opslag en cv-ruimtes worden weinig gebruikt als er vergeleken wordt met de andere ruimtes in de bedieningsgebouwen. Dit bespaard kosten en benodigde temperatuur van het water om de kamers te verwarmen.

Als terugverdientijd niet van belang is, dan is het verstandig om voor een isolatiemateriaal te kiezen met de hoogste warmteweerstand zodat er met een zo laag mogelijke temperatuur kan worden verwarmd.

Het advies voor alle bedieningsgebouwen wanneer terugverdientijd niet van belang is, is om de ongeïsoleerde oppervlaktes te isoleren met materiaal dat de hoogste isolerende waarde heeft. De ramen te vervangen met HR+++ glas of beter en om een combinatie van zonneboiler en warmtepomp te gebruiken zodat er altijd warm water gegarandeerd kan worden. Verder is het advies om de verlichting te vervangen en om bewegingssensoren te installeren in elk bedieningsgebouw zodat daar ook energie bespaard wordt.

Een laatste advies is aan het personeel van de bedieningsgebouwen, dat deze ook bijdragen aan het besparen van energie door apparaten zoals radio's niet aan te laten staan wanneer er niemand aanwezig is.

7 Discussie

7.1 Meten verbruiken en gebruik modellen

Het meten van het huidige aardgasverbruik en elektriciteitsverbruik van alleen de bedieningsgebouwen was niet mogelijk tijdens dit onderzoek, de enige beschikbare data waren de verbruiken van de gehele zuivering. Het was wel mogelijk voor het gasverbruik van het bedieningsgebouw in Leeuwarden. Hoewel dit wel alleen ging om het aardgasverbruik en niet om het biogasverbruik waardoor er nog enige schatting in zit in de totale hoeveelheid die per jaar verbruikt wordt op beide locaties. Het aardgasverbruik op beide locaties zijn waarschijnlijk hoger dan ingeschat als het gaat om de instellingen van verwarmen, aangezien dit niet exact bekend was ten tijde van dit onderzoek. Er is in het model gerekend met 23% uren verwarmd van een geheel jaar in Heerenveen (2080 uren per jaar) en in Leeuwarden is gerekend met 44% uren verwarmd (3900 uren per jaar). Wanneer er gerekend wordt met een hoger aardgas verbruik zal de besparing in aardgas en in euro's groter worden en de terugverdientijden lager (wanneer de kosten hetzelfde blijven).

De adviezen zijn gedaan op basis van de resultaten die uit de modellen zijn gekomen omdat de daadwerkelijke verbruiken van apparaten en warmteverliezen niet beschikbaar waren ten tijde van dit onderzoek, hierdoor is het mogelijk dat de berekende besparingen hoger of lager uitvallen. Dit risico is vooral aanwezig bij de apparaten en hun elektriciteitsverbruik doordat het aantal uren geschat moet worden en dat het piekvermogen gebruikt wordt.

Wanneer er wordt getest op gevoeligheid van besparing blijkt dat wanneer de prijs van energie met 10% verandert de besparing in euro's dat ook doet (wanneer de besparing aan energie hetzelfde blijft). Dit geldt ook andersom waarin de besparing in euro's met 10% verandert als de besparing aan energie ook met 10% verandert en de prijs hetzelfde blijft.

7.2 Graaddagen

In het model van de warmteverliezen wordt gerekend met graaddagen, dit werkt goed voor huizen waarin 24 uur per dag wordt gewoond. Omdat in de bedieningsgebouwen 8 uur per werkdag wordt verwarmd is het gasverbruik berekend doormiddel van het totaal berekende gasverbruik (365 dagen, 24 uur per dag) keer het aantal uren aanwezig te doen (8 uur per werkdag). Het probleem wat hierbij optreedt is dat het aantal graaddagen wordt berekend met een gemiddelde dag temperatuur (dus dag en nacht), aangezien het 's nachts meestal kouder is ligt deze gemiddelde dagtemperatuur lager dan wanneer er alleen gerekend wordt met een gemiddelde temperatuur van het aantal uren aanwezig. Dit alles betekend dat het berekende gasverbruik lager uit zal vallen wanneer er gerekend wordt met alleen de gemiddelde temperatuur op een dag over de werkuren.

Ook geven de graaddagen een beter beeld van vergelijking tussen jaren zelf. De graaddagen werken minder goed voor het berekenen van het gemiddelde hoeveelheid aardgas dat nodig is om een gebouw te verwarmen. Hierdoor kunnen de geschatte besparingen en de daaruit volgende terugverdientijden ook verschillen met de huidige resultaten, wanneer het aardgasverbruik op een andere manier wordt gemodelleerd. Er is geen gevoeligheidsanalyse gedaan op de berekening van het aardgasverbruik en de graaddagen.

7.3 Toekomstbestendigheid

Verder zijn de kosten en prijzen die genomen zijn onderhevig aan veranderingen over tijd. Zo zal de gasprijs veranderen als de huidige globale situatie zich blijft voortzetten. Ook zullen levertijden, kosten van materialen, kosten voor installatie en elektriciteitsprijzen fluctueren. Hierdoor kunnen energiebesparende maatregelen duurder worden en een langere terugverdientijd hebben of het wordt goedkoper en er zit een kortere terugverdientijd aan. Daardoor is er een grote kans dat een vervolgonderzoek met dezelfde methode andere resultaten kan opleveren. Wanneer de prijs van energie stijgt en de kosten hetzelfde blijven dan zullen de terugverdientijden lager worden, als de kosten hoger worden doordat materialen duurder worden en de prijs van energie hetzelfde blijft dan zullen de terugverdientijden langer worden.

Het bedieningsgebouw in Heerenveen zal naar aanloop van 2025 verplaatst worden naar het nieuwe gebouw van de slibontwateringsinstallatie waardoor het gebruik van het oude bedieningsgebouw verminderd zal worden. Hierdoor worden de energiebesparende maatregelen ook minder rendabel doordat het gebouw niet meer of minder verwarmd hoeft te worden.

De adviezen zijn gebaseerd op de resultaten en de MCA, maar blijven deels subjectief omdat de resultaten op verschillende wijzen kunnen worden geïnterpreteerd.

8 Bibliografie

- 123LED. (2022). *Philips Led TL buis | 60 cm | T8 | 6500K | 800 lumen | 8W*. Opgehaald van 123LED: <https://www.123led.nl/Led-TL/Led-TL-buis-60-cm-G13-T8-p591.html>
- Allekabels.nl. (2022). *PIR sensor - inbouw - infrarood*. Opgeroepen op Mei 19, 2022, van Webshop van Allekabels.nl: <https://www.allekabels.nl/bewegingsmelder/1758/1448087/bewegingsmelder-inbouw.html>
- Bouwens, R., De Groot, P., & Kranendonk, W. (2013). *BINAS, zesde editie*. Noordhoff Uitgevers.
- Brink Climate Systems. (2022). *Gemiddelde prijs installatie WTW rijtjeshuis*. Opgehaald van Website van Brink Climate Systems: https://www.brinkclimatesystems.nl/oplossingen/ventilatie/multi-air-supply?gclid=Cj0KCQjwl7qSBhD-ARIsACvV1X1fjMnud0A_bhdhI9gsHK72PMF-AtQEhd34fK4gDm4F5RO5RNN-2bcaAqy5EALw_wcB
- Buldit BV. (2022). *Kopen van mechanische ventilatie*. Opgehaald van Webstie van Buldit BV: <https://www.mechanischeventilatie.net/mechanische-ventilatie-kopen/>
- CBS. (2022). *Duurzaamheid*. Opgehaald van Centraal Bureau van de Statistiek: <https://www.cbs.nl/nl-nl/economie/landbouw/monitor-duurzame-agro-grondstoffen-2016/toelichtingen-homepage-agro-grondstoffen/duurzaamheid>
- Coolblue. (2022). *Slimme Thermostaten*. Opgehaald van Webshop van Coolblue: <https://www.coolblue.nl/thermostaten/slimme-thermostaten>
- De isolatieshop. (2021). *Isolatiewaarde: de Rd-waarde, Rc-waarde en lambdawaarde*. Opgehaald van Website van de isolatieshop: <https://www.isolatiemateriaal.nl/kenniscentrum/isolatiewaarde-de-rd-waarde-rc-waarde-en-lambdawaarde>
- De Isolatieshop. (2022). *Knauf mineraalwol 35*. Opgehaald van De isolatieshop: <https://www.isolatiemateriaal.nl/glaswol/glaswolplaten/minerale-wol-mw35>
- De Zonweringfabriek. (2022). *Ritsscreen samenstellen*. Opgehaald van Website van de Zonweringfabriek: [https://www.zonweringfabriek.nl/product/screens/screen/?productID=815&type=ritsscreen&placement=op_de_muur&finish=rechte_kast&width=1500&height=750&housing_size=85\(mm\)&housing_color=antraciet&screen_color=wit_101101&bedieningszijde=nog_te_kiezen&elektris](https://www.zonweringfabriek.nl/product/screens/screen/?productID=815&type=ritsscreen&placement=op_de_muur&finish=rechte_kast&width=1500&height=750&housing_size=85(mm)&housing_color=antraciet&screen_color=wit_101101&bedieningszijde=nog_te_kiezen&elektris)
- Dieter Vandenberghge. (2022). *Lambda-waarde van alle materialen*. Opgehaald van Website van Lambda: <https://www.lambda.be/nl/energie tips/lambda-waarde-van-alle-materialen>
- Drowa Isolatiechips. (2022). *De kruipruimte isoleren met bodemisolatie: alles wat je moet weten*. Opgehaald van Website van Drowa Isolatiechips: <https://www.drowa.nl/bodemisolatie/?nab=0>
- EETPower. (2022). *Photoresistors*. Opgehaald van Website van EETech Media: <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/photo-resistor/#>
- Feenstra. (2022). *Levensduur van een WTW*. Opgehaald van Website van Feenstra: <https://www.feenstra.com/ventilatie/over-warmte-terugwin->

installatie/#:~:text=De%20levensduur%20van%20een%20wtw,twee%20jaar%20te%20laten%20reinigen.

Feenstra Installatietechniek. (2022). *Cv-ketel CW5*. Opgehaald van Website van Feenstra installatietechniek: <https://www.feenstra.com/shop/cv-ketels/cw5.html>

Glasdiscount Webshop. (2022). *Dubbel Glas HR++*. Opgehaald van Webshop van Glasdiscount: <https://www.glasdiscount.nl/dubbel-glas-hr>

Honeywell . (2022). *Honeywell Home T9 Wi-Fi Smart Thermostat With RoomSmart Sensor*. Opgehaald van Webwinkel van Honeywell: <https://www.honeywellstore.com/store/products/honeywell-home-t9-wifi-smart-thermostat-with-sensor-rcht9610wfs2003.htm>

Honeywell. (2022). *honeywell home lyric t6 Slimme Thermostaat*. Opgehaald van Webshop van Coolblue: <https://www.coolblue.nl/product/822105/honeywell-home-lyric-t6-wit-bedraad.html>

Intergamma BV. (2022, April 15). *Bewegingsmelders en -sensoren*. Opgehaald van Webshop van Gamma: https://www.gamma.nl/assortiment/l/verlichting/buitenverlichting-tuinverlichting/bewegingsmelders-en-schemersensoren?f_binnen_buitengebruik=Binnen&fi_price_value=11%3A30&scrolltofacet=price_value&showFilters=true&scrolltofacet=price_value&showFilters=true

Isolatie.net. (2022). *Dakisolatie levensduur*. Opgehaald van Website van isolatie.net: <https://www.isolatie.net/levensduur-dakisolatie/>

Jacobs Douwe Egberts. (2022, April 7). *gebruikers handleiding Espressomachines Omni*. Opgehaald van Website van Jacobs Douwe Egberts: <https://www.jacobsdouweegbertsprofessional.nl/siteassets/koffiemachines/espressomachines/espresso-omni/espresso-omni---gebruikshandleiding-min.pdf>

KNMI. (2022, April 6). *Actuele bodemtemperaturen*. Opgehaald van Website van de koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/weer/actueel-weer/actuele-bodemtemperaturen>

KWA bedrijfsadviseurs. (2016). *Graaddagen en koeldag*. Opgehaald van Website van KWA bedrijfsadviseurs: <https://www.kwa.nl/diensten/graaddagen-en-koeldagen>

Lampdirect. (2022). *Noxion Avant Led buis*. Opgehaald van Webshop van Lampdirect: <https://www.lampdirect.nl/noxion-avant-led-buis-t8-standard-em-mains-standard-output-18w-1815lm-830-warm-wit-120cm-vervangt-36w-8719157011129>

Lightexpert.nl. (2022, April 15). *Bewegingssensor - Bewegingsmelder*. Opgehaald van Webshop van Lightexpert.nl: <https://www.lightexpert.nl/overig/bewegingssensor/?mode=grid&limit=24&sort=popular&max=30&min=0&brand=0&filter%5B%5D=553052>

Milieu Centraal. (2022). *Ventilatie in Huis*. Opgehaald van website van Milieucentraal: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/ventilatie/>

Ministerie van BZ en K. (2012). *Hoofdstuk 3. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van gezondheid*. Opgehaald van Rijksoverheid Bouwbesluit 2012: <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd3>

- Ministerie van BZK. (2012, Februari 1). *Bouwbesluit 2012*. Opgehaald van Website van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties:
https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012_nvt/artikelsgewijs/hfd3/afd3-6
- Ministerie van I en W. (2022). *Activiteitenbesluit en energiebesparing*. Opgehaald van Kenniscentrum InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/duurzaamheid-energie/energiebesparing/handreiking-erkende-maatregelen-energiebesparing/activiteitenbesluit-energiebesparing/>
- Ministerie van VROM. (2019, augustus 1). *Activiteitenregeling milieubeheer*. Opgehaald van Wettenbank: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0022830/2019-08-01#Bijlage10a>
- Nederlandse Vereniging van Journalisten. (2022). *Warmtegeleidingscoëfficiënt*. Opgehaald van Website van NVJ: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtegeleidingscoefficient.shtml>
- NEMO Kennislink. (2003). *Artikel; Fietsen is 5 keer zuiniger dan lopen*. Opgehaald van Website van NEMO: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/fietsen-5x-zuiniger-dan-lopen/>
- NEN. (2016). *Thermische Isolatie van Gebouwen, Rekenmethoden (NEN 1068)*. Delft: Nederlands normalisatie-instituut.
- Nivo Isolatiezorg. (2022). *Spouwmuurisolatie*. Opgehaald van Website van Nivo Isolatiezorg: <https://nivoisolatiezorg.nl/spouwmuurisolatie/>
- Osram. (2022). *Osram Dulux-D LED 6W 600lm - 830 Warm Wit | Vervangt 13W*. Opgehaald van Webshop van Lampdirect: <https://www.lampdirect.nl/osram-dulux-d-led-6w-600lm-830-warm-wit-vervangt-13w-4058075558106>
- Philips. (2022). *Philips Corepro PL-C LED 4.5W 475lm - 830 Warm Wit | Vervangt 13W*. Opgehaald van Webshop van Lampdirect: <https://www.lampdirect.nl/philips-corepro-pl-c-led-4-5w-475lm-830-warm-wit-vervangt-13w-8718696706596>
- Redactie Livios. (2021). *Isolatiematerialen: maak de juiste keuze*. Opgehaald van Website van Livios: <https://www.livios.be/nl/bouwinformatie/ruwbouw/isolatie/22900/isolatiematerialen-maak-de-juiste-keuze/>
- RVO. (2020). *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren*. Opgehaald van Website van Rijkdienst voor Ondernemend Nederland: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/03/Nederlandse-energiedragerlijst-versie-januari-2020.pdf>
- Sleiderink Bouwmaterialen. (2022). *Kennisbank, Isolatiewaarde*. Opgehaald van Website van Sleiderink Bouwmaterialen: <https://www.sleiderink.nl/kennisbank/isolatiewaarde>
- Solvari BV. (2022). *Warmtepomp-werking*. Opgehaald van Warmtepompenadvies: <https://warmtepompenadvies.be/warmtepomp-werking/>
- SunCircle. (2022). *De levensduur van zonwering*. Opgehaald van Website van Suncircle: <https://www.suncircle.nl/de-levensduur-van-zonwering-hoe-lang-gaat-het-mee/>
- Van Boxtel, R. (1995). *Handboek gevelisolatie*.

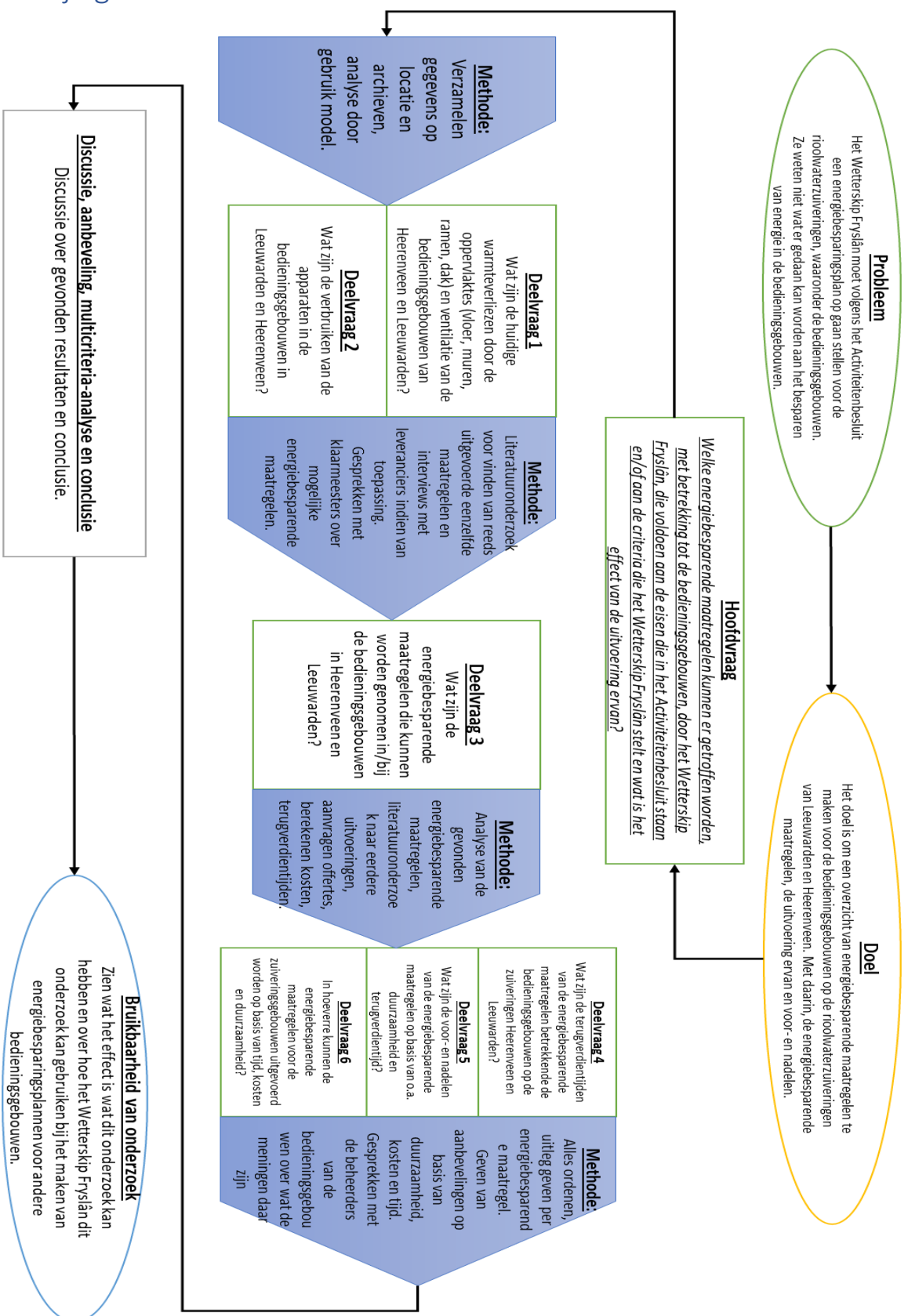
Van Reenen Glas. (2022). *Reenpane Isolatieglas*. Opgehaald van Van Reenen Glas:
<https://www.vanreenenglas.nl/isolatieglas/>

Ventilatieland. (2022). *WTW-unit warmteterugwinning*. Opgehaald van Webshop van Ventilatieland:
<https://www.ventilatieland.nl/wtw-unit-warmteterugwinning>

Zehnder Stork. (2022). *Zehnder Stork Comfoair Q600 WTW-unit*. Opgehaald van Webshop van Ventilatieland.nl: <https://www.ventilatieland.nl/artikel/17851/zehnder-stork-comfoair-q600-wtw-unit-nl-r-vv-st.html>

Zonnepanelen-weetjes. (2022). *Werking zonneboiler*. Opgehaald van Website van Zonnepanelen-weetjes: <https://www.zonnepanelen-weetjes.nl/zonneboiler/werking-zonneboiler/>

1 Bijlage 1



Figuur 1-1: Gedetailleerde onderzoek schema

2 Bijlage 2

2.1 Terugverdientijd

De terugverdientijd wordt berekend met de volgende Formule 2-1: (Ministerie van VROM, 2019):

$$TVT = \frac{(I + F)}{B}$$

Formule 2-1: Terugverdientijd

Waarin TVT: Terugverdientijd in jaren.

I: De investering in euro's

F: de kosten voor de financiering van de investering in euro's

B: de jaarlijkse kostenbesparing in euro's (€/jaar)

De kosten voor de financiering is inclusief de kosten die worden gemaakt voor eventueel onderhoud en huur (als er grond wordt gehuurd). De kostenbesparing gaat er van uit dat er geld wordt verdiend met het besparen op energie (in vorm van elektriciteit en aardgas). Wanneer er kosten worden bespaard op onderhoud in vergelijking met een vorige machine of methode, dan is dat terug te vinden in een lagere *F* (ofwel kosten voor financiering).

2.2 Isolatie en warmteverlies

Een van de manieren waarop energie bespaard kan worden is door het beperken van warmteverlies door de oppervlaktes van de gebouwen. In principe kan een gebouw worden beschouwd als een simpele kubus met 6 zijden die bestaan uit 4 muren, 1 vloer en 1 dak. In de muren kunnen ramen zitten die een andere warmtegeleidingscoëfficiënt kan hebben dan de muur zelf.

Om te beginnen met de formule voor een warmtestroom, te zien in Formule 2-2:

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

Formule 2-2: Warmtestroom (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

- Waarin ϕ de warmtestroom in Joules/seconde ofwel Watt is. (J/s, W).
- *Q* is de hoeveelheid thermische energie in Joules (J).
- *t* is de tijd in seconden (s).

Bij een warmtestroom door geleiding is er een temperatuurverschil wat de warmtestroom veroorzaakt. Energie gaat van een plek waar er een overschot is naar een plek waar er een tekort is, dit wil zeggen: er probeert zich een balans in te stellen. Bij een situatie met een huis in de winter, waar de buitentemperatuur 0 graden Celsius is en de binnentemperatuur is 20 graden Celsius is, zal de warmte van binnen naar buiten willen. Dit transport van energie in de vorm van warmte kan door oppervlaktes heen gaan, deze oppervlaktes vormen lagen die weerstand bieden aan het overdragen van energie. Hoe slechter het materiaal de energie geleid, hoe minder energie er zal stromen.

Hieraan kan de volgende formule worden gekoppeld, zie Formule 2-3:

$$\phi = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

Formule 2-3: Warmtestroom door geleiding (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

- Waarin ϕ de warmtestroom door geleiding (W).
- λ is de warmtegeleidingscoëfficiënt (in $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
- A is het oppervlak waar de warmtestroom doorheen gaat (m^2)
- ΔT is het temperatuurverschil $T_1 - T_2$ (K of $^{\circ}\text{C}$)
- d is de afstand die de warmtestroom in het materiaal aflegt (m)

Zoals te zien valt zorgt een lagere warmtegeleidingscoëfficiënt voor een lagere warmtestroom (en dus minder verlies), dit is het geval bij isolatiemateriaal die een lage warmtegeleidingscoëfficiënt hebben. Verder is de regel, hoe dikker het materiaal, des te minder vermogen er verloren gaat. (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

Om de warmteweerstand te definiëren met R_w kan er later gebruik van worden gemaakt om de complete formule simpeler te houden. De volgende formule wordt gebruikt voor het definiëren van de warmteweerstand, zie Formule 2-4:

$$R_w = \frac{d}{\lambda}$$

Formule 2-4: warmteweerstand van een soort materiaal (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

- R_w is in dit geval de warmteweerstand uitgedrukt in $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ en hoe groter dit getal, hoe beter de isolerende kwaliteit.
- d is de afstand die de warmtestroom aflegt in het materiaal in meters.
- λ is de warmtegeleidingscoëfficiënt in $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Hierdoor kan de oorspronkelijke formule zo geschreven worden, zie Formule 2-5:

$$\phi = \frac{1}{R_w} \cdot A \cdot \Delta T$$

Formule 2-5: Warmtestroom door geleiding, met warmteweerstand (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

De warmtestroom gaat ook door grenslagen die fungeren als extra warmteweerstand, dit kan bijvoorbeeld een grenslaag zijn tussen een wand en stilstaande lucht. Dit isoleert vrij goed waardoor deze ook in de berekening moet worden meegenomen wanneer de totale warmtestroom wordt berekend. Stilstaande lucht isoleert beter dan niet stilstaande lucht omdat: energie overgedragen

wordt doormiddel van bewegen en trillingen. Een lucht molecuul (die bestaat uit verschillende elementen) kan zijn trilling (en daarmee dus zijn energie) minder goed doorgeven aan het volgende lucht molecuul omdat deze beide door het gebrek aan verplaatsing minder vaak en minder goed in contact met elkaar komen.

Een voorbeeld hiervan is een ventilator, wanneer een mens in een kamer zit waarin geen luchtstroom plaatsvindt, dan zal de warmte die de mens afgeeft moeilijker worden afgegeven aan de omgeving. Als de ventilator een luchtstroom produceert, dan zullen de lucht moleculen de warmte beter kunnen afnemen van het mens, dit zorgt voor een afkoeling van de oppervlaktes van de mens in die luchtstroom.

Zie Formule 2-6:

$$\phi = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

Formule 2-6: Warmtestroom door een grenslaag (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

- Waarin α de warmteoverdrachtscoëfficiënt is in $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Hierin is de dikte van de grenslaag al verwerkt in de warmteoverdrachtscoëfficiënt. Deze valt te berekenen, maar voor de berekeningen in het model zullen er twee van tevoren bepaalde waardes worden gebruikt, die van stilstaande lucht en die van stromende lucht. Deze zijn gedefinieerd in NEN 1068 (NEN, 2016) als volgt:

- $\alpha_{\text{stilstaand, lucht}} = 7,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\alpha_{\text{stromend, lucht}} = 24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

De warmteweerstand van een grenslaag kan berekend worden met Formule 2-7:

$$R_w = \frac{1}{\alpha}$$

Formule 2-7: Warmteweerstand van een grenslaag (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

Als een warmtestroom door meerdere lagen gaat dan blijft die constant door alle lagen, het moet dus worden gezien als een geheel. Anders zou de warmte zich ergens ophopen, wat niet het geval is. Om de berekening eenvoudig te houden en alles in een keer te kunnen berekenen wordt de R_{totaal} gebruikt. Zie Formule 2-8:

$$\phi_{\text{tot}} = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \cdot A \cdot \Delta T = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Formule 2-8: Totaal formule van warmtestroom (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

De totale warmteweerstand kan berekend worden met de volgende Formule 2-9:

$$R_{tot} = \sum \left(\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right) = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3}$$

Formule 2-9: Berekening van de totale warmteweerstand (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

In de eindformule voor de totale warmtestroom wordt $1/R_{tot}$ ook wel geschreven als U . Met de volgende Formule 2-10:

$$U = \frac{1}{R_{totaal}}$$

Formule 2-10: Berekening van U-waarde (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

Formule 2-9 zou een voorbeeld zijn voor de warmteweerstand van een muur. Waarbij er dus 2 grenslagen zijn en de muur waar de warmte doorheen gaat. In Formule 2-9 kan de berekening voor de totale warmteweerstand van deze situatie gezien worden. In die formule gaat het door twee grenslagen, elke grenslaag heeft een eigen warmteweerstand die berekend wordt door $1/\alpha$, en de muur heeft ook een eigen warmteweerstand berekend met d/λ . Een voorbeeld hiervan staat in de bijlage.

2.2.1 Warmteverlies door ventilatie

Warmteverlies komt ook door het ventileren van een ruimte, dit zijn verliezen die altijd aanwezig zijn aangezien er een opgesteld minimum debiet is waarmee een ruimte geventileerd mee moet worden. Dit zijn verliezen die gepaard gaan in de winter doordat koude lucht naar binnen wordt gebracht en warme lucht naar buiten. In de zomer is er geen warmteverlies maar kan er wel meer energie gebruikt worden doordat een airco de lucht kouder moet maken terwijl het warme lucht gevoed krijgt. Dit staat in het bouwbesluit 2012 en die zegt dat er een minimale spuiventilatie moet zijn van 6 dm³/s per m² vloeroppervlak in dat gebied en in een ruimte moet het 1 dm³/s per m² vloeroppervlak zijn. (Ministerie van BZ en K, 2012).

De formule voor het berekenen van de warmteverliezen door ventilatie is te zien in Formule 2-11:

$$\phi_{vent} = \phi_v \cdot \rho_{lucht} \cdot c_p \cdot (T_{bi} - T_{bu})$$

Formule 2-11: Warmtestroom door ventilatie (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

- ϕ_{vent} de warmteverliezen door ventilatie is (in W).
- ϕ_v is het ventilatiedebiet (in m³/seconde).
- ρ is de dichtheid van de lucht (in kg/m³) (bij 20°C is dit 1,205 kg/m³).
- c_p is de soortelijke warmte van de lucht bij een constante druk (in Joule·kg⁻¹·K⁻¹) (bij 20°C is dit ongeveer 1005 J·kg⁻¹·K⁻¹).
- T_{bi} is de binnentemperatuur (in K of °C).
- T_{bu} is de buitentemperatuur (in K of °C).

Er zijn verschillende ventilatiemogelijkheden, zoals natuurlijke ventilatie waarbij er geen mechanische ventilatie aan te pas komt. Hierbij komt alle ventilatie door ramen, kieren en roosters, zowel toevoer als afvoer.

Bij natuurlijke toevoer en mechanische afvoer komt lucht binnen via ramen, kieren, roosters en andere ventilatieopeningen binnen en gaat via een mechanisch afzuigstelsel er weer uit. Hierbij moet gedacht worden aan afzuigkappen maar ook ventilators in badkamers en toiletten.

Als laatste kan er mechanische toevoer en afvoer zijn, hierbij vindt de ventilatie plaats met ventilatoren, zowel toevoer als afvoer. Bij deze vorm kan er warmte teruggewonnen worden door een warmtewisselaar/warmteterugwinsysteem te plaatsen. Ook is deze vorm onderhoudsgevoeliger omdat roosters en dergelijke schoon moeten worden gehouden om schimmel- en bacterievorming en de daarbij komende gezondheidsrisico's te reduceren.

Mechanische ventilatie heeft ook als voordeel dat het debiet goed regelbaar is en zoals te zien is in de formule van warmteverliezen door ventilatie zorgt het debiet voor een evenredige bijdrage aan de verliezen. (Milieu Centraal, 2022)

2.3 Berekenen gewogen graaddagen

Het aantal graaddagen is afhankelijk van de stookgrens (de temperatuurgrens waarbij er verwarmd moet worden als de buitentemperatuur er onder ligt). Om de stookgrens te berekenen wordt de volgende Formule 2-12 gebruikt,

$$T_{stook} = T_{binnen} - \frac{\sum P_{winsten} - (U_{vloer} \cdot A_{vloer}) \cdot (T_{binnen} - T_{bodem})}{U_{dak} \cdot A_{dak} + U_{muur} \cdot A_{muur} + U_{raam} \cdot A_{raam} + \phi_v \cdot \rho_{lucht} \cdot c_p}$$

Formule 2-12: Stookgrens temperatuur berekening (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

- T is de temperatuur (binnen, buiten en bodem) in Kelvin of graden Celsius.
- $P_{winsten}$ zijn de warmtewinsten afkomstig van de zon, apparaten en mensen, met als eenheid Watt.
- U is de Warmtedoorgangscoefficiënt in $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.
- A is de oppervlakte in m^2
- Φ_v is het ventilatiedebiet in $m^3/seconde$.
- ρ is de dichtheid van de lucht in kg/m^3 (bij $20^\circ C$ is dit $1,205 kg/m^3$).
- c_p is de soortelijke warmte van de lucht bij een constante druk in $Joule \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ (bij $20^\circ C$ is dit ongeveer $1005 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

Met de stookgrens berekend kan het aantal graaddagen worden berekend. Dit kan gedaan worden met de volgende

$$G = \sum_{i=1}^n (T_{stook} - T_{buiten_i})$$

Formule 2-13: berekening aantal graaddagen (KWA bedrijfsadviseurs, 2016) (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)

- G is het aantal graaddagen in K·d.
- T_{stook} is de stookgrens in K of $^\circ C$.
- T_{buiten_i} is de gemiddelde etmaaltemperatuur buiten op dag i in K of $^\circ C$.
- i is dagen met een gemiddelde buitentemperatuur beneden de stookgrens.
- n is het aantal dagen met een buitentemperatuur beneden de stookgrens.

Het aantal dagen met bijbehorende temperaturen staat in een Excelfile met temperaturen over een periode van 1987 tot 2016 afkomstig van (KWA bedrijfsadviseurs, 2016).

Het aantal gewogen graaddagen waarmee gerekend wordt, wordt berekend doormiddel van een factor keer de berekende graaddagen te doen. Voor de maanden november tot en met februari wordt er een factor 1,1 genomen. Voor de maanden maart en oktober wordt er gerekend met een factor 1. Voor de maanden april tot en met september wordt er gerekend met een factor 0,8. Met het aantal graaddagen wordt het aantal dagen dat gestookt wordt berekend en hiermee ook de hoeveelheid aardgas dat nodig is om het gebouw te verwarmen.

2.4 Parameters voor Warmteverlies model

Voor de modellen zijn enkele parameters ingevoerd, in Tabel 2-1 staan de vaste parameters die in elk model gebruikt worden.

Tabel 2-1: Vaste Parameters Warmteverlies model

Parameter	Hoeveelheid	Eenheid	Bron/uitleg
Aantal werkuren	2080	Uren per jaar	8 uren per werkdag, 5 dagen in de week
Dichtstbijzijnde KNMI-station	Leeuwarden		
Minimum buitentemperatuur	-15	Graden Celsius	(KWA bedrijfsadviseurs, 2016)
Binnentemperatuur	18 tot 21	Graden Celsius	Verschildt per locatie
Bodemtemperatuur	10	Graden Celsius	(KNMI, 2022)
Dichtheid lucht	1,20	Kg/m ³	(Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)
Soortelijke warmte lucht	1007	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	(Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013)
Stookwaarde gas	31,65	MJ/m ³	(RVO, 2020)
CO ₂ equivalent van Gronings aardgas	56,40	g/ CO ₂ -eq/MJ	(RVO, 2020)
CO ₂ equivalent van Nederlandse elektriciteitsmix	118,6	g/ CO ₂ -eq/MJ	(RVO, 2020)
Warmte door inval zon	25	Watt/raam	Dit verschilt per raam op basis van locatie en oriëntatie dus dit is een gemiddelde.
Warmte door mens	100	Watt/mens	(NEMO Kennislink, 2003)
Warmte door apparaten	400	Watt	Er wordt gerekend met 11 procent van het totale jaar elektriciteitsverbruik van een gemiddelde woning (doordat het elektriciteitsverbruik onbekend is) dat

			wordt omgezet in warmte.
--	--	--	--------------------------

Ook belangrijk zijn de gegevens van de materialen en de bronnen die daarbij horen. De volgende bronnen zijn daarvoor gebruikt:

- (Dieter Vandenberghge, 2022)
- (De isolatieshop, 2021)
- (Sleiderink Bouwmaterialen, 2022)
- (Nederlandse Vereniging van Journalisten, 2022)
- (Redactie Livios, 2021)
- (Van Boxtel, 1995)

In Tabel 2-2 staan de gegevens van de materialen. Doordat de warmtegeleidingscoëfficiënt verandert wanneer het materiaal vocht opneemt is er in het model gerekend met een procent vochtige toeslag. Harde kunststoffen nemen bijvoorbeeld geen vocht op en daardoor verandert de warmtegeleidingscoëfficiënt ook niet.

Tabel 2-2: Gegevens materialen

Categorie/Materiaal	Dichtheid	λ droog	λ vochtig toeslag	λ model
	($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	($\text{W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$)	(%)	($\text{W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$)
Pleisterlagen				
Cementmortel	1900	0,93	25	1,16
Kalkmortel	1600	0,7	30	0,91
Gipsmortel 1100	1100	0,37	30	0,48
Gipsmortel 1200	1200	0,445	30	0,58
Gipsmortel 1300	1300	0,52	30	0,68
Dispersie gebonden mortel	1100-1500	0,7	30	0,91
Isolerende mortel	200	0,08-0,11	25	0,12
Natuursteen				
Basalt	3000	3,5	25	4,4
Graniet	2650	3,5	25	4,4
Kalksteen zacht	2200-2350	1,4-1,7	25	2
Kalksteen hard	2550	2,2	25	2,9
Kalksteen marmer	2750	2,9	25	3,63
Zandsteen	2000-2650	2,0-4,0	25	3,75
Stenen				
Kalkzandsteen	2000	1,0-1,3	25	1,2875
A2 (Poriso)	1350	0,43	30	0,56
A3 (Isolatiesteent)	1000	0,3	35	0,41
B1 (Rood)	1300-1700	0,45-0,65	30	0,75
B2 (Boerengrauw)	1300-1700	0,45-0,65	30	0,85

B3 (Hardgrauw)	1700-1900	0,65-0,73	25	1
B4 (Gevelklinkers)	2100	0,80-0,90	25	1,3
Beton				
Verdicht gewapend	2500	1,9	25	2,38
Verdicht ongewapend	2400	1,7	25	2,13
Niet verdicht gewapend	2300	1,4	25	1,75
Niet verdicht gewapend_ongewapend	2200	1,3	25	1,63
Lichte betonsoorten	1300-1900	0,45-0,95	30-25	1,20
Lichte betonsoorten 1000	1000	0,35	35	0,47
Lichte betonsoorten 700	700	0,23	40	0,32
Lichte betonsoorten 500	500	0,17	40	0,24
Lichte betonsoorten 300	300	0,12	40	0,17
Lichte betonsoorten 200	200	0,08	40	0,11
Cellenbeton 1300	1300	0,5	30	0,9
Cellenbeton 1000	1000	0,35	35	0,6
Cellenbeton 700	700	0,23	40	0,28
Cellenbeton 400	400	0,15	40	0,2
Hoogovenslakkenbeton 1900	1900	0,7	25	1
Hoogovenslakkenbeton 1600	1600	0,45	30	0,7
Hoogovenslakkenbeton 1300	1300	0,3	30	0,45
Hoogovenslakkenbeton 1000	1000	0,23	35	0,35
Andere_anorg._materialen				
Gipskartonplaat	800-1400	0,21-0,46	40-30	0,45
Tegels				
Hardgebakken tegels	2000	1,2	25	1,3
Plavuizen	1700	0,8	30	1,1
Houtproducten				
Hardhout	800	0,17	20	0,2
Hardhout / Tri- en Multiplex	700	0,17	20	0,21
Naaldhout	550	0,14	20	0,17
Hardboard	1000	0,29	20	0,35
Houtwolcementplaat	350-700	0,09-0,21	25-20	0,2
Houtwolmagnesietplaat	400-500	0,10-0,12	20	0,15
Spaanplaat	600-1000	0,15-0,29	20	0,25
Harde_kunststoffen				
Polyesterplaat (glasvezel versterkt)	1200	0,2	0	0,2
Polyetheen	920-950	0,2	0	0,2
Polymethylacrylaat (PMMA, plexiglas)	1200	0,2	0	0,2
Polypropeen	900	0,2	0	0,2
ABS polymeren	1100	0,2	0	0,2
Polycarbonaat(PC, lexan)	1200	0,2	0	0,2
Dakbedekkingsmaterialen				
Bitumen				0,2
Leisteen				2,04
Dakpan (beton)	2100			1,5
Dakpan (keramisch)	2100			1,28
Minerale_isolatie				
Cellulair glas	105-165	0,036-0,060	0	0,05

Minerale wol (deken)	15-21	0,036-0,041	5	0,04
Minerale wol (platen)	16-250	0,034-0,036	5	0,037
Kunststofschuim isolatie				
Polystyreenschuim geëxpandeerd (EPS)	15-40	0,035	0	0,033
Polystyreenschuim geëxtrudeerd (XPS)	35-40	0,027	0	0,03
Drowa Isolatie chips			0	0,068
Polyurethaan (PUR)	30-60	0,026-0,035	0	0,028
Polyisocyanuraatschuim (PIR)	30-60	0,026-0,035	0	0,027
Polyvinylchlorideschuim (PVC-schuim)	25-50	0,035	0	0,035
Resolschuim	38-50	0,015-0,018	0	0,023
Plantelijk en dierlijk isolatiemateriaal				
Vlas		0,038		0,038
Hennep		0,038 à 0,042		0,04
Papiervlokken		0,035 à 0,040		0,038
Houtvezel		0,037 à 0,040		0,039
Kokosvezel		0,04		0,04
Katoen		0,042		0,042
Kurk		0,038 à 0,040		0,039
Schapenwol		0,035 à 0,040		0,038
Stro		0,056		0,056

In het model zijn de gebouwen verdeeld in 4 delen, personeelsgedeelte Leeuwarden, Bezoekerscentrum Leeuwarden, eerste verdieping Heerenveen en begane grond Heerenveen. In onderstaande tabellen zijn de materialen en diktes van de verschillende bouwschillen te vinden.

Tabel 2-3: Materialen bouwschil bezoekerscentrum

Onderdeel	Dikte (meters)	Materiaal
Muur		
Laag 1	0,10	A2 porisosteent
Laag 2	0,08	Minerale wol (platen)
Laag 3	0,10	A2 porisosteent
Dak		
Laag 1	0,04	Bitumen
Laag 2	0,03	PIR-schuim
Laag 3	0,2	Cellenbeton 700
Ramen	0,02	Dubbelglas
Vloer		
Laag 1	0,25	Verdicht gewapend beton
Laag 2	0,10	Polystyreenschuim geëxpandeerd (EPS)

Tabel 2-4: Materialen bouwschil personeelsgedeelte Leeuwarden

Onderdeel	Dikte (meters)	Materiaal
Muur		
Laag 1	0,11	A2 porisosteent
Laag 2	0,00	

Laag 3	0,11	A2 porisosteent
Dak		
Laag 1	0,04	Bitumen
Laag 2	0,13	Lichte betonsoorten 700
Laag 3	0,05	PIR Schuim
Ramen	0,02	Dubbelglas
Vloer		
Laag 1	0,03	Plavuizen
Laag 2	0,20	Verdicht gewapend beton
Laag 3	0,05	Polystyreenschuim geëxpandeerd (EPS)

Tabel 2-5: Materialen begane grond Heerenveen

Onderdeel	Dikte (meters)	Materiaal
Muur		
Laag 1	0,10	A2 porisosteent
Laag 2	0,25	Verdicht gewapend beton
Laag 3	0,10	A2 porisosteent
Dak		
Laag 1		
Laag 2		
Laag 3		
Ramen		HR++ glas <1,2)
Vloer		
Laag 1	0,03	Plavuizen
Laag 2	0,002	Cementmortel
Laag 3	0,30	Verdicht gewapend beton

Tabel 2-6: Materialen eerste verdieping Heerenveen

Onderdeel	Dikte (meters)	Materiaal
Muur		
Laag 1	0,10	A2 porisosteent
Laag 2	0,10	Minerale wol (dekens)
Laag 3	0,10	A2 porisosteent
Dak		
Laag 1	0,004	Bitumen
Laag 2	0,30	Cellenbeton 700
Laag 3		
Ramen		HR++ glas <1,2)
Vloer		
Laag 1	0,01	Plavuizen
Laag 2	0,01	Cementmortel
Laag 3	0,30	Verdicht gewapend beton

2.5 Elektriciteitsverbruik model

In Tabel 2-7 zijn de geschatte verbruiken te vinden voor het bedieningsgebouw van de rioolwaterzuivering in Leeuwarden. Het totale verbruik komt uit op 19337 kWh per jaar met een kostenplaatje van €2900,- per jaar.

Tabel 2-7: Elektriciteitsverbruik Leeuwarden

Apparaat	Aantal	Vermogen kW	Vermogen stand-by kW	Uren in bedrijf h/jaar	Uren stand-by h/jaar	Verbruik kWh/jaar
Denon Professional (audio-installatie)	1	0,015	0	624	0	9,36
Denon (audio-installatie)	1	0,024	0	624	0	14,976
Audio-installatie onderdeel	2	0,0072	0	624	0	8,9856
Dell 1703FP (monitor)	1	0,055	0,003	624	0	34,32
Philips tornado T2 (lamp)	41	0,02	0	1248	0	1023,36
Daikin ventilatie	1	4,4	0	375	0	1650
Tiptel telefoon	1	0,005	0,000625	10	8750	5,51875
Omniline koffiezetapparaat	1	2,3	2	156	173	705
Miele M616G (magnetron)	1	2,2	0	26	0	57,2
Miele kookplaat Ceran	1	3,9	0	39	0	152,1
Koelkast	1	0,032078	0	8760	0	281
Afzuigkap Miele	1	0,15	0	39	0	5,85
Noodverlichting	2	0,003	0	8760	0	52,56
Netlinx M3100 (wifi-router)	1	0,0108	0	8760	0	94,608
Noodverlichting	5	0,003	0	8760	0	131,4
Osram Deluxe D lamp	34	0,026	0	624	0	551,616
Noodverlichting	5	0,003	0	8760	0	131,4
Portofoonlader	3	0,0024	0	130	0	0,936
Portofoonlader	2	0,015	0	130	0	3,9
Lampen	6	0,02	0	1040	0	124,8
Dell Beeldschermen	5	0,018	0,0003	416	0	37,44
Fujitsu DC Inverter	1	3	0	250	0	750
Kopieerapparaat C330i	1	1,5	0,053	52	0	78
Bumptest	1	0,015	0	8760	0	131,4
Lamp	8	0,038	0	46,7	0	14,1968
Portofoonlader	2	0,0028	0	130	0	0,728
Scherm	12	0,018	0,0003	577,777	288,88	125,84
Serverkast	1	0,326	0	8760	0	2855,76
Kenwood KT56L	1	0,08	0	2080	0	166,4
Lamp (LED-paneel)	12	0,038	0	780	0	355,68
Fujitsu Diverter	3	3	0	250	0	2250
Koelkast (Bosch)	1	0,05	0	8760	0	438
Radio	1	0,01	0	2080	0	20,8
Zuurkast/afzuigkap	1	0,25	0	52	0	13

Moisture analyzer Metley toledo	4	0,45	0	52	0	93,6
DR 2800	1	0,2	0	52	0	10,4
Lampen	15	0,038	0	988	0	563,16
Animo aromatic koffiezetapparaat	1	3,55	0	195	0	692,25
Panini-apparaat Tefal	1	0,208	0	4,3333	0	0,90133
Zanussi Oven	1	3	0	13	0	39
Zanussi Koelkast	1	0,032078	0	8760	0	281
NEC beeldscherm	1	0,2	0,002	25	0	5
Lasapparaat	1	14	0	12	0	168
Slijptol	1	0,3	0	12	0	3,6
Elektrische garagedeur	1	0,35	0	12	0	4,2
Afzuigkap	1	2,4	0	12	0	28,8
TL-buizen	12	0,02	0	12	0	2,88
Noodverlichting	2	0,003	0	8760	0	52,56
TI-buizen	12	0,058	0	30	0	20,88
Lamp	3	0,038	0	30	0	3,42
Hr-ketels	4	0,15	0,01	4658	4102	2958,88
TI-buizen	4	0,036	0	0	0	0
Droogstoof	1	1,8	0	0	0	0
Dell Hub	8	0,13	0	650	0	676
Luchtbehandelingskast	1	0,7	0	2080	0	1456

In Tabel 2-8 is het geschatte elektriciteitsverbruik voor het bedieningsgebouw van de rioolwaterzuivering in Heerenveen te zien. Het totale verbruik komt uit op 10075 kWh per jaar ofwel €1511,- per jaar.

Tabel 2-8: Elektriciteitsverbruik Heerenveen

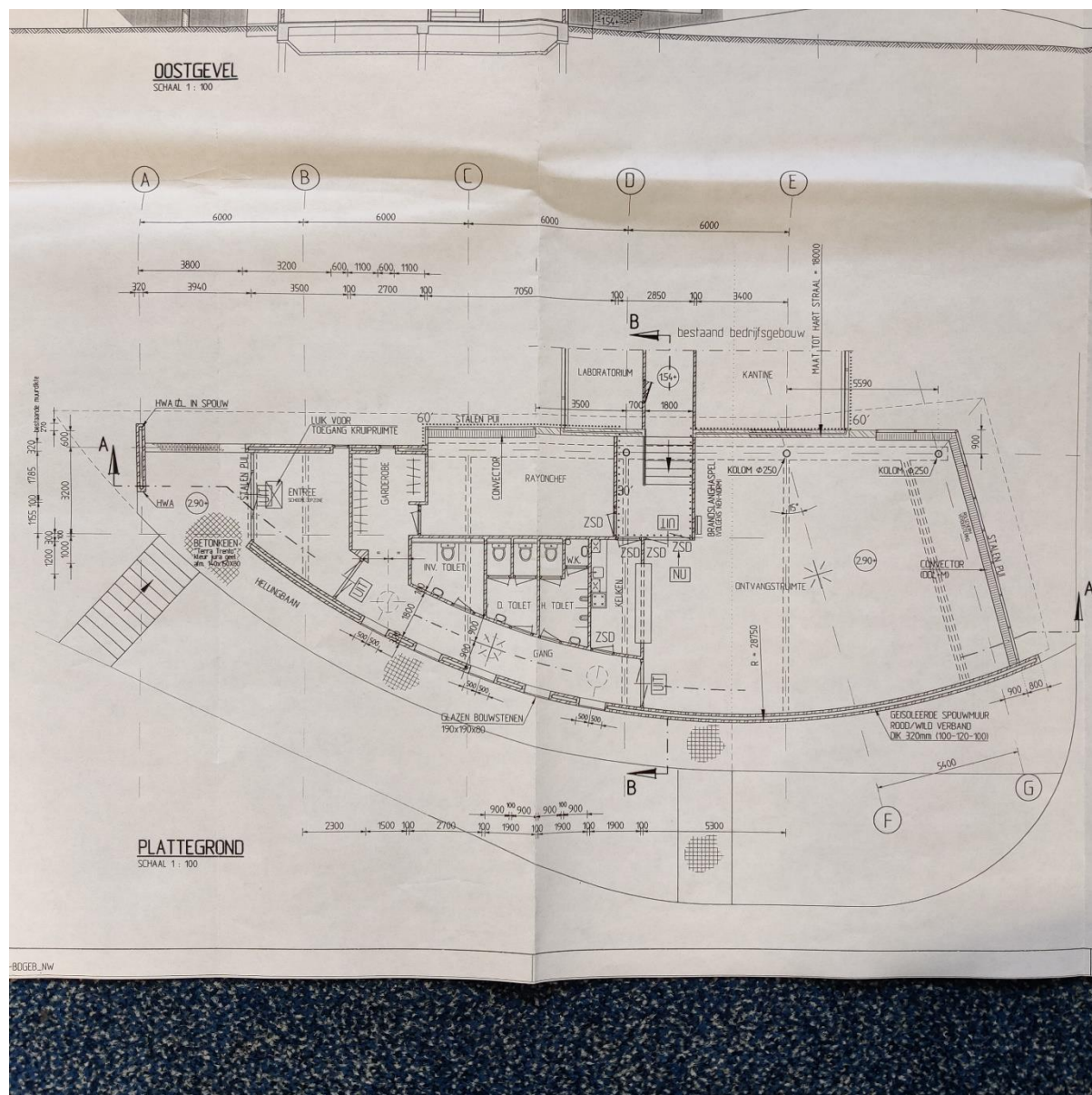
Apparaat	Aantal	Vermogen (kW)	Vermogen stand-by (kW)	Uren in bedrijf (h/jaar)	Uren stand-by (h/jaar)	Verbruik (kWh/jaar)
TI-buis	14	0,036	0	312	0	157,248
Dell Hub (voor laptop)	1	0,13	0	300	0	39
Dell monitor	2	0,018	0,0003	200	100	7,26
Siemens Telefoon	1	0,004375	0	8760	0	38,325
Zonnewering	1	0,1	0	6,666667	0	0,666667
Sharp, digitaal bord	1	0,115	0,0005	1	0	0,115
TI-buis	14	0,036	0	1040	0	524,16
Noodverlichting	2	0,003	0	8760	0	52,56
C330i, printer	1	1,5	0,053	104	0	156
DR 2800, spectrofotometer	1	0,2	0	52	0	10,4
Zuurkast/afzuiging	1	0,25	0	520	0	130
MT HC103 moisture analyzer	2	0,45	0	520	0	468
Koelkast	1	0,0131	0	8760	0	115
Philips RH 752 (radio)	1	0,15	0,03	0	8760	262,8

Vaatwasser	1	1,7	0	156	0	265,2
Whirlpool M591 easytime magnetron	1	1,6	0	10	0	16
Waterkoker	1	2,2	0	43,33333	0	95,33333
Paniniapparaat	1	0,7	0	65	0	45,5
Bravilor Bonamat koffiezetapparaat	1	2,14	0	85,8	0	183,612
Kookplaat	1	3,5	0	0	0	0
Koelkast	1	0,0131	0	8760	0	115
TI-buis	12	0,036	0	2080	0	898,56
Noodverlichting	1	0,003	0	8760	0	26,28
Dell monitor	3	0,018	0,0003	1040	1040	57,096
Dell hub	2	0,13	0	1040	0	270,4
SC1000 Hach Lange meter	1	0,15	0	8760	0	1314
Brother Ptouch D600 label-printer	1	0,009	0	1	0	0,009
Siemens Telefoon	1	0,004375	0	8760	0	38,325
TI-buis	4	0,036	0	2080	0	299,52
Zonnewering	1	0,1	0	6,666667	0	0,666667
Dell monitor	2	0,018	0,0003	780	1300	28,86
Philips radio	1	0,023	0	100	0	2,3
Siemens Telefoon	1	0,004375	0	8760	0	38,325
Stekkerdoos oplader	1	3,5	0	150	0	525
Plafondlamp	4	0,01	0	173	0	6,92
TI-buis (led)	2	0,038	0	173	0	13,148
Plafondlamp (rond)	2	0,01	0	173	0	3,46
Portofoon lader	3	0,003	0	260	0	2,34
Zaklamp lader	1	0,03	0	50	0	1,5
TI-buis (led)	4	0,01	0	30	0	1,2
TI-buis (led)	4	0,01	0	30	0	1,2
Compressor	1	2,2	0	4	0	8,8
Wasmachine	1	2,2	0	104	0	228,8
Waeco Koelbox	1	0,064	0	8760	0	560,64
Hogedrukspuit (karcher)	1	7,8	0	52	0	405,6
Philips Ecoclassic (lamp)	1	0,042	0	4,333333	0	0,182
Stofzuiger	1	3	0	26	0	78
Slijptol	1	0,5	0	52	0	26
Boor	1	3,68	0,0069	52	0	191,36
Slijpmachine Bosch	1	2,3	0	52	0	119,6
Slijpmachine Hatachi G1350	1	0,8	0	52	0	41,6
Radio	1	0,2	0	52	0	10,4
Ventilator gebouw	1	1,94	0	1040	0	2017,6
Ketel gebouw	1	0,072	0,004	2080	6680	176,48

3 Bijlage 3, Plattegronden Bedieningsgebouwen

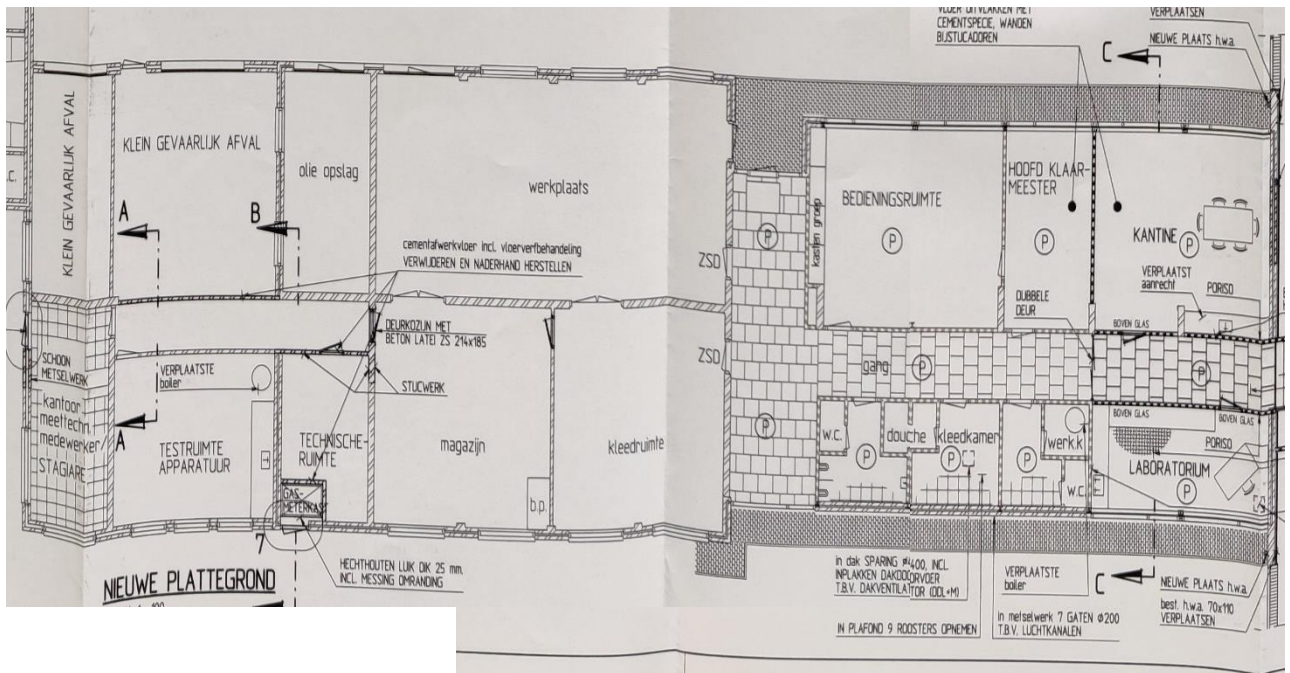
3.1 Plattegrond Rioolwaterzuivering Leeuwarden

Om een beeld te krijgen bij de indeling van het bedienings- en bezoekersgebouw op de RWZI van Leeuwarden zijn de volgende figuren in dit verslag geplaatst. In Figuur 3-1 is het bezoekerscentrum van de RWZI van Leeuwarden te zien. Hierbij staan ook afmetingen en gebruikte materialen.



Figuur 3-1: Plattegrond bezoekerscentrum Leeuwarden

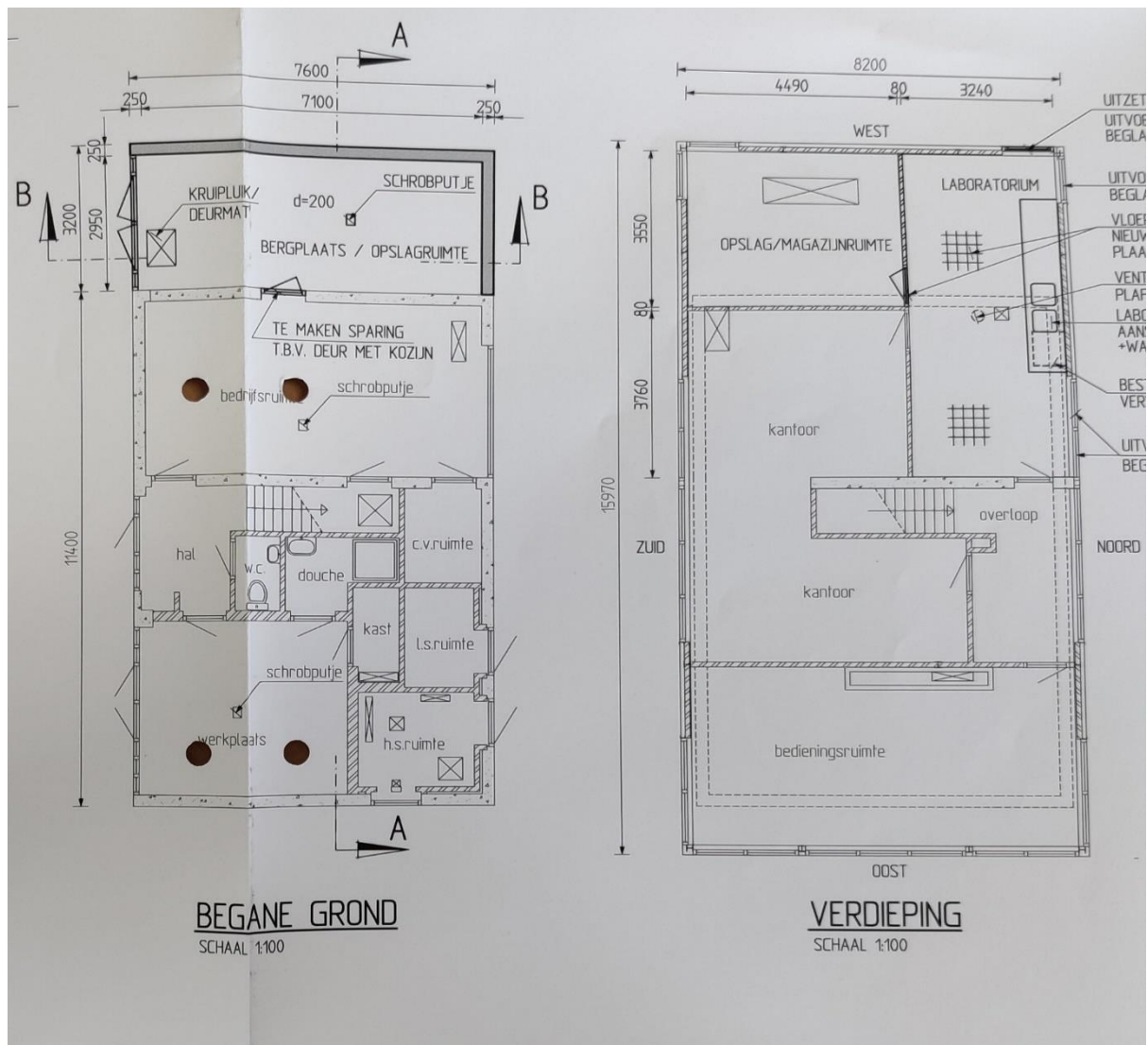
In Figuur 3-2 is de plattegrond van het personeelsgedeelte van de RWZI van Leeuwarden te zien. In dit gedeelte werken de medewerkers van de RWZI, nemen ze pauze en het wordt gebruikt als opslag.



Figuur 3-2: Plattegrond personeelsgedeelte Leeuwarden

3.2 Plattegrond Heerenveen

In Figuur 3-3 staat de plattegrond van de begane grond en eerste verdieping van het bedieningsgebouw op de RWZI van Heerenveen. De medewerkers zijn vooral op de eerste verdieping aan het werk.



Figuur 3-3: Plattegrond Heerenveen, begane grond en eerste verdieping

4 Bijlage 4

In 4.1 zal de slimme thermostaat worden besproken. Dat is ook de enige situatie waarin er van uit wordt gegaan dat er gestookt wordt wanneer er geen mensen aanwezig zijn. De referentie situatie als het gaat om warmteverliezen is de situatie waarin er alleen verwarmd wordt wanneer het personeel aanwezig is. Met deze situatie worden de besparingen berekend tenzij anders aangegeven staat.

Voor het elektriciteitsverbruik is de referentiesituatie een ingeschatte situatie waarin het piekvermogen van de apparaten wordt gebruikt en de uren die de apparaten in bedrijf zijn worden geschat doormiddel van gesprekken met het personeel en aannames die worden uitgelegd. Voor de referentiesituatie in Leeuwarden is het verwarmingsprogramma van de boiler van het koffiezetapparaat al aangepast. Hierdoor wordt er al een deel bespaart.

4.1 Slimme thermostaat

4.1.1 Werking slimme thermostaat

Een slimme thermostaat is een apparaat dat de verwarming automatisch regelt in een gebouw. Dit kan gedaan worden doormiddel van een vooraf ingesteld programma of via een app op de telefoon. Hierdoor zal het totale aardgasverbruik voor het verwarmen dalen en wordt daarmee dus geld bespaard. Een voorbeeld van een slimme thermostaat is de Honeywell Home T9, deze thermostaat kan via de telefoon geregeld worden, via de wifi en kan een week instelling hebben voor elke dag. Verder heeft deze een kamersensor waarin het kan detecteren welke kamer er gebruikt wordt. (Honeywell, 2022). Om voor maximale besparing te zorgen moeten de kamers dan wel gesloten zijn, dat zijn de kamers in de bedieningsgebouwen doorgaans niet. In Heerenveen wordt er al gebruik gemaakt van een thermostaat met programma, in Leeuwarden is dit niet zeker en daardoor kan er in het weekend wanneer er niemand aanwezig is onnodig worden gestookt. Als er naar de gaslevering wordt gekeken, dan valt op dat er over een jaar op alle hele uren minstens 70 keer wordt gestookt. Er blijkt dus geen goede regeling te zijn en hierdoor wordt er onnodig gestookt.

4.1.2 Besparing en terugverdientijd slimme thermostaat

In de huidige situatie is het geval dat er in Leeuwarden in elke kamer 7 dagen in de week op schijnbaar willekeurige momenten gas naar de ketels gaat. Hierdoor is het huidige gasverbruik $24.287,0 \text{ m}^3$ per jaar, het gasverbruik van alleen het bedieningsgebouw wordt geschat op 17.000 m^3 . Als er ingesteld wordt dat er 5 dagen in de week 15 uur per dag in totaal wordt verwarmd dan zal het gasverbruik door alleen de warmteverliezen dalen naar 8780 m^3 . Ofwel een reductie van 55% en scheelt bij de huidige situatie dus 8220 m^3 aan aardgas. De jaarlijkse besparing van €8220,- is genoeg om binnen 1 jaar de slimme thermostaat terug te verdienen. Een voorbeeld voor een slimme thermostaat kost rond de €500,-, bij deze thermostaat zitten ook radiatorknoppen die de radiator automatisch warmer of kouder kunnen zetten op basis van de gemeten kamertemperatuur. De prijsrange op Coolblue ten tijde van 10 april 2022 voor een slimme thermostaat die zelf geïnstalleerd wordt ligt tussen de €100,- en €600,- (Coolblue, 2022).

In het geval dat de ketels wel ingesteld kunnen worden op een verwarmingsprogramma waarin er 's nachts niet wordt gestookt dan is er geen slimme thermostaat nodig en is de terugverdientijd ook niet van toepassing.

4.1.3 Uitvoering slimme thermostaat

Er zijn verschillende uitvoeringen van slimme thermostaten, er moet als eerst gekeken worden of de ketels die aanwezig zijn geprogrammeerd kunnen worden op de thermostaat die aangeschaft is. Er vindt geen hinder plaats voor de werkzaamheden van de medewerkers van de zuivering. Ook kan een slimme thermostaat binnen een dag of twee dagen geplaatst en geprogrammeerd worden. De garantie verschilt per fabrikant, zo heeft de Honeywell Home Lyric T6 2 jaar fabrieksgarantie (Honeywell, 2022). De technische levensduur is langer dan 10 jaar.

4.1.4 Voor- en nadelen slimme thermostaat

Voordelen:

- Korte installatieduur.
- Geen hinder.
- Korte terugverdientijd.
- Deels gemaakt van duurzame materialen (verschilt per fabrikant).

Nadelen:

- Geen nadelen.

4.2 Licht- en bewegingssensor

4.2.1 Werking bewegingssensor

Een lichtsensor zorgt ervoor dat verlichting automatisch aan of uit gaat op basis van lichtniveau. Een lichtgevoelige weerstand (LDR) reageert op het lichtniveau ofwel de fotonen, deze hebben een bepaalde energie waardoor elektronen in de lichtgevoelige weerstand van de valentieband naar de geleidingsband te springen. Hierdoor draagt dit vrije elektron bij aan een verlaging van de weerstand en zal de stroom het pad kiezen van de minste weerstand (Bouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013). Een stroomschema staat in bijlage 6.

Als een lichtsensor geïmplementeerd wordt kan er elektriciteit bespaard worden wanneer het voorkomt dat lampen onnodig aan staan. Dus bijvoorbeeld overdag bij voldoende zonlicht wanneer er niemand aanwezig is.

Een andere optie is het installeren van een bewegingssensor, deze kunnen werken doormiddel van passief infrarood. De bewegingssensors detecteren hierdoor een verschil in infraroodstraling, deze straling wordt uitgestraald door mensen. Een bewegingssensor zorgt voor een besparing van energie in ruimtes waarin er niet constant gewerkt wordt. Het zorgt ervoor dat de verlichting alleen aan gaat wanneer er daadwerkelijk iemand aanwezig is.

4.2.2 Besparing en terugverdientijd bewegingssensor

Heerenveen: Het basisverbruik van de huidige verlichting die niet is aangesloten op een bewegingssensor is geschat op: 1879 kWh. Dit is op basis van waarnemingen gedaan tijdens de bezoeken waarbij de verlichting op de bovenste verdieping aanstond overdag terwijl er niemand

aanwezig was. De besparing komt van het uitgaan van de lichten als niemand aanwezig is. Ook kan ervoor gekozen worden om de verlichting op een timer te zetten waardoor deze op een specifieke tijd aan en weer uitgaat.

Als er gekozen wordt voor het installeren van een bewegingssensor moet er geschat worden hoeveel elektriciteit het bespaard. Het exact uitrekenen van dit gegeven is niet mogelijk aangezien er willekeur aanwezig is in het aantal keer dat de bewegingssensor beweging detecteert en de verlichting aan doet. De redenering van het aantal huidige en toekomstige branduren is te zien in Tabel 4-1. Er wordt van uitgegaan dat deze sensoren op een bepaald lichtniveau en dat ze reageren op beweging wanneer het lichtniveau van de omgeving niet hoog genoeg is.

Tabel 4-1: Branduren verlichting Heerenveen huidige situatie en nieuwe situatie

Soort Lamp, locatie	Huidige branduren	Uitleg over huidige branduren	Nieuwe branduren	Uitleg over nieuwe branduren
TI-buis, Kantoor	312	Omdat de zon vol op de ramen van het kantoor staan is het er goed verlicht. Er wordt geschat dat het licht gemiddeld 6 uur per week aan staat.	208	Het aantal branduren zal dalen naar gemiddeld 4 uur per week, vanwege de pauzes die genomen worden en andere taken die gedaan moeten worden buiten die kamer.
TI-buis overloop en laboratorium	1040	De verlichting in het laboratorium en op de overloop stonden tijdens de bezoeken altijd aan, na navraag aan de klaarmeester is ervan uitgegaan dat de verlichting in de zomer minder aan staat. Daarom is ervoor gekozen om uit te gaan dat de verlichting elke werkdag een halve werkdag aanstaat gedurende het jaar.	260	Er wordt van uitgegaan dat er op het lab, 5 uur in de week actief iemand aanwezig is. De lampen op de overloop zullen ook minder aan hoeven te staan omdat het gebruikt wordt als gangpad.
TI-buis, bedieningsruimte	2080	Er wordt ervan uitgegaan dat de verlichting in de bedieningskamer niet uit wordt gedaan.	780	Omdat de bedieningskamer vooral gebruikt wordt als kantine. Wordt er geschat dat deze 3 uur per werkdag gebruikt wordt.
TI-buis vergaderruimte	2080	Deze ruimte wordt gebruikt als	1560	Er wordt geschat dat deze ruimte 6 uur per werkdag

		kantoor voor de klaarmeester en daarom wordt er geschat dat de verlichting altijd aan staat gedurende de hele werkdag.		actief gebruikt wordt. Een volle werkdag minus de pauzes.
Led-paneel Hal	173	Deze verlichting is al op bewegingssensor. Er wordt ervan uitgegaan dat de verlichting 2 minuten aan staat 20 keer op een werkdag.	173	Geen verandering.
Plafondlampen, WC/douche	173	Deze verlichting is al op bewegingssensor. Er wordt ervan uitgegaan dat de verlichting 2 minuten aan staat 20 keer op een werkdag.	173	Geen verandering.
Led Tl-buis, bergplaats	30	De bergplaats wordt natuurlijk verlicht naast de aanwezige Tl-buizen, daardoor wordt er geschat dat deze alleen aan staan in de winter als het te donker is.	30	Geen verandering.
Led Tl-buizen, Bedrijfsruimte	30	Deze staan alleen aan in de winter als het te donker is om gebruik te maken van licht die door ramen naar binnen komt, tevens wordt deze kamer gebruikt als opslagplaats voor machines.	30	Geen verandering.
Philips Ecoclassic, Opslagkast	4,3	De kast wordt gebruikt als opslag, er wordt geschat dat het licht	4,3	Geen verandering.

		maximaal 5 minuten per week aan staat.		
--	--	--	--	--

De geschatte besparing is 1082 branduren en dit komt zonder vervanging van verlichting uit op een besparing van €162,- per jaar. Om deze energiebesparende maatregel binnen 5 jaar terug te verdienen mag de energiebesparende maatregel niet meer dan €810,- kosten. Een indicatierange van de kostprijs van bewegingssensors zit tussen de €10 en €30, dit zijn prijzen die worden aangeboden op webshops van bouw winkels zoals (Intergamma BV, 2022) en lichtspecialisten zoals (Lightexpert.nl, 2022). Omdat er 4 ruimtes zijn waarin een bewegingssensor moet worden geplaatst zal het tussen de €40, en €120, kosten. Dit wordt dus binnen 1 jaar terugverdiend en bedraagt bij aan een besparing van 10,7% in vergelijking tot de referentiesituatie.

Leeuwarden: Het basisverbruik van de huidige verlichting die niet is aangesloten op een bewegingssensor is geschat op: 2538 kWh Dit is op basis van waarnemingen die gedaan zijn tijdens bezoeken en overleg met de klaarmeesters. De besparing komt wederom van het voorkomen van onnodig branden van de verlichting. In de standardsituatie worden de branduren ingeschat, in Tabel 4-2 is het aantal branduren te zien samen met de uitleg voor de schatting van de branduren.

Tabel 4-2: Branduren verlichting Leeuwarden

Soort Lamp, locatie en branduren	Huidige branduren	Uitleg over huidige branduren	Nieuwe branduren	Uitleg over nieuwe branduren
Philips tornado T2 Ontvangstruimte	1248	Omdat de zon vol op de ramen van het bezoekerscentrum staan worden de gordijnen dichtgedaan en de lampen aan. Daardoor wordt er geschat dat de lampen 8 uren aan staan per dag dat het bezoekerscentrum gebruikt wordt (3 keer in de week).	780	De besparing in de ontvangstruimte zal komen wanneer er tussen bezoeken in geen mensen aanwezig zijn en als er een rondleiding wordt gedaan zodat er wederom geen mensen in de ruimte aanwezig zijn. Daarom wordt er geschat dat het aantal branduren zakt naar 5 uur per dag dat het bezoekerscentrum gebruikt wordt.
Osram Deluxe D, WC en hal bezoekerscentrum	624	Omdat er lichtkoepels in het dak zijn geïnstalleerd wordt er geschat dat de verlichting maar 4 uur aan staat per dag dat het bezoekerscentrum gebruikt wordt.	312	De besparing in de hal en wc's komt doordat de verlichting niet aan blijft staan wanneer iedereen in de ontvangstruimte is. Het aantal branduren wordt ingeschat op 2 uur per dag dat het bezoekerscentrum gebruikt wordt.

Philips lampen, Rayonchef	1040	Er wordt ervan uitgegaan dat de verlichting de helft van de tijd aan staat van het totaal aantal werkuren. Dit komt doordat de zon niet op deze kamer staat en het daardoor in de winter lang donker kan blijven.	520	De besparing bij de rayonchef zal komen van het uitgaan van de lichten wanneer er pauze wordt genomen of wanneer het personeel een bepaalde tijd buiten de kamer is. Ook zal de werking op lichtniveau ervoor zorgen dat de verlichting niet aan slaat wanneer het al licht genoeg is. Het aantal branduren wordt ingeschat op 2 uur per werkdag.
Ledpanelen, Hal	46,7	Omdat de hal gebruikt wordt als passage en het voor een deel verlicht wordt door een raam op de noordzijde is het aantal branduren laag. Voor deze lampen wordt ervan uitgegaan dat de medewerkers de lampen alleen aandoen wanneer de zon nog niet op is tijdens hun werkuren.	46,7	Geen verandering.
Ledpanelen, bediening, kantine	780	De verlichting in de kantine wordt alleen gebruikt wanneer het vroeg in de ochtend is en wanneer er mensen in de kantine zitten. De verlichting bij de bedieningskamers staat vaker aan dan de verlichting in de kantine en wordt ook aangezet wanneer het niet nodig is of als er geen mensen zijn. Daarom is er geschat dat de	390	De besparing bij de kantine en bedieningskamers zal komen van het uitgaan van de lichten wanneer het personeel de kamers niet gebruikt. Er wordt geschat dat de verlichting 1,5 uur aan staat in plaats van 3.

		verlichting gemiddeld over een heel jaar, 3 uren per werkdag aanstaan.		
Ledpanelen, Laboratorium/WC	988	De verlichting bij de wc wordt alleen aangedaan wanneer er mensen naar de wc gaan, de verlichting op het lab staat altijd aan. Er wordt geschat dat de verlichting in de wc's 1 uur per werkdag aan staan en dat lampen op het lab alle werkdagen de hele dag aanstaan.	468	De besparing bij het laboratorium en wc's is volledig afkomstig van de verlichting van het laboratorium, de verlichting van het laboratorium staat in de nieuwe situatie alleen aan wanneer er mensen aanwezig zijn. Volgens de klaarmeester is dit rond de 3 uur per dag. In de wc's wordt het licht al alleen aangedaan wanneer er mensen zijn.
TI-buizen, werkplaats	12	De werkplaats wordt 1 uur in de maand gebruikt volgens de klaarmeester en daardoor wordt er geschat dat de TI-verlichting ook 1 uur in de maand aanstaat.	12	Geen verandering.
TI-buizen, kleedruimte, voorraad, techniek	30	In het dak zitten lichtkoepels en er valt licht door de ramen, daardoor is er alleen verlichting nodig wanneer het buiten ook donker is. Daarnaast worden deze kamers niet als verblijfruimtes gebruikt en is het personeel alleen in deze kamers wanneer deze om moeten kleden.	30	Geen verandering.
Lamp, Archief	30	Het archief wordt niet actief gebruikt als kamer om in te	30	Geen verandering.

		verblijven en omdat het raam voor voldoende verlichting zorgt wanneer er iets uit de archieven moet worden gehaald is er geschat dat de verlichting alleen gebruikt wordt wanneer er gezocht moet worden om een document.		
TI-buizen, laboratorium stagiair	0	Het lab wordt niet gebruikt en daarom wordt de verlichting ook niet gebruikt.	0	Geen verandering.

De totale besparing komt dan uit op 1196,2 kWh ofwel €179,43 per jaar en bespaart 6,2% in vergelijking met de referentiesituatie. Wanneer dezelfde prijsrange voor bewegingssensoren van €10,- tot €30,- wordt aangehouden dan zullen de kosten rond de €50,- tot €150,- liggen. In Leeuwarden zal de terugverdientijd onder 1 jaar komen te liggen.

4.2.3 Uitvoering bewegingssensor

Een bewegingssensor installeren is te doen binnen een dag maar kan wel zorgen voor een hinder doordat de stroom van een bepaalde groep er af moet om veilig de sensor te kunnen installeren. Dit kan zorgen voor ongewenste situaties, er zal moeten worden opgelet welke groep van de stroom af wordt gehaald en welke apparaten daar verder op staan. Als alleen de verlichting op een groep staat zal dit niet voor problemen zorgen. De technische levensduur is 10 jaar (Allekabels.nl, 2022).

4.2.4 Voor- en nadelen bewegingssensor

Voordelen:

- Goedkoop.
- Korte installatieduur.

Nadelen:

- Besparing zal minder worden wanneer er zuinigere verlichting wordt geïnstalleerd.

4.3 Isoleren van spouw personeelsgedeelte Leeuwarden

4.3.1 Werking isoleren spouw

De spouwmuur van het personeelsgedeelte van het bedieningsgebouw van de rioolwaterzuiveringsinstallatie in Leeuwarden is volgens de bouwplannen niet geïsoleerd. Dit zorgt voor een warmteverlies van $265 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$, wat dus betekent dat er 265 Watt per Kelvin temperatuurverschil verloren gaat naar buiten via de muur. Deze muur is 0,27 meter breed waarvan 0,06 meter spouw is, deze spouw is alleen gevuld met lucht volgens het bouwbestek. De spouw kan dus opgevuld worden met isolatiemateriaal om ervoor te zorgen dat er minder warmte verloren gaat.

4.3.2 Besparing en terugverdientijd isoleren spouw

Het huidige warmteverlies is 295 Watt per Kelvin temperatuurverschil en heeft een bijdrage van 26% in de huidige situatie waarbij er dus geen andere aanpassingen zijn gedaan. Wanneer er gekozen wordt voor het isoleren met EPS-korrels (Geëxpandeerd polystyreenschuim) en de gehele spouw met een dikte van 60 millimeter wordt opgevuld, dan zakt het warmteverlies naar 84 Watt per Kelvin. Hierdoor wordt er bij een ketel met 90% onder rendement jaarlijks 1095 m^3 aardgas bespaard, omdat het Wetterskip Fryslân €1,00 per m^3 aardgas betaald, bespaart het Wetterskip Fryslân ook €1095 aan jaarlijkse stookkosten. Er wordt 13% bespaard tegenover de referentiesituatie.

Het installeren van deze isolatie kost €4514,79, hierdoor wordt de terugverdientijd 4,1 jaar.

4.3.3 Uitvoering isoleren spouw

Een van de manieren waarop isolatie in de spouwmuur kan worden aangebracht is doormiddel van het laten inspuiten van de isolatie. Hierbij hoeft de muur niet afgebroken te worden omdat er kleine gaten in de kruising van voegen worden geboord, deze worden om de meter geboord zodat de spouw gelijkmatig en even opgevuld kan worden (Nivo Isolatiezorg, 2022). Daardoor ontstaat er geen hinder voor de medewerkers die in het bedieningsgebouw aan het werk zijn. Ook kan het inspuiten van isolatie binnen een week gedaan worden.

De duurzaamheid ligt aan het gekozen isolatiemateriaal, zoals eerder genoemd kan ervoor gekozen worden om EPS-korrels te gebruiken. Bij het inspuiten van deze korrels worden ze aan elkaar vastgelijmd waardoor ze niet in het milieu terechtkomen, verder is de levensduur en effectiviteit van de korrels langer dan 20 jaar.

4.3.4 Voor- en nadelen isoleren spouw

Voordelen:

- Geen hinder.
- Lange levensduur.

Nadelen:

- Moet uitbesteedt worden.
- Aandeel besparing wordt minder als er andere reducties in warmteverliezen worden gerealiseerd.

4.4 Nieuwe ruiten

4.4.1 Werking nieuwe ruiten

In de huidige situatie zijn er volgens de gevonden bouwplannen bij Heerenveen en Leeuwarden dubbelglas aanwezig. Dit glas komt uit 1997 en behoort daarmee niet meer tot de nieuwste categorie beschikbare beglazing. Er zijn nieuwere glazen beschikbaar die een betere isolerende waarde hebben. Daarnaast kan er ook gekozen worden voor glas dat warmte door instraling van de zon buiten houdt, dit verlaagt wel de warmtewinst door inval van de zon. De warmteweerstand van deze ramen zijn hoger en zorgen daarmee dat er minder warmte verloren gaat door de ramen. (Van Reenen Glas, 2022)

In Heerenveen is het glas vervangen in 2009, destijds is HR++ glas geïnstalleerd en hierdoor is het warmteverlies al zo laag gemaakt dat de terugverdientijd langer is dan de technische levensduur van de ramen.

4.4.2 Besparing en terugverdientijd nieuwe ruiten

Leeuwarden: Het bedieningsgebouw van de zuivering van Leeuwarden heeft een totaal van 180 m² aan dubbelglas raam en verliest hierdoor 540 W·K⁻¹, dit is 31% van het totale warmteverlies in vergelijking tot de referentie situatie. Wanneer hier HR++ glas wordt geïnstalleerd met een U-waarde van onder 1,2 W·m⁻²·K⁻¹ dan zakt het totale warmteverlies door de ramen naar 216 W·K⁻¹ en bedraagt zonder andere aanpassing voor 15% aan het warmteverlies. Ofwel een reductie van 16% warmteverlies. Dit resulteert in een gasverbruik vermindering van 945,51 m³ en een jaarlijkse besparing aan uitgaven van €1756. De besparing draagt bij voor 20% tegenover de referentiesituatie.

De kosten voor de glaspanelen en geschatte kosten voor installatie is rond de €10.000 tot €15.000,-, hierbij worden dan wel alle ramen vervangen, de prijzen komen van (Glasdiscount Webshop, 2022). Hierdoor ligt de terugverdientijd tussen de 5,7 jaar en 8,5 jaar. Dit kan lager worden doordat er ook besparing is doordat er minder gekoeld hoeft te worden in de zomer, de ramen zijn namelijk beter in het weren van warmte door zonlicht dan normaal dubbelglas.

4.4.3 Uitvoering nieuwe ruiten

Leeuwarden: De hinder ondervonden door het vervangen van ramen kan een paar weken duren, maar niet alle ramen hoeven er tegelijk uit waardoor er een situatie ontstaat waarin de medewerkers hun werk wel kunnen doen maar in andere kamers moeten zitten werken. Dit is wel mogelijk aangezien de laptop hubs ervoor zorgen dat er op meerdere plekken gewerkt kan worden. Ook is het verstandig om de vervanging van ramen in de zomer te doen omdat de temperatuur dan hoog genoeg is dat er geen onnodig warmteverlies plaatsvindt en dat de klaarmeesters er geen last van hebben als het om temperatuur gaat. Het vervangen van de ramen zal 2 tot 3 weken duren en de fabrieksgarantie van de ramen is 10 tot 20 jaar (Van Reenen Glas, 2022) (Glasdiscount Webshop, 2022). Dit betekent dat de ramen binnen de technische levensduur kunnen worden terugverdiend. Deze maatregel kan duurzamer gemaakt worden als het glas gerecycled wordt en de kozijnen hergebruikt kunnen worden.

4.4.4 Voor- en nadelen nieuwe ruiten

Voordelen:

- Minder koelen in de zomer en minder verwarmen in de winter.
- Minder last van de zon.

Nadelen:

- Risico op lastige en langere installatie als er nieuwe kozijnen moeten komen.

4.5 Vervanging verlichting

4.5.1 Werking vervangen verlichting

Het vervangen van niet Ledverlichting door zuinigere Ledverlichting is een energiebesparende maatregel die bij meerdere bedrijven al wordt toegepast. Ook in de bedieningsgebouwen is al een deel van de oude verlichting vervangen door nieuwe Ledverlichting. LED heeft vele toepassingen, zoals dimfuncties en warme en koude verlichting. Ook is het mogelijk om oude verlichting te vervangen zonder de fitting te veranderen, hierdoor is het enige wat hoeft te gebeuren om de verlichting te vervangen het eruit draaien van de oude lamp en erin met de nieuwe.

4.5.2 Besparing en terugverdientijd vervangen verlichting

Heerenveen: Het huidige verbruik van de verlichting dat al niet LED is, is geschat op 1879 kWh per jaar ofwel 16,5% van het geschatte totaal. Deze verlichting bestaat uit TL-buizen met 36 Watt vermogen, wanneer deze vervangen worden door LED-TL buizen dan wordt het vermogen verlaagt tot 18 Watt (Lampdirect, 2022) . Het totale verbruik van de nieuwe verlichting zonder andere energiebesparende maatregelen zou dan zijn: 939 kWh of 9,3% van het totaal wanneer er geen andere maatregelen gedaan zijn. Dit komt uit op een jaarlijkse besparing van 939 kWh en met een elektriciteitsprijs van €0,15/kWh op €141,-.

Het aantal lampen dat vervangen moet worden is 44 TL buizen, als er naar de verschillende opties wordt gekeken dan komt de range uit tussen de €210,- en €450, (Lampdirect, 2022). Dit wordt dus binnen de 5 jaar terugverdiend met een terugverdientijd van. Een aandachtspunt is dat er voor een lager wattage kan worden gekozen wat voor meer besparing zorgt maar ook een hogere prijs kan hebben.

Leeuwarden: Het huidige verbruik van de verlichting dat al niet LED is, is geschat op 1699 kWh. Omdat er verschillende soorten lampen aanwezig zijn worden de kosten verdeeld. Voor de lampen in de ontvangstruimte wordt gerekend met gemiddelde prijs van €2,50 per lamp en een wattage van 2,2 Watt. Er zijn 41 lampen aanwezig en het vervangen kost daarom €102,5.

In de hal en wc's zijn 34 lampen aanwezig die vervangen kunnen worden door Ledlampen met een wattage van 4,5 Watt die €7,60 per lamp kosten (Philips, 2022) of door Ledlampen met een wattage van 6 Watt die €6,77 kosten (Osram, 2022). Er zijn 34 lampen nodig en de kosten voor het vervangen zit tussen de €230,18- en €258,40- in.

Als laatste kunnen de lampen in de kamer van de Rayonchef vervangen worden, dit zijn dezelfde soort lampen als in de ontvangstruimte, er zijn 6 lampen aanwezig en vervangen kost daarom €15,00-.

De totale besparing door het gebruik van Ledverlichting wordt ingeschat op 1478 kWh ofwel €221,70-. De terugverdientijd is daarmee 1,7 jaar en het percentage besparing in vergelijking tot de referentiesituatie is 7,2%.

4.5.3 Uitvoering vervangen verlichting

Het vervangen de lampen in Heerenveen kan binnen 1 dag gedaan worden en hoeft niet uitbesteed te worden mits hetzelfde armatuur gebruikt wordt. De lampen gaan mee voor 30.000 branduren en 50.000 aan/uitschakelingen. Als er met 30.000 branduren wordt gerekend dan gaan de lampen

zonder sensoren langer dan 20 jaar mee. Dit geldt ook voor Leeuwarden. De oude lampen kunnen worden gerecycled.

4.5.4 Voor- en nadelen vervangen verlichting

Voordelen:

- Korte terugverdientijd.
- Korte installatieduur.
- Lange levensduur.

Nadelen:

- Besparing individuele maatregel wordt minder als een sensor eraan wordt gebruikt.
- Kosten voor het weggooien van de oude verlichting

4.6 Sensor en Vernieuwing verlichting

4.6.1 Werking sensoren en vernieuwen verlichting

De combinatie van het vervangen van oude verlichting en het installeren van sensoren is een optie die overwogen kan worden. Door deze te combineren zullen de individuele effecten van beide energiebesparende maatregelen kleiner worden. Het gecombineerde effect kan wel groot genoeg zijn om een terugverdientijd van binnen de 5 jaar te halen.

4.6.2 Besparing en terugverdientijd sensoren en vernieuwen verlichting

Heerenveen: Voor Heerenveen is de besparing 1480 kWh en met een prijs van €0,15- per kWh komt dat uit op €222,11- per jaar. Als dezelfde prijsranges worden gebruikt als in 4.2 en 4.5 dan wordt deze combinatie van energiebesparende maatregelen terugverdient in 3 jaar. De besparing bedraagt bij voor 14,7% van het totaal in vergelijking met de referentiesituatie.

Leeuwarden: Voor Leeuwarden is de besparing 2049 kWh en met een prijs van €0,15- per kWh komt dat uit op €307,36- per jaar. Als dezelfde prijsranges worden gebruikt als in 4.2 en 4.5 dan wordt deze combinatie van energiebesparende maatregelen terugverdient in 2 jaar. De besparing bedraagt bij voor 10,02% van het totaal in vergelijking met de referentiesituatie.

4.6.3 Uitvoering sensoren en vernieuwen verlichting

De uitvoering is hetzelfde als in 4.2 en 4.5.

4.6.4 Voor- en nadelen sensoren en vernieuwen verlichting

Voordelen:

- Terugverdientijd binnen 5 jaar en binnen technische levensduur.
- Eenvoudige en korte installatie.

Nadelen:

- Bijkomende kosten van het weggooien van oude verlichting.

4.7 Vervanging ketels Leeuwarden

4.7.1 Werking vervangen ketels

Volgens de zuiveringstechnoloog lopen de ketels op aardgas van het net en op biogas van de zuivering. De fabrikant van de ketels mag geen garantie bieden voor het werken van de ketels op biogas vanwege het missen van bepaalde certificaten. Ook bestaat het bedrijf dat de ketels beheert en geïnstalleerd heeft niet meer waardoor er onzekerheid is hoe dit verbruik zo gestegen is. Een van de hypothesen die de zuiveringstechnoloog Klaas Jan Agema had is dat de ketels een lager rendement hebben wanneer deze op aardgas stoken in plaats van biogas. Als deze vervangen kunnen worden door nieuwe Cv-ketels die een hoger rendement hebben dan bespaart dat aardgas.

4.7.2 Besparing en terugverdientijd vervangen ketels

Ervan uitgaande dat het onder rendement van de ketels rond de 90% zit en al het gasverbruik komt door warmteverlies, dan zit het gasverbruik rond de 8780 m³, wanneer de ketels worden vervangen zal het onder rendement stijgen en daarmee zal het gasverbruik dalen. Wanneer er ketels worden aangeschaft die een onder rendement hebben van 95% dan zal het gasverbruik dalen naar 8341 m³ ofwel een besparing van 439 m³ aardgas en een kostenbesparing van €439,-. De besparing van aardgas zal hetzelfde zijn als het aantal procent rendement wat erbij komt. Hierdoor kan er berekend worden hoeveel procent rendement erbij moet komen om binnen de technische levensduur de ketel terug te verdienen. Als er een ketel wordt aangeschaft van €2000,- (Feenstra Installatietechniek, 2022) inclusief installatie dan duurt het 4,5 jaar om terug te verdienen. Omdat er 4 ketels aanwezig zijn moet er gekeken worden of het gebouw ook minder ketels kan, in dit geval 2. Dan wordt het binnen 9 jaar terugverdiend. De besparing wordt minder wanneer andere aardgas-besparende maatregelen worden genomen.

4.7.3 Uitvoering vervangen ketels

Het aansluiten van nieuwe ketels zonder andere aanpassingen zal binnen 1 week gedaan kunnen worden omdat het systeem geïnstalleerd moet worden en getest. De ketel gaat 15+ jaar mee als er regulier onderhoud wordt gepleegd.

4.7.4 Voor- en nadelen vervangen ketels

Voordelen:

- Hoog rendement.

Nadelen:

- Gebouw blijft op gas aangesloten.
- Geen biogas meer tenzij aparte ketel daarvoor gekozen wordt.

4.8 Uitwendige zonnewering Leeuwarden

4.8.1 Werking zonnewering

In Leeuwarden is alleen inwendige zonnewering aanwezig, hierdoor komt de warmte die van de zon afkomstig is naar binnen. Dit is in de winter geen probleem en zorgt ervoor dat er minder verwarmd hoeft te worden door de cv-ketels. In de zomer is de omgevingstemperatuur hoger en zal die extra warmte van de zonnestraling die door de ramen naar binnen komt de kamers extra verwarmen. Wanneer hierdoor de airco wordt aangezet om de kamers op een aangename temperatuur te houden (21°C), zal er extra stroom worden verbruikt. Door uitwendige zonnewering te plaatsen zal de warmte buitengehouden worden.

4.8.2 Besparing en terugverdientijd zonnewering

Er wordt aangenomen dat de airconditioning die boven de deuren in de kantine, bedieningsruimte en teamleider kamer hangen in totaal 2 uren aanstaan per werkdag voor de helft van het jaar. De reden hiervoor is dat in de winter de airco gebruikt wordt om te verwarmen en in de zomer om te koelen. Dat komt uit op een schatting van 250 uur per jaar.

Met de zonnewering zal er in de zomer minder hoeven te worden gekoeld wat scheelt in het verbruik van de airco. Er wordt geschat dat door de zonnewering de airco een kwart jaar aanstaat (in de winter) elke werkdag, twee uur lang. De airco's zijn de Fujitsu DC Inverters en de Daikin airconditioning.

Dit resulteert in een besparing van 2050 kWh ofwel €307,75- per jaar.

De kosten voor het laten installeren en aankopen van de zonneschermen kost in totaal rond de €2000,- (De Zonweringfabriek, 2022). Voor deze prijs kunnen er zonneschermen voor de kozijnen van de kantine en bedieningsruimtes worden geplaatst. Hierdoor wordt de terugverdientijd 6,5 jaar. De totale besparing in procenten bedraagt 10,02%.

4.8.3 Uitvoering zonnewering

De uitvoering kan binnen een week gedaan worden en de fabrieksgarantie is (met zelf-installatie) 5 jaar, de technische levensduur is langer en ligt tussen de 15 en 20 jaar en daardoor worden de schermen terugverdiend voordat de technische levensduur wordt overschreden. Ook is er geen hinder doordat de installatie buiten het gebouw is (SunCircle, 2022).

4.8.4 Voor- en nadelen zonnewering

Voordelen:

- Houdt warmte en licht buiten.

Nadelen:

- Schatting van gebruik airco.
- Wanneer er zonwerend glas geïnstalleerd wordt zal de besparing omlaaggaan.

4.9 Dakisolatie Heerenveen en Leeuwarden

4.9.1 Werking dakisolatie

In Heerenveen is tussen het systeemplafond (dat bestaat uit platen) en het dak zelf dat bestaat uit gasbeton geen isolatie. De enige vorm van isolatie die bij dat dak aanwezig is het systeemplafond. Er kan dus nog isolatie geplaatst worden tussen het systeemplafond en de gasbetondakplaten. Hierbij moet gedacht worden aan isolatieplaten van kunststofschuim of natuurlijke isolatiematerialen zoals houtvezels of vlas.

4.9.2 Besparing en terugverdientijd dakisolatie

Heerenveen: Door het dak van Heerenveen gaat op dit moment $104 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ verloren en deze warmteverlies tellen mee voor 28% van het huidige totale warmteverlies. Wanneer er gekozen wordt voor glas- of steenwolisolatie met een dikte van 100 millimeter dan zakt het warmteverlies naar $33 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$, dit is een reductie van 17% met de referentiesituatie. Dit resulteert in een besparing van 195 m^3 aardgas wanneer er vergeleken wordt met de huidige situatie en een kostenbesparing van €195.00-. De prijs van een steenwolplaat met een dikte van 100 millimeter ligt rond de €12.00- per vierkante meter, er kan ook voor minerale wol met dezelfde dikte worden gekozen. Deze prijs komt dan uit op €7.26- per vierkante meter en heeft dezelfde isolerende waarde. Als het gehele dak moet worden geïsoleerd dan zit het aantal vierkante meter rond de 120. Als dit werk zelf wordt uitgevoerd door het Wetterskip dan zal, bij een prijs van €7.26- per vierkante meter, het in totaal €871.63- kosten. Dit kan worden terugverdiend in 4 en een half jaar.

Omdat er nog andere benodigdheden zijn die er moeten worden bijbesteld zal dit duurder uitvallen en zit het dus buiten de terugverdientijd van 5 jaar. Andere benodigdheden zijn bevestigingslijm en een isolatiesnijmes. Wanneer meerdere diktes worden doorgerekend in het model met de bijbehorende prijs die is gevonden op (De Isolatieshop, 2022), dan blijkt dat de dunste plaat de kortste terugverdientijd heeft en de terugverdientijd langer wordt naarmate de plaat dikker en ook dus duurder wordt. De grootte van de besparing tegenover de referentie situatie neemt in stappen af naarmate de plaat dikker wordt. Zo levert de stap van 40 naar 50 millimeter een extra besparing op van $6 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ en de stap van 140 naar 150 millimeter maar $1 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ extra.

De meest goedkope optie en ook de minst isolerende plaat verdient zichzelf het snelst terug, de duurste optie en de meest isolerende plaat duurt het langst om terug te verdienen. Daarom moet er een afweging worden gemaakt in de dikte en prijs die gekozen wordt. Dit geldt voor minerale wol, maar ook voor bijvoorbeeld houtvezel.

Houtvezelplaten hebben ongeveer dezelfde isolerende waarde als de platen van minerale wol, maar zijn duurder hebben daarom een langere terugverdientijd. Dit geldt ook voor XPS-platen, Resolschuim-platen, EPS-platen en Katoen-platen. Daardoor lijkt, als het gaat om terugverdientijd, de 40 millimeter dikke plaat van mineraal wol het beste. Dit bespaart jaarlijks $131,63 \text{ m}^3$ ofwel €131,- en bespaard 8% tegenover de referentiesituatie. De platen kosten €3,22 per m^2 en dit komt uit op €386,40 voor het gehele dak.

Voor installatiekosten wordt er met een monteur gerekend die €15,- per uur vraagt, als dit een week duurt met 8 uren per dag dan komt dit uit op €600,- installatiekosten. In totaal kost het dan €986,43- en dit gaat gepaard met een terugverdientijd van 7,5 jaar.

Leeuwarden: Als ervoor gekozen wordt om met dezelfde 40 millimeter minerale wol en uitbesteding het gehele dak van het personeelsgedeelte te isoleren dan kost dat €2271,-, er wordt dan 298 m³ aardgas per jaar bespaard ofwel 3,4% tegenover de referentiesituatie en daarmee ook €298,- per jaar aan verwarmingskosten. De terugverdientijd wordt daarmee 7,6 jaar.

4.9.3 Uitvoering dakisolatie

Omdat het panelen zijn die moeten worden geplaatst tussen het systeemplafond en de gasbetondakplaten hoeven er geen boringen plaats te vinden en er hoeft niets gesloopt te worden. Het is wel zo dat de platen moeten worden bijgesneden en er moeten gaten in komen voor de bedrading en andere objecten die eventueel tussen het systeemplafond en gasbetonplaten zitten. Dit kan binnen een week uitgevoerd worden en er is weinig verwachte hinder.

De technische levensduur is langer dan 20 jaar en kan een leven lang meegaan (IsolatieNet, 2022).

4.9.4 Voor- en nadelen dakisolatie

Voordelen:

- Weinig hinder.
- Eenvoudige installatie.

Nadelen:

- Langere terugverdientijd bij betere isolerende waarde.

4.10 Vloerisolatie Heerenveen en Leeuwarden

4.10.1 Werking vloerisolatie

Net zoals bij muur- en dakisolatie werkt deze isolatie door het vergroten van de warmteweerstand van de bouwlaag. Het isolatiemateriaal kan onder tegels geplaatst worden of in de kruipruimte tegen de vloer aan. Doordat de kruipruimtes in de bedieningsgebouwen niet gebruikt worden voor andere doeleinden kan er isolatiemateriaal zoals EPS ofwel piepschuimplaten worden geplaatst om de vloer beter te isoleren. In tegenstelling tot de buitentemperatuur blijft de grondtemperatuur en de temperatuur in de kruipruimte gemiddeld rond de 10 graden Celsius gedurende het jaar (KNMI, 2022).

4.10.2 Besparing en terugverdientijd vloerisolatie

Heerenveen: De vloer in Heerenveen op de begane grond bestaat uit 30 centimeter verdicht gewapend beton en gaat dan over in een kruipruimte. Hierdoor gaat er $277 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ verloren. Als de gehele kruipruimte wordt opgevuld met Drowa Chips met een lambda waarde van 0,068 (Drowa Isolatiechips, 2022) dan zakt het warmteverlies naar $8 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$. De jaarlijkse besparing aan gas is $450,11 \text{ m}^3$ aardgas ofwel een besparing van €450,- per jaar, dit een besparing van 27% tegenover de referentiesituatie. De kosten voor installatie zijn €4000,- en hiermee wordt de terugverdientijd wordt dan 9 jaar.

Leeuwarden: In Leeuwarden is de vloer het bezoekerscentrum volledig geïsoleerd en het personeelsgedeelte heeft voor de helft EPS-platen en de andere helft is niet geïsoleerd. De kamers waaronder de vloer niet geïsoleerd is worden ook minder gebruikt dan de kamers waarin de vloer wel geïsoleerd is. Om het geheel van de kruipruimte te vullen met Drowa Chips zou uitkomen op een kostenplaatje van €26.000,- en dit wordt niet terugverdiend binnen de technische levensduur.

4.10.3 Uitvoering vloerisolatie

De technische levensduur van de Drowa isolatiechips is over de 20 jaar, verder is er geen hinder doordat er in de kruipruimte wordt gewerkt (Drowa Isolatiechips, 2022).

4.10.4 Voor- en nadelen vloerisolatie

Voordelen:

- Minder vochtoverlast.
- Gemakkelijk in te blazen.
- Gemakkelijk te verwijderen indien nodig.

Nadelen:

- Geen directe toegang meer tot kruipruimte.

4.11 Warmtewisselaars ventilatiesystemen

4.11.1 Werking warmtewisselaar

Warmtewisselaars op ventilatiesystemen werken door uitgaande warme lucht die van binnen afkomstig is de ingaande koude buitenlucht te laten verwarmen. Hierdoor vindt er een besparing plaats doordat de omgevingstemperatuur minder zal dalen omdat de ingaande lucht vanuit de ventilatie al deels verwarmd is. Hoe beter de warmtewisselaar werkt des te minder aardgas er gebruikt hoeft te worden om een ruimte te verwarmen.

In het warmteverliesmodel wordt ervan uitgegaan dat het ventilatiedebiet gelijk is aan de normen die gesteld zijn in het laatste bouwbesluit, de norm die gehanteerd is zegt dat het debiet minimaal $0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 vloeroppervlak moet zijn voor verblijfsruimtes (Ministerie van BZK, 2012). Voor verkeersruimtes is die waarde $0,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 vloeroppervlak en voor verblijfsgebieden is het $0,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 vloeroppervlak. Door die ventilatie komt er koude lucht naar binnen (koude lucht is wanneer het kouder is dan de stookgrens) en daalt de kamertemperatuur. Omdat de kamers ingesteld staan op een bepaalde temperatuur gaan de Cv-ketels aan om de kamers weer op de juiste temperatuur te krijgen.

In de huidige situatie wordt er op twee manieren geventileerd, natuurlijke ventilatie door gaten en roosters en mechanische ventilatie door airconditioning en afzuigroosters. Deze airconditioning kan wel aangezet worden als ventilatie maar dat wordt voor deze berekening buiten beschouwing gelaten omdat het volgens zuiveringstechnoloog Klaas Jan Agema daarvoor niet wordt gebruikt. Dus ter verduidelijking, voor de berekening wordt aangenomen dat er in de referentiesituatie geen warmte wordt teruggewonnen.

4.11.2 Besparing en terugverdientijd warmtewisselaar

Leeuwarden: Het totale ventilatiedebiet is volgens de normen in het bouwbesluit $1606,35 \text{ m}^3/\text{h}$. Dat is dan ook het maximum wat er geventileerd hoeft te worden. Er kan besloten worden om bepaalde ruimtes niet aan te sluiten op die ventilatie omdat deze niet gebruikt worden. De volgende indeling is gehanteerd bij het indelen op basis van het gebruik van een kamer, zie ook de plattegrond van Leeuwarden in Figuur 3-1 en Figuur 3-2.

- Verblijfsgebied
 - Rayonchef
 - Ontvangstruimte
 - Kantine
 - Lab
 - Bedieningsruimte
 - Hoofd Klaarmeester
- Verblijfsruimte
 - Testruimte apparatuur (nu lab stagiair)
 - Kantoor meettechnicus (nu archief)
- WC en douche
 - De drie wc's in het bezoekerscentrum en de wc's van het personeelsgedeelte.
 - Douche
- Verkeersruimte
 - Werkplaats
 - Klein gevaarlijk afval (wordt gebruikt als normale opslag)

- Olieopslag (staat in gevaarlijke stoffen kast, rest is machine opslag)
- Magazijn
- Kleedruimte
- Gang personeelsgedeelte
- Technische ruimte
- Gang en entree bezoekerscentrum

De verblijfsruimtes worden niet actief gebruikt of bezet, daardoor kan ervoor gekozen worden om deze niet aan te sluiten op een centrale ventilatie. Bij het installeren van nieuwe ventilatie wordt het gehele bezoekerscentrum meegenomen, de kantine, de Wc's, de bedieningsruimte, de kamer van de hoofdklaarmeester, de gang en het lab.

Hierdoor wordt in het personeelsgedeelte het originele ventilatiedebiet van 981 m³/h een ventilatiedebiet 496 m³/h. Het totale ventilatiedebiet wordt daardoor 1121 m³/h en de totale besparing is 1668 m³ ofwel €1668,-. Dit is een besparing van 19% tegenover de referentiesituatie.

De kosten voor het installeren van een nieuwe warmtewisselaar, inclusief buizen en warmtewisselaarunit zal geschat worden boven de €8.000,- (Brink Climate Systems, 2022). Dit bedrag is een schatting van een leverancier van warmtewisselaars en gaat over een rijtjeshuis en is dus alleen handig voor een indicatie. Omdat er meerdere units moeten worden geïnstalleerd wordt dit iets duurder omdat de prijs uitgaat van 1 unit, hierdoor wordt de prijs geschat rond de €11.000,-

De prijs van een zelfstandige unit van 600 m³/h zonder buizen, installatie, etc. zit rond de €3.000,- (Ventilatieland, 2022). Het kan mogelijk zijn dat er minder ventilatie nodig is doordat niet alle kamers evenveel hoeven te worden geventileerd. Het verbruik van een unit die een debiet van 400 m³/h per uur aankan is 0,04 kW, in Leeuwarden zijn hier 3 van nodig als bepaalde kamers dus niet worden geventileerd. Per jaar verbruiken 3 units in totaal 1051 kWh/jaar aan stroom ofwel €157,- per jaar. Hierdoor is de totale besparing dus lager met €1510,- per jaar.

Als er van een prijs wordt uitgegaan rond de €11.000,- dan wordt deze ventilatie terugverdiend binnen 7,3 jaar. (Buldit BV, 2022)

Heerenveen: Het totale ventilatiedebiet in Heerenveen is 595,68 m³/uur met een warmteverlies van 199,95 W·K⁻¹. Wanneer er een warmtewisselaar wordt gebruikt dat een rendement heeft van 85% dan zakt het warmteverlies naar 29,99 W·K⁻¹. De totale besparing van aardgas is zonder andere aanpassingen 430,61 m³ aardgas en met een prijs van €1.00-/m³ aardgas komt dat uit op €430.61-. Ook hier verbruikt een unit ongeveer 0,077 kW, dit resulteert in een verbruik van 674 kWh per jaar en kost €101,- per jaar (Zehnder Stork, 2022). Hieronder staat de indeling die gehanteerd is bij het indelen op gebruik van ruimtes:

- Verblijfsgebied
 - Opslag/magazijnruimte (nu kantoor)
 - Kantoor
 - Bedieningsruimte
 - Laboratorium
- Verblijfsruimte
 - Testruimte apparatuur (nu lab stagiair)
 - Kantoor meettechnicus (nu archief)
- WC en douche
 - De twee wc's in het gebouw en de doucheruimte
- Verkeersruimte
 - Werkplaats
 - Bergplaats
 - Bedrijfsruimte
 - Hal
 - Kast
 - Overloop
- Cv-ruimte

Als er wordt gerekend met een kostenplaatje van €8000,- dan wordt het terugverdiend binnen 24 jaar. Er wordt in totaal 26% bespaard tegenover de referentiesituatie.

4.11.3 Uitvoering warmtewisselaar

De warmtewisselaar en bijbehorende ventilatie kan binnen een week worden uitgevoerd als alles naar behoren gaat. Omdat er wellicht geboord en gemeten moet worden als er door verschillende vloeren en muren heen moet kan het langer duren. De verwachte hinder zal 1 tot 3 dagen duren vanwege aanpassingen aan de bouwschil en obstructie van kamers tijdens werkzaamheden. De warmtewisselaars gaan 15+ jaar mee (Feenstra, 2022).

4.11.4 Voor- en nadelen warmtewisselaar

Voordelen:

- Schonere lucht (mits filters tijdig worden vervangen).
- Meer controle over binnenkomende temperatuur.

Nadelen:

- Niet alle ruimtes worden mechanisch geventileerd.
- Geen berekening/inschatting van het stroomverbruik.

4.12 Veranderen instelling koffiezetapparaat bezoekerscentrum Leeuwarden

4.12.1 Werking koffiezetapparaat

In de keuken van het bezoekerscentrum staat een Omniline koffiezetapparaat van Douwe Egberts, dit koffiezetapparaat wordt gebruikt om warme dranken aan te bieden aan de bezoekers van de rioolwaterzuivering. Dit koffiezetapparaat staat altijd paraat om warme dranken te maken en gebruikt daarom in een bepaald interval stroom om het water in de boiler warm te houden. Door het apparaat in te stellen via het scherm wat erop zit, kan het apparaat zo ingesteld worden dat het nachts uit gaat of dat het altijd uitstaat tenzij er daadwerkelijk gevraagd wordt om een warme drank.

4.12.2 Besparing en terugverdientijd koffiezetapparaat

Omdat het apparaat in een onbekend interval zijn boiler verwarmd is het een schatting van de hoeveelheid elektriciteit die wordt verbruikt. De schatting is als volgt: Het apparaat is in totaal een uur lang daadwerkelijk in bedrijf om koffie te zetten per dag dat er mensen in het bezoekerscentrum zijn. Dit komt uit op 3 dagen, een uur lang elke week weer, ofwel 156 uren met een piekverbruik van 2,3 kW, wat uitkomt op 358,8 kWh. Het aantal uren stand-by waarin het water in de boiler wordt verwarmd is een schatting, er wordt van uitgegaan dat elk uur de boiler 5 minuten wordt verwarmd. Met een stand-by-verbruik van 2 kW komt het verbruikte vermogen uit op 1460 kWh. De gevonden verbruiken zijn afkomstig uit de handleiding (Jacobs Douwe Egberts, 2022), er wordt ervan uitgegaan dat het verwarmingselement het stand-by-verbruik veroorzaakt. Toch wordt het aantal uren dat het apparaat stand-by staat groter gemaakt dan nodig is doordat het apparaat aanstaat in het weekend en 's nachts.

Het veranderen van de instellingen kost niets en kan zelfs door een medewerker van de zuivering gedaan wanneer deze de handleiding erbij heeft. Het veranderen van de instelling kan in de handleiding gevonden worden met de volgende bron op pagina 79-80 (Jacobs Douwe Egberts, 2022). Daarom is er ongeacht de precieze besparing een terugverdientijd die altijd onder de 5 jaar valt. Er is gerekend met een besparing van 600 stand-by-uren waardoor er €105,- jaarlijks wordt bespaard. Dit komt neer op een besparing van 5,4% tegenover de referentiesituatie.

4.12.3 Uitvoering koffiezetapparaat

De instellingen van het koffiezetapparaat kan binnen 15 minuten worden ingesteld op de gewenste configuratie.

4.12.4 Voor- en nadelen koffiezetapparaat

Voordelen:

- Geen kosten.
- Korte uitvoering.
- Geen ingrepen nodig in de bouwschil.
- Geen hinder.

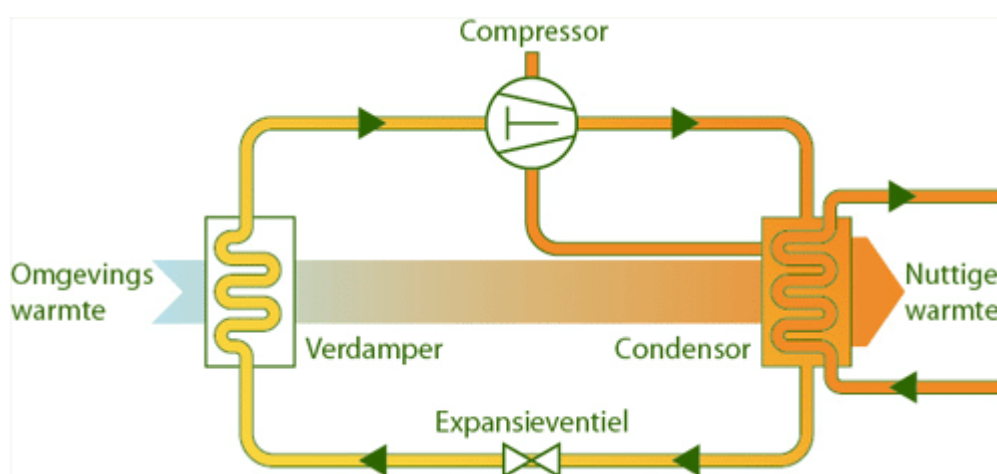
Nadelen:

- Mogelijk duurt het zetten van het eerste kopje warme drank langer doordat de boiler opgewarmd moet worden, dit ligt aan het warmhoud-profiel dat gekozen wordt.

5 Bijlage 5 Zonneboilers en warmtepompen

Om van het gas af te kunnen moet er op een andere manier verwarmd worden, dit kan gedaan worden doormiddel van een zonneboiler, warmtepomp of airconditioning. Een zonnecollector met zonneboiler verzorgt warm water voor sanitair gebruik en kan ingezet worden bij lage-temperatuurverwarming. De zonnecollector vangt zonnestraling op waardoor de vloeistof die in de panelen aanwezig is opwarmt, deze vloeistof wordt vervolgens in buizen door een boiler heen gepompt. In deze boiler wordt leidingwater verwarmd en daarna opgeslagen in een voorraadvat. Het is in principe een warmtepomp die het water verwarmd (Zonnepanelen-weetjes, 2022).

Als er een warmtenet aanwezig is dan kan het bedieningsgebouw op dat net worden aangesloten doormiddel van een water-water warmtepomp, deze warmtepomp verwarmd het water door drukverschillen in het warmtemedium te creëren. Een voorbeeld kan gezien worden in Figuur 5-1. Hierbij kan de omgevingswarmte vervangen worden door de warmte van het warmtenet. Als het gaat om een lucht-water warmtepomp dan klopt deze figuur wel.



Figuur 5-1: Werking van warmtepomp, verkregen van (Solvari BV, 2022)

Ook airconditioning werkt op dezelfde manier waarbij er warmte wordt onttrokken van of afgegeven aan de omgeving om binnen de ruimte te verwarmen of te koelen.

Een warmtepomp en airconditioning hebben beide elektriciteit nodig om te werken, ook is de regel dat wanneer de omgevingstemperatuur laag is, de warmtepomp (als deze op omgevingslucht werkt) meer elektriciteit verbruikt om een ruimte op 20 graden Celsius te houden.

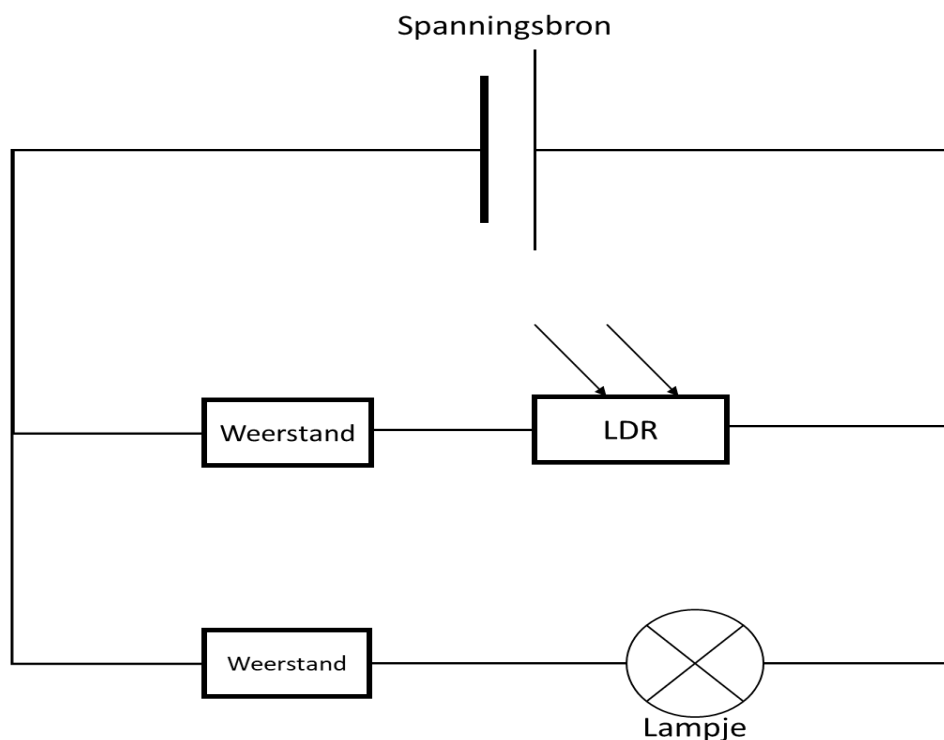
Wanneer een gebouw goed geïsoleerd is (energielabel C of hoger) dan kan deze verwarmd worden door alleen de warmtepomp of zonneboiler te gebruiken. Ook kan een combinatie van de drie gedaan worden om ervoor te zorgen dat de binnentemperatuur altijd constant blijft en er genoeg warm water is.

Een water-water warmtepomp aangesloten op een warmtenet heeft als voordeel dat ook in de winter de warmte gegarandeerd wordt door de aanbieder en beheerder van het warmtenet. Dit is in het geval van een zonneboiler en een lucht-water of lucht-lucht warmtepomp niet het geval omdat deze gebruik maken van warmte uit de omgeving.

6 Bijlage 5

6.1 Werking van een lichtsensor

Een schakeling die er zo uit ziet in Figuur 6-1 kan geïnstalleerd worden om een lichtgevoelige lamp te maken:



Figuur 6-1: Parallelschakeling met lichtgevoelige weerstand

In deze opstelling zal de lamp branden wanneer het donker is en uitgaan wanneer het licht is. De stroom kiest de weg van minste weerstand en als het donker is dan zal de LDR een hoge weerstand hebben waardoor de stroom door het lampje in gaat in plaats van de LDR. Bij een situatie waarin er licht aanwezig is zal de LDR een lagere weerstand hebben dan het lampje en zal de stroom niet door het lampje gaan. (EEPower, 2022)

Dit is een vereenvoudigde uitleg van de werking van een complete lichtsensor waarbij er meerdere lampjes en LDR's kunnen worden aangesloten.