

Beoordelen energiegebruik brede school Joure

Ontwerpen van methode voor beoordelen energiegebruik, voor proportioneel
verrekenen van afwijkingen in beoogd gebouwgebruik

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in het kader van een afstudeerstage voor de opleiding HBO werktuigbouwkunde. Deze opleiding volg ik aan de Haagse Hogeschool, vestiging Delft.

Het rapport is bestemd voor het bedrijf Facilicom en de gemeente De Friese Meren, die deelnemen aan een PPS constructie met betrekking tot een brede school in Joure-Zuid. Het doel is inzicht te geven in de prestaties van de technische installaties na ingebruikname van de school.

Onderzoek en werkzaamheden, ten behoeve van de totstandkoming van dit rapport, zijn verricht in opdracht van technisch adviesbureau Smits van Burgst. Het kantoor van Smits van Burgst, vestiging Zoetermeer, is tevens de werklocatie geweest gedurende de afstudeerstage.

Graag wil ik de heren Ir. S.E.Ph. Mast en Ir. A.C. Taal bedanken voor de begeleiding vanuit Smits van Burgst en vanuit de Haagse Hogeschool respectievelijk.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	10
2.	Doelen.....	11
2.1.	Hoofddoel	11
2.2.	Subdoelen	11
3.	Methode van beoordelen	12
3.1.	Eisen aan de methode	12
3.2.	Bepalen methode	12
3.2.1.	Introductie meet- en validatie volgens IPMVP	12
3.2.2.	Specificatie van referentie en rapportageperiode	13
3.2.3.	Specifieke methode voor dit verslag	14
3.3.	Procesindicatie	14
4.	Omschrijving brede school Joure	16
4.1.	Zone indeling brede school Joure	16
4.2.	Toelichting PPS constructie	17
4.3.	Installaties	19
4.3.1.	Ventilatie en luchtbehandeling	20
4.3.2.	Verwarming en koeling	21
4.3.3.	Verlichting	22
4.3.4.	Regeling	22
4.3.5.	Verdeling elektra.....	22
4.4.	Bouwkundige eigenschappen	24
4.5.	Gebruiksparameters.....	25
5.	Bepalen referentiewaarden energiegebruik.....	26
5.1.	Toelichting EPG berekening	26
5.2.	Energie voor verwarmen en koelen	28
5.2.1.	Toelichting gebouwsimulatie	28
5.2.2.	Beschrijving Vabi Elements.....	28
5.2.3.	Invoergegevens	30
5.2.4.	Nabewerkingen.....	35
5.2.5.	Resultaten gebouwsimulatie	36
5.3.	Energie voor verlichting.....	37
5.4.	Energie voor gebruiksparaatuur.....	39
5.5.	Energie voor ventilatie.....	39
5.6.	Energie voor warm tapwater	41
5.7.	Resultaten	42
5.7.1.	Overzicht resultaten.....	42
5.7.2.	Jaargedrag warmte en koudebehoefte.....	43
5.7.3.	Vergelijking met bestaande utiliteitsgebouwen	44
5.7.4.	Vergelijking verschillende energieberekeningen	46
6.	Bepalen invloed van afwijkingen in gebruik.....	47
6.1.	Methode van bepaling.....	47
6.2.	Toelichting te gebruiken statistiek	47
6.3.	Normaliseren klimaat	48
6.3.1.	Toelichting graaddagen methode.....	48
6.3.2.	Aandachtspunten graaddagen methode	49
6.3.3.	Bepalen specifieke referentietemperatuur.....	50
6.3.4.	Bepalen specifieke energiebehoefte per graaddag.....	52
6.4.	Normaliseren gebruikstijd.....	52
6.4.1.	Gebouwsimulatie	52
6.4.2.	Afzonderlijke berekeningen	54
6.5.	Bepalen kengetallen voor gebruiksinvloeden	55
6.5.1.	Invloed van gebruikstijd.....	55
6.5.2.	Invloed van setpoints verwarmen en koelen	60
7.	Meetrichtlijnen rapportageperiode	63
7.1.	Metten energiefuncties.....	63
7.2.	Metten afwijkingen in klimaat	63
7.3.	Metten afwijkingen in gebruik.....	64
7.4.	Overzicht benodigde datapunten	66

8.	Implementatie	67
8.1.	Concretiseren afspraken binnen PPS overeenkomst	67
8.2.	Begin rapportageperiode.....	67
8.3.	Methode voor beheerfase	67
9.	Conclusies en aanbevelingen.....	68
9.1.	Conclusies.....	68
9.1.1.	Terugkoppeling op gestelde eisen	68
9.1.2.	Sterkte- en zwakteanalyse	68
9.2.	Aanbevelingen.....	69
	Bronnen	70
	Bijlage 1: Referentiewaarden energiebehoefte	72
	Bijlage 2: Kengetallen gebruiksinvloeden Brede school Joure	73
	Bijlage 3: Bewerken KNMI weerbestand voor gebruik van uurwaarden buitentemperatuur.....	74
	Bijlage 4: Spreadsheet voor beoordelen energieverbruik	77
	Bijlage 5: Toelichting statistische begrippen	78
	Bijlage 6: Individuele beoordeling van energieverbruik gebouwgebruikers	81
	Bijlage 7: Output rapportage Vabi gebouwsimulatie	84

Samenvatting

Bij de brede school in Joure die momenteel in aanbouw is, is het bedrijf Facilicom verantwoordelijk voor het ontwerp en de realisatie van het gebouw, gevolgd door het onderhoud voor de komende 25 jaar. De opdrachtgever, gemeente 'De Friese Meren', zal volgens de afspraken elk jaar voor 283MWh aan energie betalen, volgens het actuele tarief. Is deze waarde hoger, dan zal het verschil worden vergoed door Facilicom. Voor deze afspraak is de wijze waarop het gebouw gebruikt wordt buiten beschouwing gelaten. Het zou wenselijk zijn om ten aanzien van het gebruik van het gebouw, enige nuancering in de afspraak aan te brengen. Zodanig dat de gemeente bijvoorbeeld niet hoeft te betalen voor extra energiegebruik, als gevolg van achterstallig onderhoud; en dat Facilicom bijvoorbeeld niet hoeft te betalen voor extra energiegebruik, doordat het gebouw ook open is buiten de afgesproken gebruikstijden.

De vraag is op wat voor manier de invloed, van afwijkingen van het beoogde gebouwgebruik, op het gebouwenergiegebruik, proportioneel kunnen worden verrekend.

Om hier een antwoord op te kunnen geven is een methode voor beoordelen opgesteld. Deze methode maakt gebruik van berekende referentiewaarden voor het energiegebruik van het gebouw, op basis van het veronderstelde gebouwgebruik. Door voor de referentieberekeningen de inputwaarden te veranderen, is vervolgens de invloed van afwijkend gebouwgebruik bepaald. Op basis hiervan zijn vervolgens kengetallen opgesteld, die een indicatie geven van het effect van afwijkend gebouwgebruik op het gebouwenergiegebruik. Er zijn kengetallen opgesteld voor de invloed van gebruikstijd, en voor de invloed van de ingestelde setpoints.

Voor toepassen van de methode van beoordelen, zullen werkelijke waarden voor energiegebruik en gebouwgebruik moeten worden geregistreerd, hiervoor zijn een aantal richtlijnen opgesteld. Ook zijn de te doorlopen stappen beschreven, voor ingebruikname van de methode van beoordelen.

De berekende referentiewaarde voor het totale gebouwenergiegebruik, gebaseerd op het beoogde gebouwgebruik, is 153MWh.

De berekende referentiewaarden per afzonderlijke energiefunctie zijn hieronder weergegeven.

- | | |
|-----------------------------------|-------|
| • Energie voor verwarmen | 34MWh |
| • Energie voor koelen | 3MWh |
| • Energie voor Ventilatie | 20MWh |
| • Energie voor warm tapwater | 11MWh |
| • Energie voor verlichting | 60MWh |
| • Energie voor gebruiksupparatuur | 19MWh |

De berekende kengetallen voor de invloed van gebouwgebruik, op het jaarenergiegebruik, zijn hieronder weergegeven.

- De invloed van één uur extra dagelijkse gebouwgebruik: 9,47MWh (negatief bij één uur minder)
- De invloed van verhogen van de setpoints voor verwarmen en koelen met 1 °C, in het hele gebouw, gedurende het jaar:
 - Energie voor verwarmen +6,8MWh (-6,8MWh bij verlagen met 1 °C)
 - Energie voor koelen -1,7MWh (+1,7MWh bij verlagen met 1 °C)

Omdat dit verslag een beschrijvende hoofdvraag heeft, is hier niet direct een conclusie aan te verbinden. Wel kan gesteld worden dat de beschreven methode voldoet aan de hiervoor opgestelde eisen.

De waarde van het verslag is door de schrijver als volgt beoordeeld:

- Verondersteld wordt dat de referentiewaarden die zijn bepaald, nauwkeuriger zijn dan de in 2012 gemaakte energierekeningen, en daarmee een beter inzicht geven in het energiegebruik van de school.
- Het verslag beschrijft een relatief eenvoudige methode, waarmee afwijkingen in de beoogde gebruikstijd en setpoints proportioneel kunnen worden verrekend, aan ofwel het bedrijf Facilicom ofwel de gemeente De Friese Meren.

De door de schrijver benoemde beperkingen zijn:

- De Nauwkeurigheid van de methode wordt grotendeels bepaald door de nauwkeurigheid van de gespecificeerde gebouw en installatie eigenschappen, waarop de referentiewaarden zijn gebaseerd.
- Er is voor de bepaling van de referentiewaarden sprake van een relatief hoog aannamegehalte voor de volgende parameters:
 - Energiegebruik warm tapwater

- Energiegebruik gebruiksapparatuur
- Interne warmtelasten
- Gebouwregeling

Hierbij zijn de eerste twee te ondervangen door het maken van concrete afspraken. De laatst genoemde twee zorgen voor een bepaalde mate van onzekerheid in de methode van beoordelen, waarvan de grootte onduidelijk is.

- Afwijkingen van de werkelijke interne warmtelasten en gebouwregeling, ten opzichte van die in de referentieberekeningen, zullen ook op indirecte wijze de nauwkeurigheid van de methode negatief beïnvloeden. Door verminderen van de nauwkeurigheid, van het normaliseren van het werkelijke energiegebruik, naar het referentieklimaat.

Het verdient aanbeveling, aan Facilicom en gemeente De Friese Meren, om concrete afspraken te maken voor:

- Het toelaatbare jaarenergiegebruik voor warm tapwater en gebruiksapparatuur.
- Een toelaatbare marge tussen referentie en rapportagewaarden, voor het jaarenergiegebruik ten behoeve van de energiefuncties:
 - Verwarmen
 - Koelen
 - Verlichting
 - Ventilatie
 - Apparatuur
 - Warm tapwater

Symbolen-, afkortingen- en begrippenlijst

Symbol	Betekenis
λ (Lambda)	Warmtegeleidingcoëfficiënt van een materiaal(W/m*K)
ρ (Rho)	Dichtheid van en materiaal(kg/m ³)
Afkortingen	Betekenis
BVO	Bruto vloer oppervlak
C	Celsius
c	Soortelijke warmte van een materiaal(J/kg*K)
COP	Coefficient of performance
DBM	Design, Build & Maintain
dB	Decibel
ECM	Energy Conservation Measures
EPC	Energieprestatiecoëfficiënt van een gebouw of gebruiksfunctie(indien meerdere binnen één gebouw)
EPG	Energieprestatie van gebouwen
ESCO	Energy Service Companies
FCU	Fan coil unit
GDV	Graaddag voor verwarmen
GDK	Graaddag voor koelen
HKL	Hoofd verdeelinrichting
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
J	Joule, SI-eenheid voor energie
K	Kelvin, SI-eenheid voor temperatuur
kWh	Kilowattuur
LBK	Luchtbehandelingkast
M	Meter
MFA	Multi functionele accommodatie
MCU	Mode control unit
Pa	SI eenheid voor druk
Paf	Afgifte vermogen
Pel	Opgenomen elektrisch vermogen
PPMCC of PCC	Pearsons product-momentcorrelatiecoëfficiënt
PPS	Publiek-private samenwerking
PV	Photovoltaics
PvE	Programma van eisen
qv	Debiet
qv10;spec	Is de specifieke luchtdoorlatendheid bij een uniform drukverschil van 10 Pa, in dm ³ /(s*m ²)(term uit oa NEN 8088)
Rc	Totale thermische weerstand van een constructie laag
U	Warmtedoorgangcoëfficiënt, 1/Rc
VA	Volt Ampere
VRF	Variable refrigerant flow
W	Watt, SI-eenheid voor vermogen
WCD	Wandcontactdoos
WP	Warmtepomp
WTW	Warmteterugwinning
WW	Warmtewisselaar
ZTA	Zontoetredingsfactor van een constructie

Begrippen	Uitleg
Airsock	Ook wel: 'lucht verdeelslang'. Flexibel kanaal voor de tochtvrije toe- en afvoer van lucht
Ambrava	Importeur/distributeur van Samsung airconditioners, warmtepompen en ventilatiesystemen in de Benelux.
Arbeidsfactor	Verhouding tussen het werkelijke vermogen en het schijnbare vermogen in een wisselspanninginstallatie.
Block	In Autocad: een object met modulaire eigenschappen dat kan worden ingevoegd in een DWG tekening
Brede school	Volgens rijksoverheid.nl: 'Een brede school combineert onderwijs met voorzieningen als naschoolse opvang, sport, welzijn of cultuur. Brede scholen zijn er niet alleen voor leerlingen, maar ook voor ouders en de buurt.'
Circulatiesysteem	Hierin circuleert warm tapwater dat bij één of meerdere tappunten kan worden afgetapt. In de regel zijn deze systemen permanent in bedrijf zodat er direct warm tapwater getapt kan worden ongeacht de afstand van de opwekking tot het tappunt.
Coëfficiënt of performance	Coëfficiënt voor de beoordeling van de efficiëntie van een warmtepomp.
DWG	Bestandsformaat voor de opslag van 2d en 3d vectorgebaseerde data
Energieprestatiecoëfficiënt	Een index die de energetische efficiëntie van nieuwbouw aangeeft, te bepalen volgens de norm NEN 7120
Energy Conservation Measures	Maatregelen met als doel om energie te besparen.
Energiefunctie	Ook wel energiestroom. Volgens NEN 7120: Energiegebruikspost voor een bepaald gebruiksdoel (functie). Voorbeelden: verwarming, bevochtiging, ventilatie, verlichting, koeling, ontvochtiging, warm tapwater.
Energy Service Companies	Een bedrijf waaraan het volledige energiemangement van een gebouw kan worden uitbesteed. Hierbij kan gedacht worden aan: het implementeren van energiebesparende projecten en maatregelen, energie infrastructuur, energie leveren en risico management.
Fan coil unit	Installatie in een ventilatie kanaal met ventilator en warmtewisselaar voor verwarming en/of koelen.
Forfaitaire rekenwaarden	Rekenwaarden waarbij een norm expliciet aangeeft dat een afwijkende waarde kan worden toegepast, meestal met een bijbehorende afrondingsregel
Graaddag	Referentietemperatuur minus de gemiddelde dagtemperatuur, geminimaliseerd op 0.
Grondreflectie	Volgens Vabi Elements Manual: Grondreflectie is de factor van de lichtreflectie op de grond ten opzichte van het opvallende licht op de grond. Het materiaal van de grond, zoals droog asfalt of water, heeft hier direct invloed op. Standaard geldt een waarde van 0,20.
Gebruiksfunctie	Volgens Bouwbesluit 2012: gedeelten van een of meer bouwwerken die dezelfde gebruiksbestemming hebben en die tezamen een gebruikseenheid vormen.
Gebruiksgebied	Volgens Bouwbesluit 2012: vrij indeelbaar gedeelte van een gebruiksfunctie waar voor de gebruiksfunctie kenmerkende activiteiten plaatsvinden, dat bestaat uit een of meer op dezelfde bouwlaag gelegen ruimten gelegen in een brandcompartiment die niet door een dragende scheidingsconstructie van elkaar zijn gescheiden en die geen toiletruimte, badruimte, technische ruimte of verkeersruimte zijn, tenzij die ruimte zelf een functieruimte is.
Interne warmtelast	Warmtebelasting binnen een gebouw; bijvoorbeeld veroorzaakt door de aanwezigheid van personen, apparatuur of verlichting.
Primaire energie	Volgens NEN 7120: Energie die niet is onderworpen aan enig conversie- of transformatieproces.
Sankey diagram	Specifiek type stroomdiagram waarbij de breedte van de pijlen evenredig is aan de grote van de stroom.

Schijnbare vermogen	Het werkelijk vermogen vermenigvuldigd met de arbeidsfactor in een wisselspanninginstallatie, uitgedrukt in VA.
Splitsysteem	Volgens NEN 7120: Compressiesysteem voor koeling en/of verwarming, bestaande uit één buiten- en een of meer binnendelen, die met twee dunne koelleidingen met elkaar zijn verbonden.
Stooklijn	Weergave van de relatie tussen de buitentemperatuur en de gevraagde toevoer temperatuur voor afgiftesystemen.
Veegschakeling	Centraal gestuurde schakeling waarbij groepen van installaties tegelijk aan of uit geschakeld worden.
Zontoetredingsfactor	Aandeel van de totale zonne-energie op het glasoppervlak dat terecht komt in het vertrek. Of volgens NEN 7120: Verhouding tussen de door het raamsysteem binnenkomende zonnewarmtestroomdichtheid en de op dat raamsysteem vallende zonnestralingsdichtheid.
Zomernachtventilatie	Passieve verkoeling door gedurende de zomernachten het gebouw te ventileren.

1. Inleiding

Bij een brede school in Joure, momenteel in aanbouw, is sprake van een PPS constructie tussen de plaatselijke gemeente 'De Friese Meren' en het bedrijf Facilicom. Hierin zal Facilicom het ontwerp en de realisatie verzorgen, gevolgd door het onderhoud gedurende 25 jaar. Er zijn vaste waarden afgesproken voor het totale energie en watergebruik op jaarbasis, hier binnen ligt het prijsrisico, als gevolg van een wisselend energietarief, bij de gemeente. De afgesproken waarden zijn 283MWh voor het energiegebruik (alleen elektriciteit, geen gasaansluiting), en 2.000 m3 voor tapwater. Wanneer de waarden worden overschreden zal Facilicom het overschot vergoeden. Bij een lager gebruik dan de afgesproken waarden betaald de gemeente nog steeds voor de afgesproken waarden volgens het actuele tarief.

In de afspraken is vooralsnog geen regeling getroffen voor veranderingen in het gebruik van de school. De manier waarop de school wordt gebruikt heeft echter wel invloed op het energiegebruik. Het zou wenselijk zijn om ten aanzien van het gebruik van het gebouw, enige nuancering in de afspraak aan te brengen. Zodanig dat de gemeente bijvoorbeeld niet hoeft te betalen voor extra energiegebruik, als gevolg van achterstallig onderhoud; en dat Facilicom bijvoorbeeld niet hoeft te betalen voor extra energiegebruik, doordat het gebouw ook open is buiten de afgesproken gebruikstijden. Wanneer de invloed, van de wijze van gebouwgebruik op het energiegebruik, kan worden gekwantificeerd, kunnen zowel de besparingen als overschrijdingen van de afgesproken waarden worden gedeeld. Dit zal het financiële risico voor beide partijen beperken.

Het doel van dit verslag is het aanreiken van een methode waarmee het energiegebruik van de brede school in Joure kan worden beoordeeld, zodat eventuele afwijkingen van het beoogde gebruik van het gebouw proportioneel kunnen worden verrekend.

Met het energiegebruik wordt in deze context het gebruik van energie bedoeld ten behoeve van: verwarmen en koelen, ventilatie, verlichting, gebruiksapparatuur en warm tapwater. Bij het gebruik van de school kan men denken aan gebruikstijden en bezettingsgraad van de verschillende ruimten en ingestelde setpoints voor temperatuur.

Benodigde gegevens voor het maken van dit rapport zijn verzameld via literatuurstudie, simulaties en persoonlijk contact met de installateur.

Uitgangspunten waarop dit rapport is gebaseerd zijn de door de architect en installateur gespecificeerde eigenschappen van het gebouw en de installaties.

In hoofdstuk 2 van dit verslag zal het doel nog een keer worden herhaald, gevolgd door een aantal subdoelen. Deze subdoelen zijn gedefinieerd als te verwachten effecten, bij behalen van het hoofddoel. Om het doel concreter te maken zijn in hoofdstuk 3 een aantal eisen opgesteld, waaraan de methode zal moeten voldoen. Hierna wordt het bepalen van de methode beschreven. De methode zal gebruik maken van nog te bepalen referentiewaarden, en kengetallen voor de invloed van gebouwgebruik op het gebouwenergiegebruik. Hoofdstuk 4 beschrijft de eigenschappen van het gebouw, die belangrijk zijn om het bepalen van de genoemde referentiewaarden en kengetallen, in respectievelijk hoofdstuk 5 en 6, goed te kunnen volgen. Hoofdstuk 7 geeft meetrichtlijnen voor het registreren van het daadwerkelijke gebruik en energiegebruik van het gebouw. In hoofdstuk 8 zijn richtlijnen benoemd voor het in gebruik nemen van de beschreven methode. Tot slot zijn een aantal conclusies en aanbevelingen geformuleerd in hoofdstuk 9.

2. Doelen

Dit hoofdstuk beschrijft de beoogde doelen van dit verslag. Onderscheid wordt gemaakt in een hoofddoel en een aantal subdoelen, beschreven in de paragrafen 2.1 en 2.2 respectievelijk.

2.1. Hoofddoel

Het hoofddoel van dit verslag is het aanreiken van een methode waarmee het energiegebruik van de brede school in Joure kan worden beoordeeld, zodat eventuele afwijkingen van het beoogde gebruik van het gebouw proportioneel kunnen worden verrekend.

2.2. Subdoelen

Wanneer het hoofddoel wordt bereikt, en de methode in de praktijk wordt toegepast, zijn automatisch een aantal positieve effecten te verwachten. Deze effecten kunnen worden beschouwd als subdoelen, hieronder zijn de belangrijkste weergegeven.

1. Generen van basisdocumentatie voor financiële transacties

Documentatie van de metingen kan als basis dienen voor de verrekening van afwijkingen in het gebruik, om zo de kosten gelijkwaardig over de gemeente en Facilicom te verdelen. Ook biedt dit de mogelijkheid voor de gemeente om de kosten per gebruiker meer inzichtelijk te maken.

2. Verhoogde energiebesparing

Het nauwkeurig in kaart brengen van de invloed van specifieke gebruiksinvloeden op het energiegebruik kan van waarde zijn voor eventuele heroverweging van de gebruiksstrategie. Op basis van meet en validatie feedback kunnen andere bezettingsgraden en tijden worden bepaald met een lager totaal energiegebruik.

3. Verhoogde kans op financiering voor toekomstige projecten

Goed toegepaste meet en validatie gedurende de gebruikperiode verhoogd de transparantie en geloofwaardigheid van de rapportages. Dit zou in het voordeel voor Facilicom kunnen zijn bij het verwerven van nieuwe opdrachten.

4. Verbeterd gebouwbeheer en onderhoud

Meet en validatie technieken kunnen problemen in het beheer en onderhoud aan het licht brengen en daarmee beperken, waardoor het gebouw efficiënter beheerd kan worden. Deze informatie kan vervolgens als feedback dienen voor toekomstige of parallelle Facilicom projecten.

5. Ondersteuning van de evaluatie van vergelijkbare projecten

Met behulp van statistiek en bepaalde aannames kunnen de prestaties van vergelijkbare projecten, die niet onderhevig zijn aan een meet en validatie programma, beter worden ingeschat.

6. Verhoging van maatschappelijke draagvlak

Door het verbeteren van de transparantie van het energie en watermanagement binnen het gebouw, zullen eventuele besparingen en emissiereducties voor het publiek aannemelijker worden. Dit kan het maatschappelijk draagvlak voor vergelijkbare projecten verhogen, wat zowel voor de gemeente als voor Facilicom in toekomstige mogelijkheden kan resulteren.

3. Methode van beoordelen

Dit hoofdstuk beschrijft de methode voor beoordelen van het energiegebruik van de Brede School in Joure. Allereerst wordt in paragraaf 3.1 een aantal eisen voor de methode opgesteld. Hierna volgt in paragraaf 3.2 het bepalen van hoe de methode er in de basis uit zal zien. In paragraaf 3.3 wordt de methode verder toegelicht, door deze in procesvorm te beschrijven.

3.1. Eisen aan de methode

Op basis van de hoofddoelstelling zijn een aantal eisen opgesteld waar de methode aan zal moeten voldoen. Allereerst worden een aantal algemene eisen opgesteld. Daarna zijn er aanvullende eisen gedefinieerd met betrekking tot de benodigde middelen en kennis, om het beoogde proces effectief te kunnen doorlopen. Deze eisen zijn gebaseerd op de inschatting van de schrijver, met als doel het verslag als zodanig zo veel mogelijk waarde te geven.

Algemene eisen

Als algemene eis is gesteld dat de methode moet voorzien in het afzonderlijk beoordelen van het energiegebruik, voor ten minste de volgende energiefuncties:

- Verwarming en koeling
- Verlichting
- Ventilatie
- Apparatuur
- Tapwater

Eisen ten aanzien van de effectiviteit van dit document

Het is wenselijk dat, aan de hand van dit rapport, het proces beoordeling van het energiegebruik kan worden uitgevoerd door bijvoorbeeld de beheerder van het gebouw. Voor de benodigde middelen en kennis zijn de volgende eisen opgesteld.

- Het proces moet uit te voeren zijn met behulp van relatief eenvoudige middelen:
 - Wel gebruik van spreadsheets.
 - Geen gebruik van gespecialiseerde calculatie- of simulatiesoftware.
- Het proces moet uit te voeren zijn door personen met de volgende kennis:
 - Algemene kennis van installatietechniek
 - Kennis van de specifieke eigenschappen van de school: installatietechnisch, bouwkundig, regeltechnisch etc.

3.2. Bepalen methode

Als basis voor dit verslag wordt gebruikt gemaakt van het IPMVP- protocol (International Performance Measurement and Verification Protocol), waarvan eerst een introductie in paragraaf 3.2.1. De begrippen `referentie- en rapportageperiode` worden in 3.2.1 geïntroduceerd, hiervan volgt een specificatie in paragraaf 3.2.2. Paragraaf 3.2.3 omschrijft waarom, en in hoeverre, de methode voor dit verslag zal afwijken van de methode(n) in het IPMVP- protocol.

3.2.1. Introductie meet- en validatie volgens IPMVP

Het IPMVP- protocol definieert standaard termen en suggereert `best practice` voor het kwantificeren van de resultaten van energie efficiency investeringen. Het protocol is ontwikkeld door een coalitie van internationale organisaties, geleid door het United States Department of Energy, genaamd EVO (Efficiency Valuation Organization). Sinds de introductie van de eerste versie van het protocol in 1996 is het uitgegroeid tot de nationale meet- en validatie standaard in de Verenigde Staten, het is inmiddels vertaald in 10 talen. Het protocol is gratis te verkrijgen via de website www.evo-world.org en wordt uitgebracht in drie versies, waarvan de eerste mondiaal het meest wordt gebruikt (Volume 1 Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings).

De belangrijkste reden voor het IPMVP initiatief was de noodzaak voor een standaard protocol om besparingen te verifiëren die door Energy Service Companies (ESCO's) werden geclaimd. Er wordt gesproken van een ESCO wanneer de eigenaar van een gebouw de energievoorziening en het management daarvan uitbesteedt aan een externe organisatie (de ESCO). Het doel van een dergelijke samenwerking is vaak om op de totale kosten ten aanzien van energie te besparen, omdat

een gespecialiseerd bedrijf theoretisch beter in staat zou zijn de meest efficiënte oplossingen te vinden. Een ESCO zal vaak zogenaamde Energy Conservation Measures (ECM's) implementeren: maatregelen voor het besparen van energie, waarvan met behulp van het IPMVP de specifieke besparingen in kaart kunnen worden gebracht.

Binnen de PPS-constructie, toegepast bij de Brede school in Joure, is de rol van Facilicom ondermeer die van een ESCO. Om die reden lijkt het voor de hand liggend om gebruik te maken van IPMVP-richtlijnen, als basis voor de methode voor beoordelen van het energiegebruik.

Bij gebruik van het IPMVP-protocol zijn er grofweg twee methoden te onderscheiden:

- **Retrofit isolatie:**
Meet en validatie van specifieke parameters binnen een systeem, normaliter de parameters die onderhevig zijn aan verandering na de implementatie van een besparende maatregel.
- **Gehele installatie:**
Meet en validatie van alle relevante parameters binnen één installatie, in dit geval het schoolgebouw.

Omdat het in dit geval niet gaat om het aanbrengen van besparende maatregelen, maar om de beoordeling van de gehele installatie zoals hij wordt opgeleverd, zal worden gekozen voor de gehele installatie

Bij toepassing van de `gehele installatie` methode zijn er, afhankelijk van de beschikbare gegevens, weer een tweetal aanpakken te onderscheiden:

- **Meting referentieperiode en meting rapportageperiode**
Bij deze aanpak worden de basisprestaties vastgesteld als referentiemateriaal, gevolgd door een bepaalde interventie aan de installatie(s). Na de interventie worden opnieuw de prestaties vastgesteld en kan een vergelijking worden gemaakt. Belangrijk is hierbij dat er correcties worden aangebracht voor veranderingen in uitgangswaarden.
- **Gekalibreerde simulatie in combinatie met meting rapportage periode**
Hierbij word de referentieperiode gesimuleerd op basis van realistische uitgangswaarden. Vervolgens kunnen de referentiegegevens worden vergeleken met de daadwerkelijk gemeten waarden om zo tot een beoordeling te kunnen komen. Ook hier is het belangrijk dat eventuele afwijkingen in gesimuleerde en daadwerkelijke uitgangswaarden gecorrigeerd worden.

Bij gebrek aan een daadwerkelijke referentieperiode is het noodzakelijk om voor de tweede optie te kiezen. In de simulatie zullen alle basisparameters als gebruikstijden, setpoints en klimaat als uitgangspunt worden gebruikt.

3.2.2. Specificatie van referentie en rapportageperiode

Voor het specificeren van de referentie en rapportageperiode worden een aantal zaken in acht genomen. Allereerst is het belangrijk dat de periode alle mogelijke `modes` van gebruik omvat. Verder moet de periode minstens een volledige gebruikscyclus vertegenwoordigen, met daarin zowel het maximum als het minimum energiegebruik. Dit betekent dat beide perioden ten minste de duur zullen hebben van een volledig jaar.

Voor de vergelijking is het van belang dat enkel tijdsperioden worden meegenomen waarvan alle benodigde data beschikbaar is. Mocht het voorkomen dat gedurende een deel van de rapportageperiode bepaalde data afwezig is, dan moet deze vervangen worden met data uit een periode die representatief is aan het ontbrekende deel. Welke data het best als substituuat kan worden gebruikt zal te zijner tijd moeten worden beoordeeld. Er kan worden gekeken naar een periode met uitgangswaarden die zo veel mogelijk overeenkomen. In het geval van een ontbrekende dag kan bijvoorbeeld data van een dag zo dicht mogelijk bij de ontbrekende dag worden gebruikt, met vergelijkbare bezettingsgraad, bezettingstijden en klimaatinvloeden.

Wanneer het gebouw in gebruik wordt genomen zullen nog niet alle regelingen zijn geoptimaliseerd. Voor die tijd is het niet verstandig om aan te vangen met de rapportageperiode. Er kan wel al worden begonnen met het verzamelen van data op dezelfde wijze als gedurende de rapportageperiode. Deze data kan dienen als input voor de beoordeling van de huidige staat van regeling, en zo worden gebruikt voor het bepalen van de aanvang van de rapportageperiode. Wat hiervoor de criteria zijn zal worden beschreven in hoofdstuk 8.

3.2.3. Specifieke methode voor dit verslag

Dit rapport zal worden opgeleverd voordat de rapportagegegevens compleet zijn; wat betekent dat bij het toepassen van een daadwerkelijke gekalibreerde simulatie er op een later tijdstip opnieuw gesimuleerd zal moeten worden, met de gerapporteerde waarden als input. In dit scenario heeft het verslag op zichzelf nog weinig te bieden ten aanzien van de hoofddoelstelling. Nuttiger lijkt het om de simulatie te gebruiken voor het genereren van kengetallen, waarmee de invloed van het gebruik gekwantificeerd kan worden. Deze kunnen vervolgens direct gebruikt worden, zonder de noodzaak van gespecialiseerde simulatiesoftware. Het proces waarop dit zal verlopen wordt nader toegelicht in paragraaf 3.3.

3.3. Procesindicatie

Deze paragraaf beschrijft hoe het proces van meet en validatie er uit zal zien. Zoals beschreven in paragraaf 3.2.3. zal er geen sprake zijn van een daadwerkelijk gekalibreerde simulatie, waarin achteraf de rapportageperiode wordt gesimuleerd met de gemeten omgeving en gebruiksinvloeden als input. Gekozen is voor een aanpak waarin op voorhand, voor de verschillende energiefuncties, jaarlijkse referentiewaarden en kengetallen voor gebruik en omgevingsinvloeden worden bepaald. Op basis hiervan kan na de rapportageperiode(n), wanneer ook de gemeten gegevens beschikbaar zijn, het energiegebruik worden beoordeeld.

Er wordt vooralsnog van de volgende aannames uitgegaan:

- Energie voor verlichting, warm tapwater en ventilatie is alleen afhankelijk van de gebruikstijd maal de bijbehorende oppervlakte en/of de gebouwbezetting.
- Energie voor apparatuur is alleen afhankelijk van de gebruikstijd maal de bijbehorende oppervlakte en/of de bezetting, in combinatie met een waarde voor het vermogen per eenheid van oppervlakte.

Volgens de bepaling in de NEN 7120 is de jaarlijkse energiebehoefte voor verlichting, naast een relatief klein vast deel voor parasitaire verlichting, recht evenredig met de gebruikstijden maal de bijbehorende gebruiksoppervlakte. Verondersteld wordt dat dit, bij benadering in de praktijk, ook voor het gebruik van warm tapwater en gebruiksapparatuur geldt (de NEN 7120 specificeert vaste waarden voor specifieke netto warmtebehoefte voor warm tapwater afhankelijk van de gebruiksfunctie, energie voor gebruiksapparatuur is niet gebouwgebonden en maakt geen onderdeel uit van de EPG bepaling).

Bovengenoemde aannames maken het meet en validatie proces minder complex en daardoor relatief eenvoudig om uit te voeren. Hierdoor is er minder ruimte voor fouten, en zal de beheerder er zo min mogelijk tijd voor nodig hebben. Daarbij komt dat zonder deze aannames de nauwkeurigheid niet per definitie hoger zal zijn, omdat er dan meer variabelen in het proces moeten worden geïntroduceerd. Voor de extra variabelen zullen ook aannames gedaan moeten worden, omdat zowel de mate waarin als de manier waarop ze het proces beïnvloeden niet altijd voor de hand liggen.

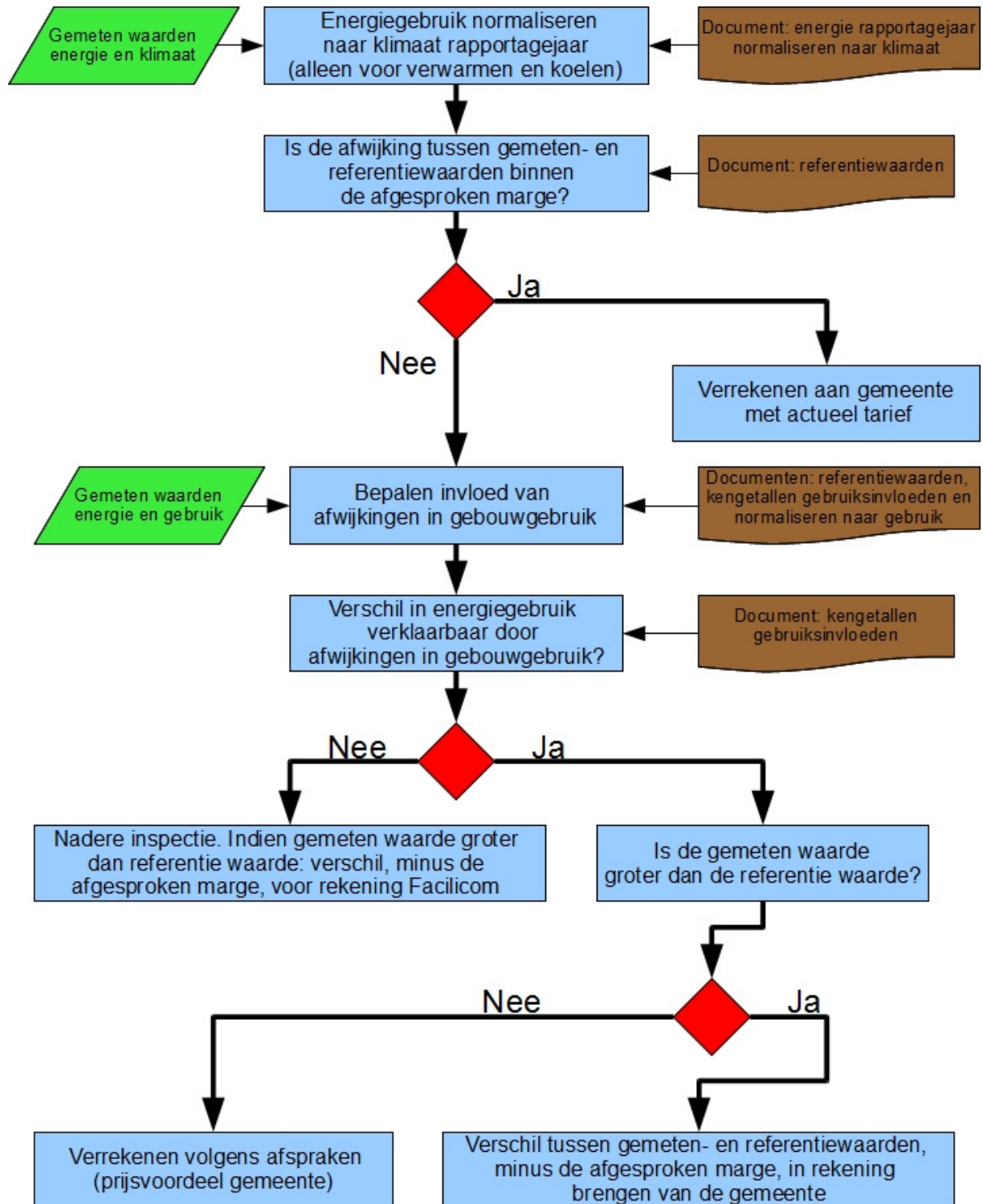
Zoals eerder beschreven zal er per energiefunctie een afzonderlijke meet- en validatie worden uitgevoerd. In Figuur 3.1 is een stroomdiagram weergegeven, deze illustreert hoe de beoordeling van het energiegebruik per energiefunctie zou kunnen gaan.

Als variabele input zien we de gemeten waarden van het energiegebruik en het klimaat, en de waarden met betrekking tot het gebruik van het gebouw. De documentatie van berekende referentiewaarden en kengetallen voor gebruiksinvloeden wordt gebruikt als vaste input. Eveneens als vaste input dienen de documenten voor het normaliseren van het gemeten energiegebruik.

Allereerst wordt de gebruikte energie voor verwarmen of koelen genormaliseerd met de klimaatgegevens, zodat deze te vergelijken is met de referentiewaarden. De gebruikte energie voor de overige energiefuncties behoeft geen normalisatie met het klimaat en wordt direct met de referentiewaarde vergeleken. Vervolgens kan worden bepaald of het verschil tussen de gemeten (al dan niet genormaliseerde) waarde en de referentiewaarde, binnen de afgesproken marge valt. Is dit het geval, dan kunnen de kosten worden verrekend volgens de huidige afspraken (aan de gemeente) met gebruik van het actuele tarief. Als dit niet het geval is dan kan worden bepaald wat de te verwachten invloed op het energiegebruik is, als gevolg van gemeten afwijkingen in gebouwgebruik. Hiermee is vervolgens te bepalen of de afwijking in energiegebruik te verklaren is door afwijkend gebouwgebruik. Is dit het geval, en is de gemeten waarde voor energiegebruik lager dan de referentiewaarde, dan is dit automatisch in het voordeel van de gemeente door de lagere energiekosten. Is de afwijking te verklaren door afwijkende gebruikstijd en/of setpoints, maar is de

gemeten waarde hoger dan de referentiewaarde, dan kan worden afgesproken dat het verschil eveneens door de gemeente wordt vergoed in plaats van door Facilicom.

Is de afwijking niet verklaarbaar door een afwijking in gebruikstijd en/of setpoints, dan is het wenselijk een nadere inspectie uit te voeren aan de installaties en/of de regeling. Facilicom is verantwoordelijk voor het beheer van het gebouw en de installaties (inclusief de regeling) en kan, wanneer de gemeten waarden hoger zijn dan de referentiewaarden, het verschil in energiekosten vergoeden.



Figuur 3.1 - Stroomdiagram beoordeling energie per energiefunctie

4. Omschrijving brede school Joure

De brede school* in Joure staat centraal in dit document. De opdrachtgever, gemeente 'De Friese Meren', heeft als doel een MFA (multifunctionele accommodatie) waarbij de hoofdfuncties gericht zullen zijn op onderwijs, kunst, sport, cultuur en welzijn. Zoals genoemd in de opdracht omschrijving is er sprake van een PPS constructie (publiek-private samenwerking) tussen de gemeente en het bedrijf Facilicom. Binnen de PPS is sprake van een DBM (Design, Build & Maintain) contractvorm, waarbij de duur van de onderhoudsperiode 25 jaar zal zijn. Gedurende deze periode is er sprake van de volumegarantie voor elektra en water van 283.500 kWh en 2.000 m³ respectievelijk. De gemeente betaald dus sowieso elk jaar voor deze volumes, volgens het actuele tarief. Wanneer de volume kengetallen worden overschreden zal Facilicom het overschot vergoeden.

Het gebouw zal vijf gebruikers gaan huisvesten, te weten:

- Fusieschool Basisschool
- E.A.Borgerschool Basisschool
- Miks Buurthuis
- SKIK Kinderopvang
- It Toanhus Centrum voor Kunst

Het gebouw kent twee verdiepingen, waarvoor in tabel Tabel 4-1 het BVO (Bruto vloer oppervlak) in vierkante meter voor de verschillende zones wordt weergegeven (in totaal 4016m²).

Tabel 4-1 - BVO gebruikers

	BVO Begane grond(m2)	BVO Eerste verdieping(m2)
Totaal	2331	1741
Fusieschool	536	480
E.A.Borgerschool	446	605
Miks	21	
SKIK	338	91
It Toanhus	277	300
Gemeente	283	
Algemeen	374	265

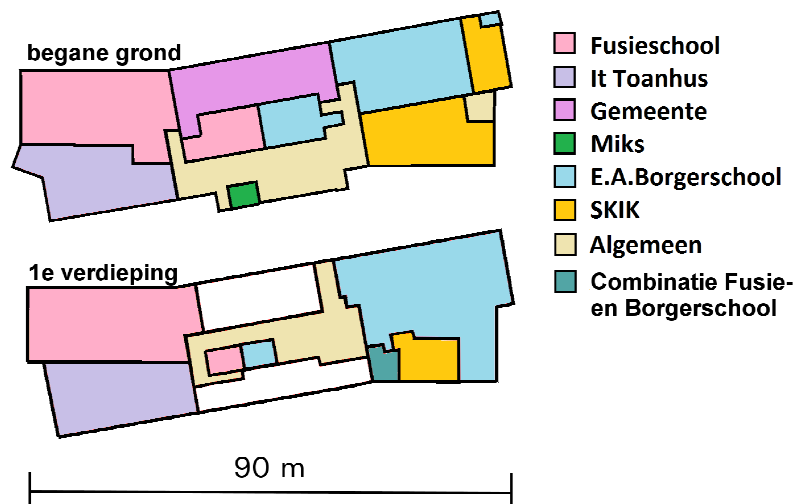
In dit hoofdstuk zullen de eigenschappen van het gebouw verder worden toegelicht, te beginnen met de zone indeling van de verschillende gebruikers van het gebouw. Hierna volgt een beschrijving van de toegepaste installaties, de bouwkundige eigenschappen, de ruimte eigenschappen en tot slot een toelichting van de PPS constructie die wordt gebruikt. De beschreven eigenschappen zijn gebaseerd op de volgende documenten:

- *Bouwtekeningen Brede School Joure*, Bureau Bos, 2012.
- *Brede School te Joure*, Omschrijving Technische installaties. Westermann, 2014.
- *Gebruiksparameters Brede School Joure*. Westermann, 2014.
- *Principeschema's Brede School Joure*. Westermann, 2014.
- Regeltechnische omschrijving Brede school Joure. Re3com, 2014.

* Een brede school combineert onderwijs met voorzieningen als naschoolse opvang, sport, welzijn of cultuur. Brede scholen zijn er niet alleen voor leerlingen, maar ook voor ouders en de buurt.

4.1. Zone indeling brede school Joure

In Figuur 4.1 zien we een gesimplificeerde plattegrond van de begane grond van de school. De afbeelding dient ter illustratie van de zone indeling van de verschillende gebruikers. De zone indeling voor de eerste verdieping is nagenoeg hetzelfde als voor de begane grond. Uitzondering hierop zijn de afwezigheid van het Miks buurthuis, een groter oppervlak voor de E.A.Borgerschool ten koste van de Skik kinderopvang, een gecombineerd onderzoekslokaal van de Fusieschool en de E.A.Borgerschool en een kleiner algemeen deel door de afwezigheid van het entreegedeelte. Omdat de gymzaal (gemeentedeel op tekening) en de centrale hal de hoogte hebben van twee standaard verdiepingen zien we hier op de eerste verdieping geen invulling.



Figuur 4.1 – Zone-indeling gebruikers

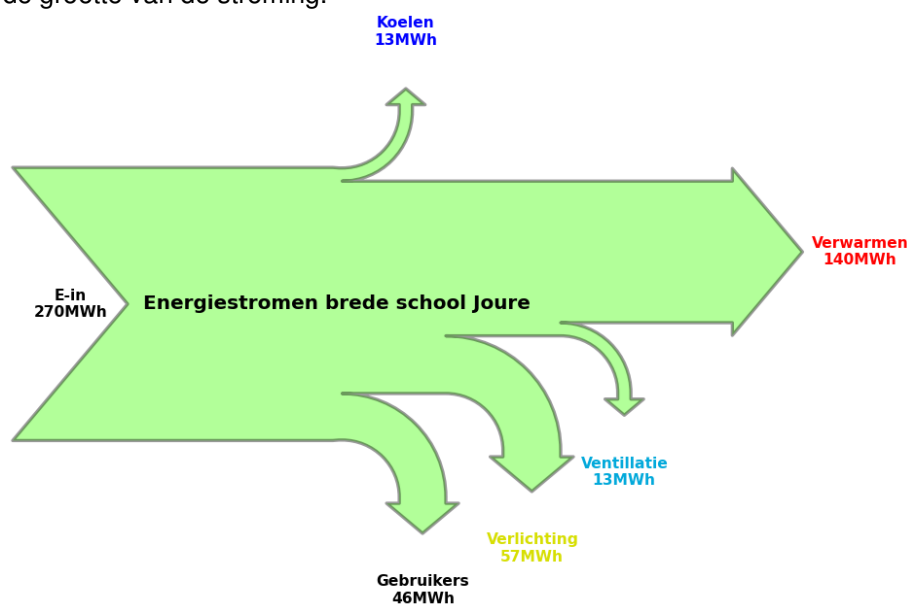
4.2. Toelichting PPS constructie

In deze paragraaf zal de PPS constructie tussen Facilicom en gemeente De Friese Meren verder worden toegelicht.

Bij een PPS constructie is er sprake van een prestatiecontract tussen een publiek en private partij. Voor de verrekening van de kosten bij prestatie contracten valt er onderscheid te maken in drie verschillende structuren:

1. Gedeelde besparingen; aangetoonde besparingen worden gedeeld.
2. Gegarandeerde besparing; maandelijkse beloning voor een aangetoonde besparing.
3. Vaste afdracht; maandelijks bedrag voor de dienstverlening.

Bij een PPS constructie is er sprake van een vaste afdracht. In dit geval de eerder genoemde volumegarantie van 283 MWh elektrisch en 2.000 m3 tapwater op jaarbasis, waarbij het prijsrisico bij de gemeente ligt. Het prijsrisico heeft in dit geval betrekking op de variatie in elektriciteit- en waterprijs. Verondersteld wordt dat de bovengenoemde waarden zijn gebaseerd op een energieberekening die in een relatief vroeg stadium is gedaan door een adviseur (*EK PPS Joure v3*. Vitrivius bouwkostenadvies. 2012). Van deze berekening zijn op het moment van schrijven alleen de resultaten beschikbaar, waarvan het totaal overeenkomt met de afgesproken volumegarantie. Op basis van deze resultaten is in Figuur 4.2 een Sankey diagram weergegeven. Een Sankey diagram is een specifiek type stroomdiagram, die in dit geval de jaarlijkse energiebehoefte van de verschillende energiefuncties zal illustreren. Kenmerkend voor dit type diagram is dat de breedte van de pijlen proportioneel is met de grootte van de stroming.



Figuur 4.2 - Sankey op basis van energieberekening uit 2012 | Bron: *EK PPS Joure v3*. Vitrivius bouwkostenadvies, 2012

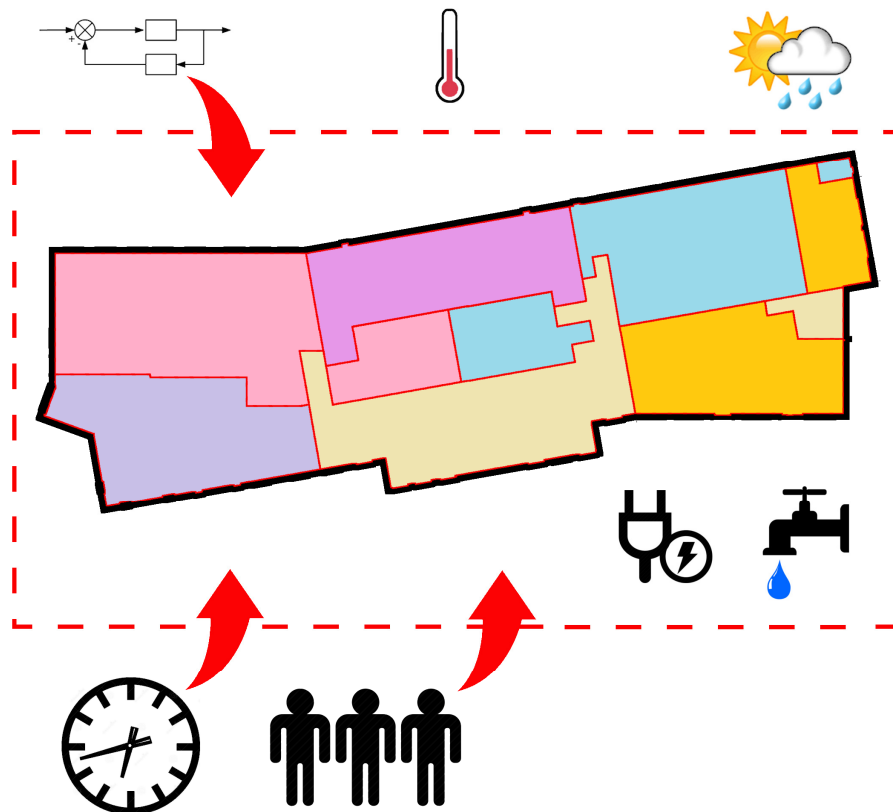
Contractuele systeemgrenzen

Volgens de huidige afspraken ligt de systeemgrens voor het verrekenen van het PPS contract bij de meters van het meetbedrijf. Dit betreft de hoofdmeters voor elektrische energie en water voor het gehele gebouw.

Een aantal parameters hebben invloed op het energiegebruik, maar liggen momenteel buiten de invloedssfeer van de opdrachtgever:

- Het buitenklimaat.
- Gedrag van de gebruiker ten aanzien van setpoints, te openen ramen, schakelen van het licht, activeren van de zonwering.

In Figuur 4.3 zien we een schematische weergave van het gebouw, waarbij de rode stippellijn de systeemgrens voor het PPS contract representeert. Binnen deze grens zien we rechtsonder voornamelijk alleen de eindwaarden voor jaarlijks elektra en watergebruik (weergegeven met een stekker en een kraan). Buiten de systeemgrens zijn de belangrijkste invloeden op het energiegebruik weergegeven. Hierbij valt onderscheid te maken tussen de invloed van het klimaat en de invloed van de manier waarop het gebouw wordt gebruikt. Het doel van dit verslag is om een methode te beschrijven waarmee de invloeden van het gebruik, zo veel mogelijk binnen de systeemgrenzen van het PPS contract kunnen worden geplaatst (zoals geïllustreerd door de pijlen).

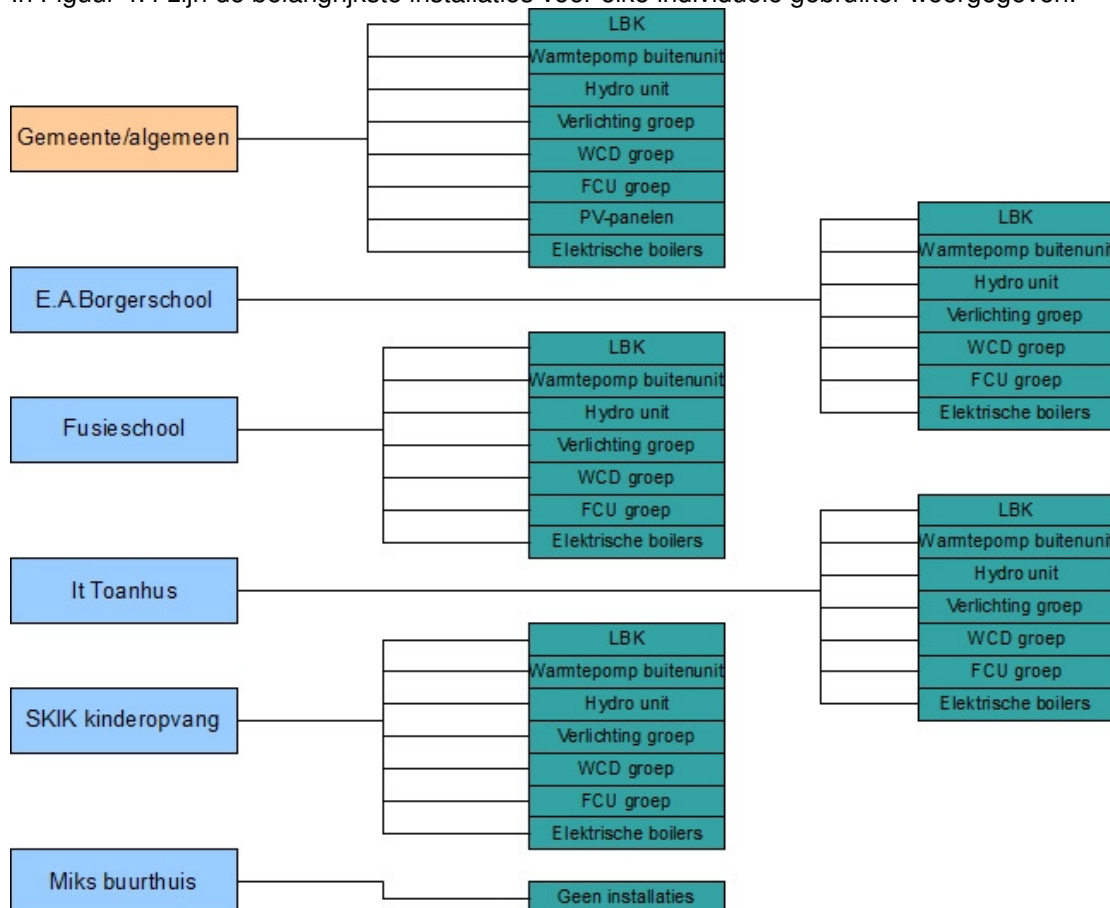


Figuur 4.3 - Systeemgrenzen

4.3. Installaties

In deze paragraaf worden de voor dit verslag belangrijke installaties besproken. Na een globale beschrijving van de aanwezige installaties in het gebouw, zullen in een aantal subparagrafen, per energiefunctie de individuele installaties worden toegelicht.

In Figuur 4.4 zijn de belangrijkste installaties voor elke individuele gebruiker weergegeven.



Figuur 4.4 - Gebruikers en installaties

Voor de warmte en koude opwekking zijn er de warmtepompen, waarbij de Hydro units en FCU's (Fan coil unit) als binnenunits dienst doen, dit zijn gelijk de lokale afgifte installaties voor warmte en koude. In het geval van de FCU's wordt de warmte of koude direct aan de lucht in de ruimten afgedragen, de Hydro units verwarmen of koelen indirect de ruimten via een vloerverwarmingcircuit.

Ten behoeve van gebruiksapparatuur heeft elke gebruiker een afzonderlijke groep voor de WCD's (wand contact doos), ook zijn er afzonderlijke groepen voor de verlichting per gebruiker. Verder beschikt iedere gebruiker over een aantal elektrische boilers voor de opwekking van warm tapwater. Als onderdeel van het algemene deel is er een groep PV-panelen (Photovoltaics), voor de opwekking van elektrische energie.

Niet elke gebruiker beschikt over een eigen Hydro unit, van de in totaal drie Hydro units is er één voor het algemene deel en worden er twee gedeeld. De Fusieschool en It Toanhus hebben samen één Hydro unit, net als de E.A.Borgerschool en SKIK kinderopvang.

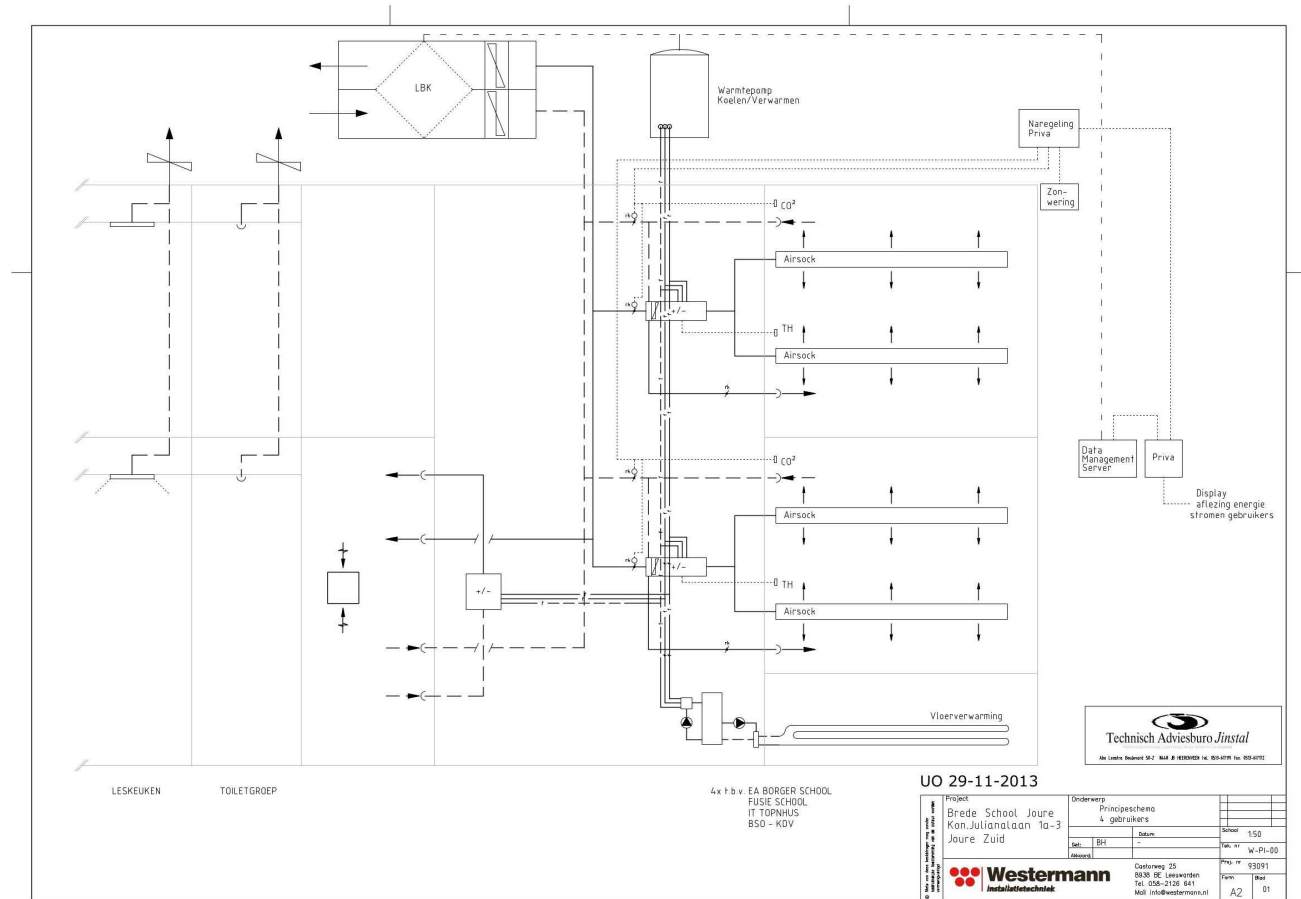
Ook is er een koppeling van de koudemiddelstroom; bij de warmtepomp buitenunits van de Fusieschool en It Toanhus, en van de E.A.Borgerschool en SKIK kinderopvang. Dit is zo uitgevoerd zodat wanneer één van de buitenunits in storing is de andere gedeeld kan worden door twee gebruikers zodat er nog steeds warmte en of koude kan worden geleverd. Ook zorgt het systeem er voor dat de belasting van de buitenunits evenredig verdeeld wordt, zodat

Verder wordt voor de zoneverdeling voor de installaties geen onderscheid gemaakt tussen ruimte van de gemeente en algemene ruimte, deze zijn samengevoegd als één groep. Ook de enkele ruimte van

het Miks buurthuis is onderdeel van de algemene zone, en zal ook niet afzonderlijk worden besproken in dit verslag.

Ter verduidelijking is in Figuur 4.5 nog een principeschema van de installaties weergegeven, getekend door adviesbureau Jinstal, in opdracht van Westermann (de installateur). Het principeschema is een schematische indicatie van het werkingsprincipe, en de onderlinge interactie, van de verschillende installaties in het gebouw.

Een meer uitvoerige beschrijving van de afzonderlijke installaties volgt in de paragrafen 4.3.1 tot en met 4.3.5.



Figuur 4.5 - Principeschema installaties | Bron: Westermann 2014

4.3.1. Ventilatie en luchtbehandeling

Luchtbehandeling

Een vijftal LBK's (Lucht behandelings kast) zal worden geïnstalleerd. Hiervan is er één algemene en één voor elke gebruiker; met uitzondering van Miks, die maar één ruimte hebben. De LBK's beschikken over een kruisstroom WTW (warmteterugwinning) unit waarbij die van de algemene LBK een rendement heeft van 77% en de overigen een van 90%. De mate van energieteterugwinning wordt geregeld door een variabele bypassklep onderhevig aan een PID regeling. Volledige bypass is mogelijk, voor het toepassen van vrije koeling. De inblaasttemperatuur wordt gemeten en geregeld naar de gewenste inblaasttemperatuur. De regeling geschied op basis van de buitentemperatuur met behulp van een stooklijn.

Capaciteiten zijn conform PvE Frisse Scholen klasse B weergegeven in Tabel 4-2.

Tabel 4-2 - Capaciteiten LBK's

LBK	Gebruiker	Capaciteit (m3/h)
1	Fusieschool	10000
2	It Toanhus	3850
3	Gemeenschappelijk	6400
4	E.A.Borgerschool	9500
5	SKIK	4600

Om de kanaaldruk, die ook wordt beïnvloed door de onafhankelijk opererende FCU's (Fan coil unit), stabiel te houden wordt de toerenregeling druk gestuurd. Om dezelfde reden loopt de toerenregeling voor de afzuigventilatie synchroon met die van de toevoerventilatie. De bedrijfsuren worden cumulatief geregistreerd en in een dag- en maandtabel opgeslagen.

Lucht toevoer

Voor de toevoer van verse lucht wordt gebruik gemaakt van plafond en wandroosters in de lokalen, en van airsocks (lucht verdeelslangen) in de grote vertrekken. De kanalen voldoen aan het 'PvE Frisse Scholen' met: een geluidsniveau van maximaal 33 dB en een gemiddelde nagalm in de ingerichte groepsruimten tussen de 0,6 en 0,8 seconden.

Per ruimte wordt op basis van temperatuur en CO2 meting de luchtkwaliteit geregeld. De toevoerklep wordt naar de berekende stand gestuurd met een PI regelaar.

Lucht afvoer

Naast de centrale afvoer via de LBK wordt in een aantal ruimten gebruik gemaakt van dak afzuigventilatoren voor directe afvoer van lucht naar buiten. De toegepaste dakventilatoren zijn weergegeven in tabel Tabel 4-3, met bijbehorende capaciteiten. De dak afzuigventilatoren worden geregeld via een standenschakelaar of klokprogramma. In het schilder en keramieklokaal van It Toanhus zijn de afzuigopeningen voorzien van een hiervoor geschikt bevonden filter.

Tabel 4-3 - Capaciteiten dakafzuiging

Locatie	Capaciteit (m3/h)
Keuken	1500
Opslap/berging It Toanhus	1500
Diverse toiletgroepen	400

4.3.2. Verwarming en koeling

Warmtepomp buitenunits

Voor de verwarming en koeling van het pand worden een vijftal warmtepomp buitenunits geïnstalleerd die zullen voorzien in de totale opwekking van warmte en koude voor de school. De buitenunits zijn van het type lucht/lucht of lucht/water, afhankelijk van het afgifte medium. Eén buitenunit zal in de verwarming en koeling van het algemene deel voorzien. De overige zijn bestemd voor de gebruikers, met uitzondering van MIKS is er voor iedere gebruiker één buitenunit. De Buitenunits hebben een gemiddeld COP voor verwarmen en koelen van 4,0. Door toepassing van een 3-pijps systeem is er de mogelijkheid voor gelijktijdig verwarmen en koelen.

Er zijn 3 verschillende werkingprincipes te onderscheiden, met als voornaamste het gebruik van de buitenlucht als bron. Hiernaast kan één of meerdere specifieke FCU's (Fan coil unit) gebruikt worden als bron bij gebruik van het VRF (Variable refrigerant flow) systeem voor interne WTW. Tot slot kan elektrische bijstook worden toegepast in situaties waarbij de warmtepomp onvoldoende vermogen kan leveren of wanneer deze in storing is.

Verdeelboxen

Om de warmte effectief over de te verwarmen ruimten te verdelen worden in totaal 19 verdeelboxen of MCU's (Mode control unit) toegepast. Vanaf de buitenunit gaan er drie leidingen naar de MCU's met: heetgas, vloeistof en zuiggas. Vanaf de MCU's gaan er twee leidingen naar de binnendelen: één vloeistof en één zuiggasleiding. Er worden twee verschillende typen MCU's toegepast, waarop 4 of 6 binnendelen zijn aan te sluiten.

Op de begane grond komen 8 units met 4 aansluitingen, (twee waarop enkel één Hydro unit is aangesloten) en 3 Units met 6 aansluitingen. Op de eerste verdieping komen 5 units met 4

aansluitingen (één waarop enkel één Hydro unit is aangesloten), en 3 units met 6 aansluitingen. De inbouwhoogte van de MCU's bedraagt 195 mm.

Fan coil units

De FCU's zorgen samen met de vloerverwarming voor de afgifte van de opgewekte warmte en koude. Ook bij de FCU's is er sprake van twee verschillende typen. Allereerst een dunne kanaalunit met inbouwhoogte van 199mm, breedte vanaf 700mm en statische druk tussen de 20 en 60 Pa. De andere is een grotere medium statische druk unit met statische druk tussen 80 en 140 Pa. Deze is voorzien van een 2-aderig bus systeem voor communicatie met de buitenunit. De toeren voor de FCU's worden lokaal geregeld op basis van de CO2 concentratie in de gebruiksruidten. Afhankelijk van de gemeten en gewenste temperatuur staan ze in koel of verwarm modus.

Omdat de FCU's enkel in bedrijf zijn bij verwarming of koeling, en niet voor eventuele drukverhoging ten behoeve van ventilatie, kan al het opgenomen vermogen aan verwarming of koeling worden toegeschreven; afhankelijk van de gebruiksmode. Op basis van het aandeel FCU's dat per gebruiker in verwarmmodus staat, kan de opgenomen energie door de buitenunit worden opgesplitst naar verwarmen en koelen.

Vloerverwarming Hydro unit

Naast de FCU's zijn de Hydro units verantwoordelijk voor de afgifte van warmte en koude en zijn eveneens aangesloten op de buitenunits. In de units wordt koudemiddel gecondenseerd of verdampt, voor respectievelijk de opwarming of koeling van CV water. De vrijgekomen thermische energie wordt vervolgens via een klein afzonderlijk circuit overgebracht op het circuit voor de vloerverwarming (of koeling) via een tweede WW. Er komen in totaal drie units, waarvan één op de eerste verdieping. De units zijn voorzien van besturingsprint, warmtewisselaar, stromingsschakelaar en een elektronisch expansieventiel. De units zijn in staat om water te verwarmen tot een temperatuur van 50 °C en kunnen een buffervat binnen een bandbreedte van 5 °K op temperatuur houden. De vloerverwarming zelf wordt enkel toegepast op de begane grond.

Elektrische boilers

Voor de opwekking van warm tapwater zijn diverse individuele close in boilers aangebracht.

4.3.3. Verlichting

Armaturen

Voor de verlichting in het gebouw zijn er hoog frequente T5 armaturen in de verblijfsruimten en LED-verlichting in de verkeersruimten en kantoren. Voor de armaturen bij de raamzijde is er sprake van daglichtregeling, in de toiletten en gebruiksruidten wordt er gekoppeld met aanwezigheidsmelders. Per gebruiker is er centrale schakeling mogelijk met behulp van een veegschakeling en op basis van daglicht. Het gemiddelde vermogen voor verlichting bedraagt 8 W/m².

4.3.4. Regeling

Zonwering

Op alle gevels, met uitzondering van de Noordoost gevel, zal zonwering worden geïnstalleerd. Deze wordt per ruimte handmatig gestuurd. Bij regen of harde wind wordt de zonwering op gestuurd en geblokkeerd. Door middel van een veegpuls aan het einde van de dag, wordt alle zonwering op gestuurd.

Weerstation

Er zal gebruik worden gemaakt van een weerstation dat informatie over de buitentemperatuur, de windsnelheid en de mate van neerslag geeft.

4.3.5. Verdeling elektra

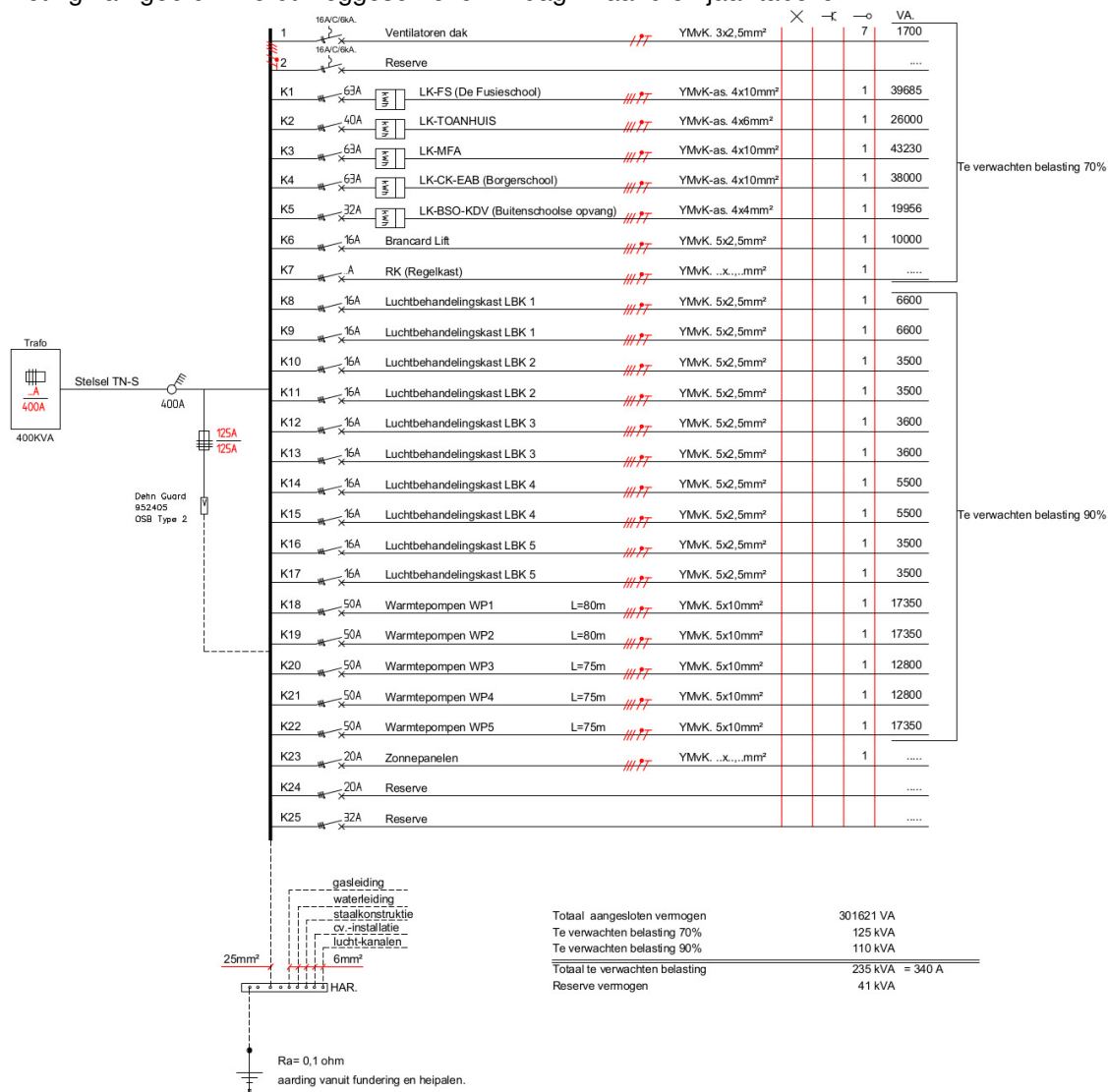
Hoofd verdeelinrichting

De HKL (hoofd verdeelinrichting) bevindt zich bij de hoofdentree van het gebouw, en is voorzien van afgaande voedingsvelden voor:

- Onderverdeelkast 1 ten behoeve van de Fusieschool
- Onderverdeelkast 2 ten behoeve van Ut Toanhus
- Onderverdeelkast 3 ten behoeve van de Multifunctionele Accommodatie
- Onderverdeelkast 4 ten behoeve van de Buitenschoolse Opvang
- Onderverdeelkast 5 ten behoeve van de E.A. Borgerschool
- De lift
- Regelkast
- Warmtepompen
- PV-panelen
- Elektrische deuren

In Figuur 4.6 zien we een meer uitgebreide schematische weergave van de HKL, waarop is te zien hoe de installatie(groepen) elektrisch zijn aangesloten. Hierin zijn ook de kabeldiameters weergegeven en het maximale schijnbare vermogen, uitgedrukt in VA.

De onderverdeelkasten voor de afzonderlijke gebruikers zijn voorzien van kWh (Kilowattuur) meters. Meting van gebruik wordt weggeschreven in dag- maand en jaar tabellen.



Figuur 4.6 - HKL schematisch | Bron: Westermann 2014

4.4. Bouwkundige eigenschappen

In dit deel zullen de bouwkundige eigenschappen van des school worden toegelicht. De bouwkundige eigenschappen van de school zijn in Tabel 4-4 weergegeven (Bron: *Uitgangspunten koellastberekening*. Technisch adviesbureau Jinstal, 2013). De waarden in de tabel zijn gebaseerd op de minimale eisen vanuit de EPG norm (NEN, 7120, 2012).

We zien in de tabel de opbouw van de verschillende constructiedelen. Per constructiedeel is de Rc waarde weergegeven, een maat voor de totale thermische weerstand. Vervolgens zien we de materialen waaruit de constructiedelen zijn opgebouwd met bijbehorende ρ , λ en c waarden; de eenheid voor dichtheid, de warmtegeleidingcoëfficiënt en de soortelijke warmte respectievelijk. Voor de beglazing en de kozijnen wordt een gemiddelde U waarde gegeven, dit is de warmtedoorgangcoëfficiënt, deze wordt verkregen door 1 te delen door de Rc waarde. Verder zien we bij type glas de ZTA waarde (zontoetredingsfactor), dit is het aandeel van de totale zonne-energie op het glasoppervlak dat terecht komt in het vertrek. Tot slot is een waarde voor de infiltratie weergegeven.

Tabel 4-4 - Constructie eigenschappen | Bron: Technisch adviesbureau Jinstal, 2013

Buitenmuur	Rc	5,0	m ² .K/W
Opbouw	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.k)	c (J/kg.K)
rockpanel	1050	0,35	840
isolatie minerale wol	35	0,035	840
gipsplaat	900	0,23	840
Binnenwand	Rc	0,1	m ² .K/W
Opbouw	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.k)	c (J/kg.K)
kalkzandsteen	2000	1	840
Begane grond vloer	Rc	5,0	m ² .K/W
Opbouw	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.k)	c (J/kg.K)
betonafwerklaag	2000	1,3	840
isolatie EPS	15	0,035	1470
beton verdicht gewapend	2500	1,9	840
isolatie EPS	15	0,035	1470
Tussenvloer	Rc	0,4	m ² .K/W
Opbouw	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.k)	c (J/kg.K)
beton afwerklaag	200	1,3	840
beton verdicht gewapend	2500	1,9	840
spouw horizontaal			
gipsplaat	900	0,23	840
Dak	Rc	5,0	m ² .K/W
Opbouw	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.k)	c (J/kg.K)
sedum begroeing	500	0,3	840
dakleer	1200	0,17	1470
isolatie minerale wol	35	0,035	840
staal	7800	41	480
spouw horizontaal			
gipsplaat	900	0,23	840
Glas (triple) + kozijn	U	1,2	W/m ² .K
Type glas	ZTA	40	%
Zonwering	Screens automatisch (niet op N)		

Infiltratie volgens	Epc	0,625 dm ³ /s per m ²
----------------------------	-----	---

4.5. Gebruiksparemeters

Tabel geeft een overzicht van de door de installateur benoemde gebruiksparemeters van het gebouw (*Gebruiksparemeters Brede School Joure*. Westermann, 2014). Tenzij anders genoemd zal in dit verslag worden uitgegaan van deze waarden.

Aangenomen wordt dat bij de setpoints voor temperatuur de setpoints voor verwarmen zijn, met een maximale afwijking van plus of min 2°C, en dat met de bovengrens van 23°C niet het setpoint voor koelen wordt bedoeld. Het setpoint voor koelen lijkt dus niet gespecificeerd, hiervoor zal in hoofdstuk een inschatting worden gedaan.

Tabel 4-5 - Ruimte *Gebruiksparemeters Brede School Joure* | Bron: Westermann, 2014

Ruimtebediening:

Setpoint ruimtetemperatuur dag:	21°C
Setpoint ruimtetemperatuur nacht:	17°C
Minimale ruimtetemperatuur instelling:	19°C
Maximale ruimtetemperatuur instelling:	23°C
Vrijgave binnenunits verwarmen, buitentemperatuur <:	15°C
Vrijgave binnenunits koelen, buitentemperatuur >:	20°C

Vloerverwarming:

Aanvoertemperatuur bij +15°C buitentemperatuur:	21°C
Aanvoertemperatuur bij -10°C buitentemperatuur:	24°C
Vrijgave vloerverwarming bij buitentemperatuur <:	15°C

Ventilatie lucht:

Gewenste Inblaas temperatuur:	18°C
Nachtventilatie aan als:	
Ruimtetemperatuur >	23°C
En buiten temperatuur >	10°C

Luchtkwaliteit:

Gewenste ruimtelucht kwaliteit:	950ppm CO2%
---------------------------------	-------------

5. Bepalen referentiewaarden energiegebruik

In dit hoofdstuk zal worden toegelicht op wat voor manier de referentiewaarden voor het energiegebruik van de school zullen worden bepaald. Het bepalen van de referentiewaarden zal grotendeels gebaseerd zijn op EPG berekening uit de NEN 7120-norm, deze zal kort worden toegelicht in paragraaf 5.1. In de paragrafen 5.2 tot en met 5.6 wordt per energiefunctie de methode beschreven, voor het genereren van referentiewaarden voor de benodigde energie op jaarbasis. Er wordt onderscheid gemaakt in de volgende energiefuncties:

- verwarmen en koelen
- verlichting
- ventilatie
- gebruik/apparatuur
- warm tapwater

In paragraaf 5.7 zullen alle resultaten worden samengevoegd. Dit overzicht zal worden vergeleken met de energievraag van vergelijkbare gebouwen, en de waarden in de energieberekening waarop de huidige volumegarantie is gebaseerd (*EK PPS Joure v3*. Vitrivius bouwkostenadvies. 2012). Bij eventuele significante afwijkingen zal een mogelijke verklaring worden beredeneerd. Omdat alleen de resultaten van deze energieberekening beschikbaar zijn, en geen gedetailleerde uitwerkingen, is een verklaring slechts speculatief.

5.1. Toelichting EPG berekening

Bepalen van referentiewaarden voor de verschillende energiefuncties binnen de school zal grotendeels gebaseerd zijn op methoden uit de NEN 7120 (2012). Bij wijze van toelichting volgen een aantal citaten uit de norm.

Algemeen (p.4):

“Deze norm geeft een bepalingsmethode voor de energieprestatie van een gebouw (EPG). Onder gebouw wordt hier verstaan zowel voor een woonfunctie of woongebouw als voor een utiliteitsgebouw. De methode is bedoeld als instrument voor de integrale beoordeling van energiezuinigheid van een gebouw en de bijbehorende installaties voor ruimteverwarming, koeling, ventilatie en tapwaterverwarming. “

Principe EPG (p.56):

“De bepaling van de energieprestatie kent vier toepassingsgebieden: nieuwbouw en bestaande bouw van woningen en nieuwbouw en bestaande bouw van utiliteitsgebouwen. De bepalingsmethode is voor de verschillende toepassingsgebieden zo veel mogelijk gelijk gehouden. Om recht te doen aan de verschillen tussen de toepassingsgebieden is de bepalingsmethode op bepaalde onderdelen echter verschillend. Ook zijn er verschillen in de keuze en uitwerking van de energieprestatie-indicatoren.“

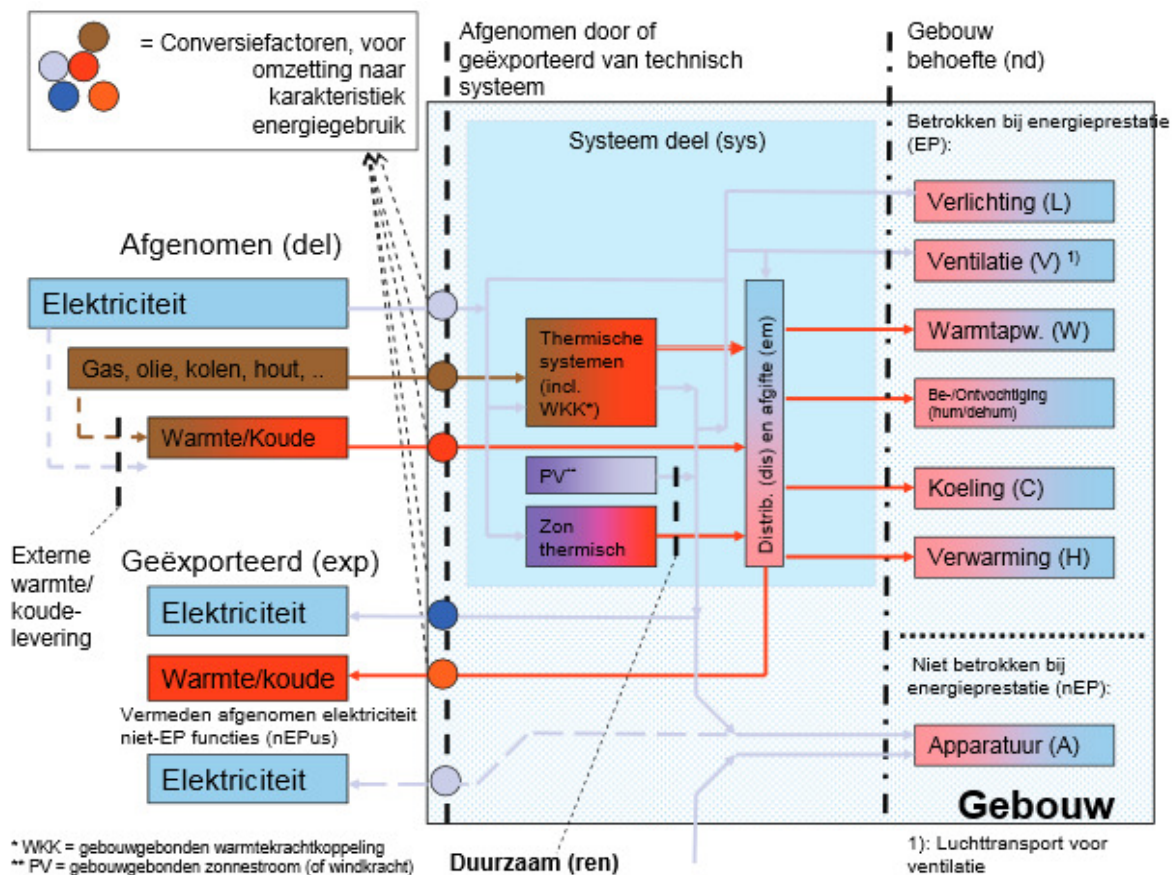
Volgens dit principe zijn gebouwen/gebouwdelen met verschillende toepassingen objectief met elkaar te vergelijken.

Bepaling karakteristiek energiegebruik (p.57):

“Ongeacht de toepassing wordt van het gebouw het karakteristieke energiegebruik, E_{PTot} , bepaald, als de som van het naar primaire energie* omgerekende gebruik aan fossiele brandstoffen voor verwarming, bevochtiging, ventilatoren, verlichting, koeling, ontvochtiging, warm tapwater en het totaal aan daarbij gebruikte hulpenergie, verminderd met de naar primaire energie omgerekende eventuele op eigen perceel geproduceerde (gebouwgebonden) energie, bijvoorbeeld zonnestroom en elektriciteitslevering van een gebouwgebonden warmtekrachtinstallatie, zie 5.4.

De wijze van omrekening van het karakteristieke energiegebruik naar een energieprestatiecoëfficiënt en de minimumeis ten aanzien van de energieprestatiecoëfficiënt in de bouwregelgeving zijn op elkaar afgestemd. Evenzo zijn de wijze van omrekening van het karakteristieke energiegebruik naar de energie-index en de indeling in energieprestatieklassen voor het energielabel op elkaar afgestemd. De voor de berekening van het karakteristieke energiegebruik geldende uitgangspunten (klimaatgegevens, aard van de bewoning, gebruiksgedrag e.d.) zijn een onlosmakelijk onderdeel van deze afstemming.“

Figuur 5.1 geeft een overzicht van hoe het energiegebruik is verdeeld over de verschillende energiefuncties/stromen en energiedragers (Aardgas, elektriciteit etc).



Figuur 5.1 - Illustratie van de samenhang tussen de verschillende energiehoeveelheden. NEN 7120 (2012)

Per gebruiksfunctie wordt de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) bepaald volgens Vergelijking 5.1.

Vergelijking 5.1 - Bepaling EPC per gebruiksfunctie

$$EPC_{usi} = \frac{E_{P_{tot}}}{E_{P_{adm;tot;nb}}} * EPC_{req;nb;usi}$$

Waarbij:

EPC_{usi} is de energieprestatiecoëfficiënt van gebruiksfunctie usi

$E_{P_{tot}}$ is het karakteristieke energiegebruik van het gebouw

$E_{P_{adm;tot;nb}}$ is het toelaatbare karakteristieke energiegebruik van het gebouw (nb staat voor nieuwbouw)

$EPC_{req;nb;usi}$ is de vereiste EPC waarde voor gebruiksfunctie usi

* Energie die niet is onderworpen aan enig conversie- of transformatieproces.

**Gedeelten van een of meer bouwwerken die dezelfde gebruiksbestemming hebben en die tezamen een gebruikseenheid vormen.

5.2. Energie voor verwarmen en koelen

Voor het bepalen van de benodigde energie voor verwarmen en koelen zal gebruik worden gemaakt van een gebouwsimulatie, hiervan volgt allereerst een korte toelichting. Van het gebruikte programma voor de gebouwsimulatie zal vervolgens de werking globaal worden beschreven. In het volgende gedeelte worden de specifieke invoergegevens doorgenomen en wordt benoemd wanneer deze afwijken van de uitgangspunten in hoofdstuk 2. Hierna zal worden toegelicht welke nabewerkingen nog gedaan worden om tot de waarden voor het jaarlijkse energiegebruik te komen.

5.2.1. Toelichting gebouwsimulatie

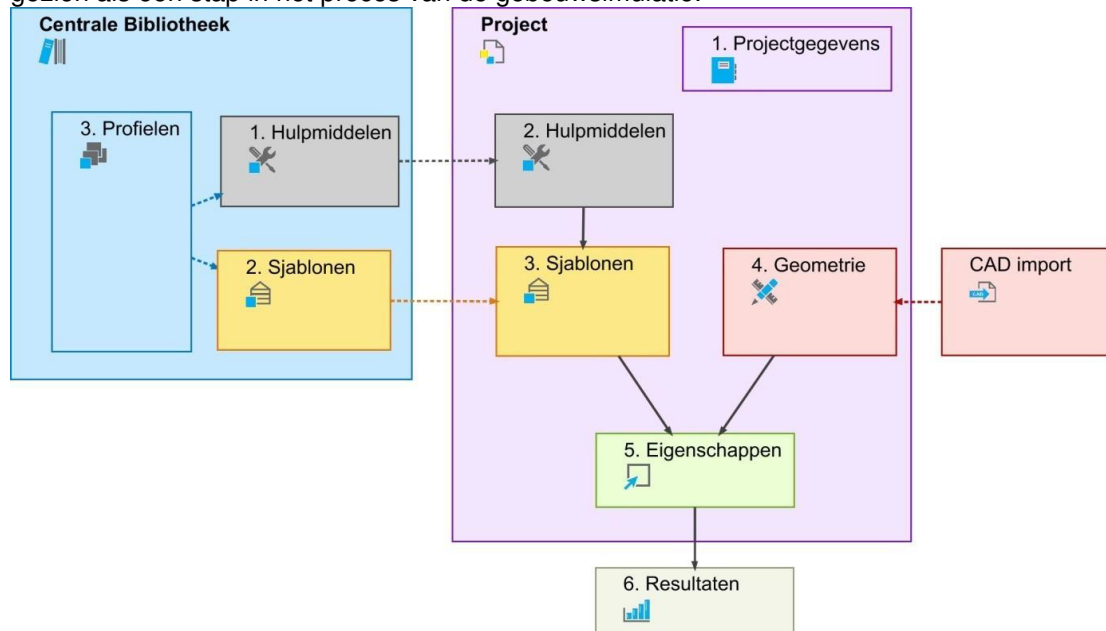
Bij een gebouwsimulatie wordt met behulp van software het gedrag van een gebouw in de tijd gesimuleerd. Met een gebouwsimulatie kan het jaarlijkse energiegebruik voor verwarmen en koelen nauwkeuriger worden voorspeld dan met een enkele berekening zoals bijvoorbeeld de methode die wordt toegepast in de NEN 7120 norm. Dit komt omdat het benodigde vermogen voor verwarmen en koelen afhankelijk is van eigenschappen die in de tijd veranderen zoals temperatuurverschil tussen binnen- en buitenlucht, ventilatieoud, aandeel van warmteterugwinning, interne warmtelast en zoninstraling. Wanneer over kleinere tijdsintervallen geïntegreerd wordt zullen de uitkomsten voor het energiegebruik dus altijd nauwkeuriger zijn dan met wanneer deze worden bepaald met gemiddelde waarden en correctiefactoren.

Gebruikelijke input voor een gebouwsimulatie zijn gegevens van: klimaat, bouwkundige eigenschappen, toegepaste installaties, setpoints voor onder andere temperatuur, interne warmtelast en gebruiksschema's.

5.2.2. Beschrijving Vabi Elements

Voor het bepalen van referentiewaarden voor verwarmen en koelen zal gebruik gemaakt worden van het softwarepakket Vabi Elements. Naast het uitvoeren van een gebouwsimulatie kan met dit zelfde programma ook een EPG-, warmteverlies- of koelkastberekening worden gedaan. Van de gebouwsimulatie zal hier onder globaal de werking worden toegelicht.

Figuur 5.2 is een schematische weergave van de opbouw in Vabi Elements. Elk blok kan worden gezien als een stap in het proces van de gebouwsimulatie.



Figuur 5.2 - Opbouw Vabi Elements. Bron: Vabi Elements Manual

Er zijn grofweg drie input `richtingen` te onderscheiden: Projectgegevens, hulpmiddelen en sjablonen en de geometrie. Van elke input volgt hieronder een korte toelichting.

Projectgegevens

Onder projectgegevens kunnen gegevens van opdrachtgever en de adviseur worden ingevoerd. Ook kan hier worden aangevinkt welke berekening(en) van toepassing zijn voor het project. Er zijn vier verschillende berekeningen uit te voeren: Een warmteverlies-, koellast- en EPG-berekening en een gebouwsimulatie. Voor de gebouwsimulatie kan worden ingesteld of met bepaalde beschaduwende rekeningen gehouden wordt, zoals die van gebouwdelen en verzonken ramen.

Hulpmiddelen en sjablonen

De hulpmiddelen en sjablonen kunnen nieuw worden samengesteld, of er kan gebruik gemaakt worden van standaard profielen uit de centrale bibliotheek.

Een overzicht van de hulpmiddelen volgens de Vabi Elements Manual, pagina 54:

- **Materialen** (bouwkundig) bevat materiaaleigenschappen van alle materialen, zoals de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ) of warmteweerstand, de dichtheid en de soortelijke warmte;
- **Constructies** (ook glas en zonwering), bestaande uit Materialen met bijbehorende dikten;
- **Interne warmteproducties** (IWP's) van IWP personen, IWP apparaten en IWP verlichting;
- **Zonnesystemen** zoals Zonnepanelen (stroom) en Zonnecollector (warmte) bedoeld voor EPG;
- **Tijdschema's** van Installaties, gebruik en teluren bedoeld voor een koellast en gebouwsimulatie;
- **Installaties** zoals Opwekking, Distributie en Luchtbehandeling en bevat voorgestelde (combinaties van) opwekkers, stooklijnen en luchtbehandelingskasten.

Een overzicht van de ruimtesjablonen volgens de Vabi Elements Manual, pagina 118:

- **Ruimte-eisen** bevat de toetsingsvoorwaarden of randvoorwaarden bedoeld voor de berekeningen, zoals ontwerptemperaturen, eisen ten aanzien van de temperatuur overschrijding, opwarmtoeslagen etc.;
- **Gebruik** bevat de kenmerken ten aanzien van het gebruik van de ruimte (type ruimte). Ook bevat deze een combinatie van interne warmteproducties, gekoppeld aan een tijdschema;
- **Bouwkundig** bevat alle voorgedefinieerde bouwkundige gegevens van een ruimte, zoals standaard toewijzing van alle standaard constructies;
- **Ventilatie** bevat kenmerken ten aanzien van ventilatie en infiltratie in de ruimte;
- **Afgiftesysteem** bevat alle kenmerken van alle warmte- en koude afgiftesystemen gekoppeld aan de ruimte. Dit omvat een totaal installatieconcept inclusief Opwekking, Distributie, Luchtbehandeling en afgifteapparaten, welke via dit sjabloon gekoppeld worden aan de ruimte. Ook wordt er hier een keuze van het ventilatiesysteem gemaakt.
- **Tapwater** bevat alle kenmerken van warm tapwatersystemen gekoppeld aan de ruimte. Dit omvat een totaal installatieconcept inclusief Opwekking en Distributie welke via dit sjabloon gekoppeld worden aan de ruimte.

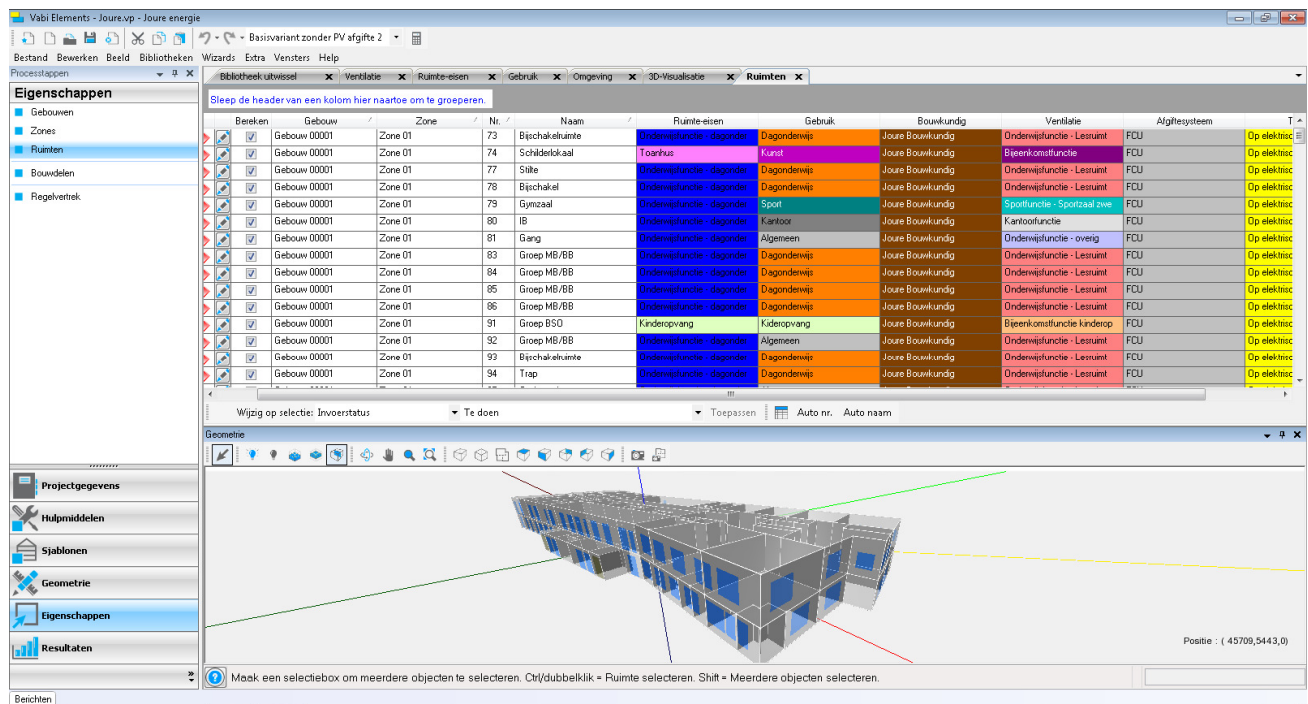
Geometrie

De geometrie kan volledig in Vabi Elements worden gecreëerd of door het importeren van een CAD bestand. Voor dit project is gebruik gemaakt van de laatste optie. Hiervoor wordt een speciale CAD tekening gemaakt die voldoet aan de criteria voor het inlezen in Vabi Elements. Voor deuren en ramen worden `blocks` gebruikt waarin de hoogte, breedte en offset zijn gespecificeerd.

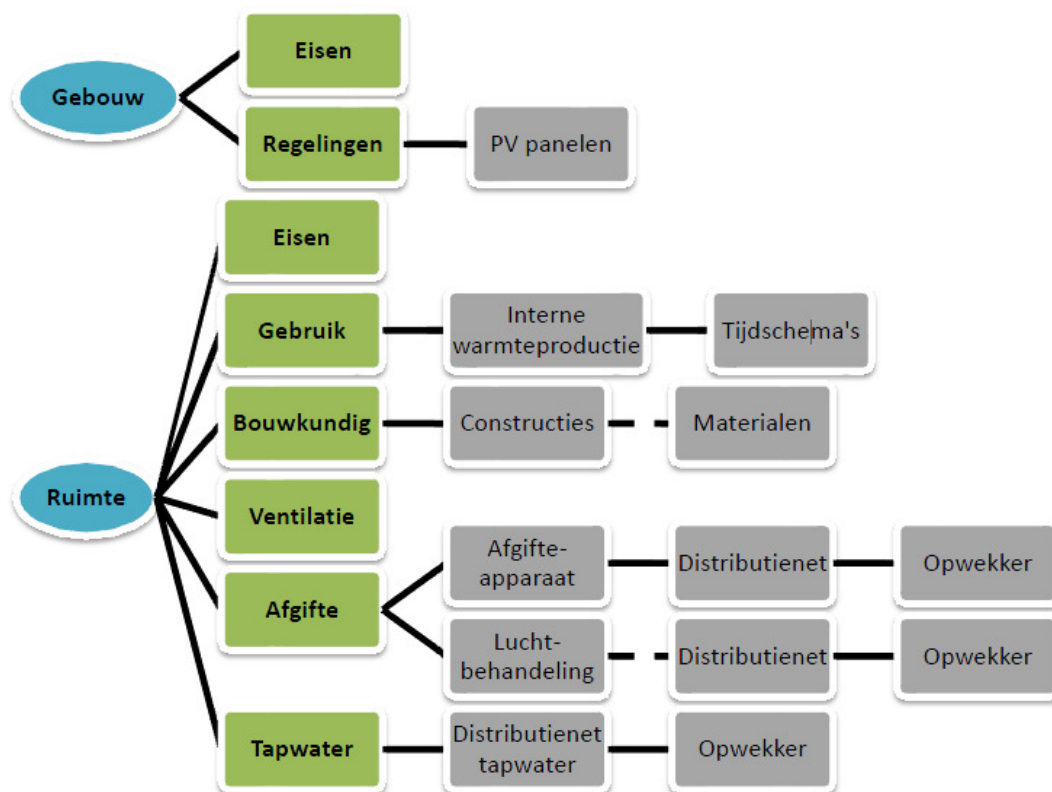
Binnen een project kunnen met de hulpmiddelen sjablonen worden samengesteld, die vervolgens aan afzonderlijke ruimten, zones en gebouwen gekoppeld kunnen worden. Dit gebeurt in het venster `eigenschappen` waarvan in Figuur 5.3 ter illustratie een weergave is te zien, in dit geval de ruimte eigenschappen. Het toekennen van de eigenschappen is de één na laatste stap in het proces, zoals te zien in het stappenplan linksonder.

Ter verduidelijking van hoe alle invoer gekoppeld wordt, is het gebruiksschema weergegeven in Figuur 5.4. Hierin zijn de belangrijkste definities in Vabi Elements te zien, onderverdeeld in drie verschillende niveaus.

De laatste stap is het uitvoeren van de simulatie (of berekeningen) en het weergeven van de resultaten.



Figuur 5.3 - Gebruikers interface Vabi Elements



Figuur 5.4 - Gebruiksschema Vabi Elements. Bron: Vabi Elements Manual

5.2.3. Invoergegevens

Dit gedeelte zal de belangrijkste invoergegevens voor de gebouwsimulatie in VABI Elements doornemen. Om praktische redenen of softwaretechnische beperkingen zullen deze in sommige gevallen niet overeenkomen met de benoemde uitgaanswaarden in hoofdstuk 4. Bij eigenschappen die hier niet worden genoemd, zoals de bouwkundige eigenschappen, kan worden aangenomen dat ze volgens hoofdstuk 4 zijn ingevoerd.

Omgeving

De instellingen ten aanzien van de omgeving voor de gebouwsimulatie zijn weergegeven in Tabel 5-1. Omdat het gaat om de bepaling van referentiegegevens voor verwarmen en koelen wordt gebruik gemaakt van het NEN5060 referentie energiejaar. Dit is een fictief jaar dat is samengesteld uit klimaatgegevens van maanden uit verschillende eerdere jaren, met als doel aan zo gemiddeld mogelijk klimaatjaar te creëren. Het wordt gebruikt om een indicatie te geven van het gemiddelde energiegebruik van een gebouw voor verwarmen en koelen.

Verder wordt in de berekening het effect van beschaduwing meegenomen voor: gebouwdelen, verzonken ramen en omliggende gebouwen.

Tabel 5-1 - Instellingen omgeving

Ligging	Vlak open terrein
Beschutting	Onbeschut
Grondreflectie	Standaard van 0,2
Klimaatgegevens	
Klimaatbestand	NEN5060 ref energie
Startdag	1-1-1906
Einddag	31-12-1906

Ruimte eisen

De relevante ruimte eisen zijn de setpoints voor verwarmen en koelen. Deze zijn voor het hele gebouw gelijk volgens *Gebruiksparementers Brede School Joure*, zie Tabel 5-2. De setpoints voor koelen zijn niet gespecificeerd, aangenomen wordt een standaard setpoint van 24°C (NEN 7120) en een verhoging gedurende de nacht van 4°C (even groot als de nachtverlaging bij verwarmen).

Tabel 5-2 - Setpoints verwarmen en koelen

	Dag Nacht	
Verwarmen	21	17
Koelen	24	28

Gebouwregeling

Het openen van ramen en het aansturen van de zonwering vallen in de categorie gebouwregeling, waarvan in Tabel 5-3 een overzicht van de ingestelde waarden. In Vabi Elements wordt onderscheid gemaakt in regeling binnen en buiten de gebruikperiode. De gebruikperiode van het gebouw wordt als volgt bepaald: "Afhankelijk van de invoer zoekt Vabi Elements naar de gemene deler in het gebouw van de tijdschema's van alle ruimten bij elkaar." (*Vabi Elements Manual-nl*. Vabi Software bv, 2013)

De zonwering is enkel actief binnen de gebruikperiode omdat deze in de praktijk handmatig wordt geactiveerd en aan het eind van de dag met een veegpuls wordt opgestuurd (*Regeltechnische omschrijving Brede school Joure*. Re3com, 2014).

Aangenomen wordt dat ook de ramen dicht blijven buiten de gebruikperiode.

Voor de schakelniveaus worden de standaard waarden van 300W (voor handmatig) en 24°C gebruikt voor de zonwering en ramen respectievelijk (*Vabi Elements Manual-nl*).

Tabel 5-3 - Instellingen gebouwregeling

Binnen gebruikperiode			Buiten gebruikperiode	
Automatisch geschakeld Handmatig geschakeld			Automatisch geschakeld	Handmatig geschakeld
Zonwering	Continu open (niet actief)	Vanaf 300W	Continu open (niet actief)	Continu open (niet actief)
Ramen	Vanaf 24C		Continu gesloten	
*Ingevoerde waarden voor de regeling van de zonwering hebben betrekking op de actueel (totale) zoninstraling per vierkante meter.				

Afgiftesysteem

In de gebouwsimulatie is voor het gehele gebouw de FCU ingesteld als afgifte medium. Zoals beschreven in hoofdstuk 4.3 wordt voor de locale warmte- en koudeafgifte in de school gebruik gemaakt van FCU's en vloerverwarming. Toepassing van beide systemen in het model resulteerde in foutmeldingen die niet direct op te lossen waren, met gebruik van meerdere rekenzones. Om geen tijd te verliezen is alleen de FCU aangehouden. Voor de bepaling van de jaarlijkse energiebehoefte zou

dit niet uit moeten maken omdat beide afgifte installaties onderdeel zijn van het VRF systeem, met hetzelfde totaalrendement (*DVM folder*, Samsung). Wel is het zo dat een vloerverwarmingssysteem een zekere vertraging heeft ten opzichte van een FCU, waardoor er meer opwarmtijd nodig is. Uitgaande van een efficiënte regeling wordt aangenomen dat het effect hiervan op het jaarlijkse energiegebruik verwaarloosbaar is.

Het vermogen van de afgifte installaties is ingesteld op onbeperkt. Ook dit zou geen invloed moeten hebben op de jaarlijkse energiebehoefte omdat het werkelijke vermogen per FCU gespecificeerd is aan de hand van een warmteverliesberekening*, waardoor het in alle situaties voldoende hoog zal zijn. Door het vermogen op onbeperkt te stellen wordt de veilige kant gekozen en zal de simulatie in elk geval geen te lage waarde geven voor de jaarlijkse energiebehoefte voor verwarmen en koelen.

*Bij een warmteverliesberekening wordt gebruikelijk per ruimte het minimale afgifte vermogen bepaald, waarmee het ingestelde setpoint gehaald kan worden; in een situatie waarin de buitentemperatuur -10°C is en zonbelasting en interne warmtelast ontbreken.

Gebruik

Ten aanzien van het gebruik van de verschillende ruimten zijn tijdschema's en de interne warmtelasten weergegeven in Tabel 5-4 en Tabel 5-5 respectievelijk. De tijdschema's zijn gebaseerd op het document: *Brede School Joure Zuid*, Bezettingsgradenoverzicht; met de correctiefactor voor aanwezigheid volgens NEN 7120.

Tabel 5-4 - Ingestelde tijdschema's

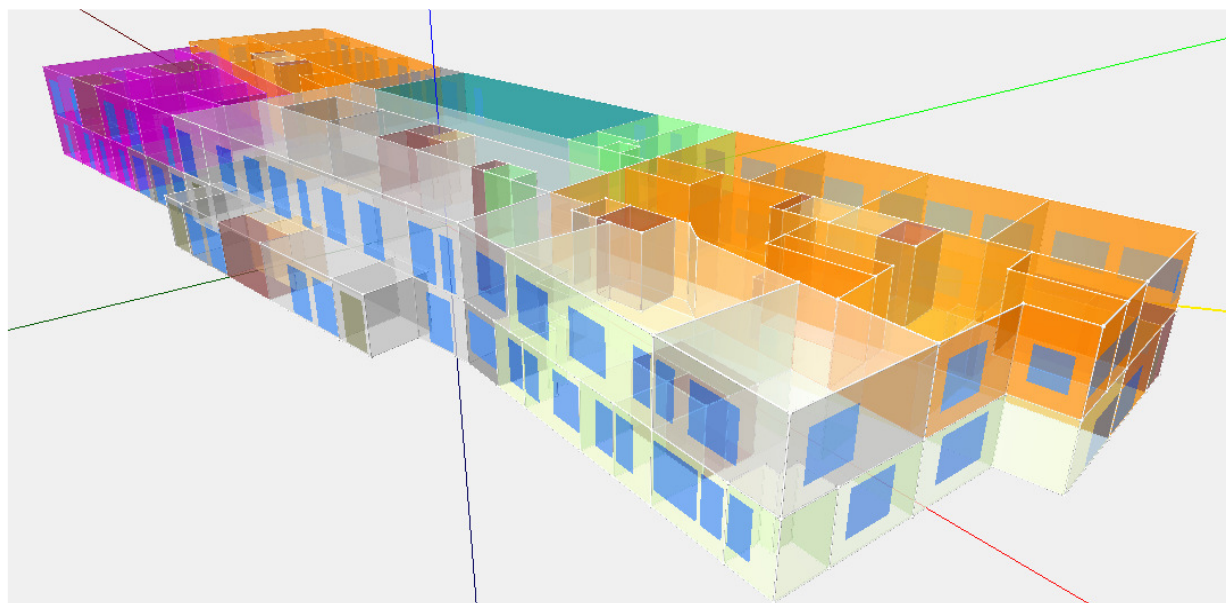
Tijdschema's	Gebruikstijden op basis van bezettingsgraden overzicht Brede School Joure Zuid		
<u>Personen</u>	Correctiefactor aanwezigheid op basis van NEN 7120 tabel 10.1		
Gebruiksgebieden	Toegepast op ruimten:	Gebruik van t/m	Aanwezigheid
Dagonderwijs	Lesruimten Fusie- en Borgerschool	8 16	30%
Onderwijs overig	Toiletten en kleedkamers	8 18	15%
	Verkeersruimten Fusie- en Borgerschool		
Algemeen	Gemeente/algemeen	8 16	15%
Kinderopvang	SKIK	8 19	30%
	Bijschakelruimten Fusieschool		
Kunst	Praktijkruimten Toanhus	9 21	15%
	Bijschakelruimten EA borgerschool		
Kantoren	Kantoor ruimten alle gebruikers	8 18	30%
Sport	Gymzaal	8 20	30%
<u>Apparaten</u>	Zonder de correctiefactor voor aanwezigheid, volgens NEN 7120 10.3.2 (100% tijd aandeel)		
Gebruiksgebieden	Toegepast op ruimten:	Gebruik van t/m	Aanwezigheid
Technische ruimten	Meterkasten, serverruimte	0 23	100%
Verder identiek aan tijdschema's voor personen			
100%			
<u>Verlichting</u>	Correctiefactor voor aanwezigheid en regeling op basis van NEN 7120 16.2		
Gebruiksgebieden	Toegepast op ruimten:	Gebruik van t/m	Aanwezigheid
Technische ruimten	Meterkasten, serverruimte	0 23	20%
Opslag	Bergingen, pantry's	8 17	2%
Verder identiek aan tijdschema's voor personen			
60%			

Tabel 5-5 - Ingestelde warmtelasten

Warmtelasten (W/m ²)	Toegepast op ruimten:
Personen	Waarden op basis van NEN 7120 tabel 10.1
Onderwijsfunctie & Bijeenkomstfunctie	10 Les- en bijschakel ruimten Fusie- en Borgerschool Verkeersruimten, toiletten en kleedkamers Fusie- en Borgerschool Ruimten SKIK Bijschakelruimten Fusieschool Ruimten Toanhus Ruimten gemeente/algemeen
Kantoorfunctie	5 Kantoor ruimten
Sportfunctie	3 Gymzaal
Apparatuur	Waarden op basis van NEN 7120 tabel 10.2
Onderwijsfunctie	2 Lesruimten Fusie- en Borgerschool Verkeersruimten, toiletten en kleedkamers Fusie- en Borgerschool
Bijeenkomstfunctie	1 Ruimten SKIK Ruimten Toanhus Bijschakelruimten Fusie- en Borgerschool Ruimten gemeente/algemeen
Kantoorfunctie	4 Kantoor ruimten
Technische ruimten	20 Meterkasten, serverruimte
Verlichting	Volgens Westermann, Brede School te Joure, Omschrijving Technische installaties, 2014
Standaard	8 Hele gebouw

De waarden voor interne warmtelast veroorzaakt door personen en apparatuur zijn gebaseerd op de NEN 7120, tabellen 10.1 en 10.2 respectievelijk. De waarde voor interne warmtelast van apparatuur in de technische ruimten is geschat op 20W/m². Voor de interne warmtelast door verlichting is het gespecificeerde specifieke vermogen voor verlichting aangehouden (Omschrijving Technische installaties, Westermann), waarbij wordt aangenomen dat er geen plenumafzuiging wordt toegepast. De waarden voor interne warmtelasten gelden per ruimte voor het bijbehorende tijdschema. Door gebruik van de tijdschema's per gebruiksgebied, in plaats van exact per ruimte volgens het document bezettingsgradenoverzicht, zijn de interne warmtelasten realistischer over het gebouw verdeeld (anders zou bijvoorbeeld in de toilet- en verkeersruimten geen interne warmtebelasting zijn).

In Figuur 5.5 is een 3D visualisatie te zien ter indicatie van de indeling van de verschillende gebruiksgebieden in de school. De kleuren komen overeen met de achtergrondkleuren van de gebruiksgebieden in Tabel 5-4.



Figuur 5.5 - 3D visualisatie gebruiksgebieden

Ventilatie

De invoergegevens voor ventilatie zijn weergegeven in Tabel 5-6. Er wordt onderscheid gemaakt in actieve ventilatie, ventilatie door infiltratie en ventilatie door open ramen.

Voor de actieve ventilatie zijn een aantal zones gespecificeerd met bijbehorend ventilatiedebiet. In de lesruimten geldt volgens het PvE Frisse Scholen klasse B een minimum ventilatiedebiet van 8,5l/s per persoon. Het aantal personen maatgevend voor de ventilatie is bepaald aan de hand van een gemiddelde oppervlakte in de lesruimten van 60m² en klassen van 30 kinderen. In combinatie met een correctiefactor voor aanwezigheid bij een onderwijsfunctie, volgens NEN 7120 tabel 10.1, komt dit neer op een waarde van 0,15 personen per vierkante meter (Vergelijking 5.2).

Vergelijking 5.2 - Dichtheid personen onderwijsfunctie

$$0,5 \text{ personen} / \text{m}^2 * 0,3 = 0,15 \text{ personen} / \text{m}^2$$

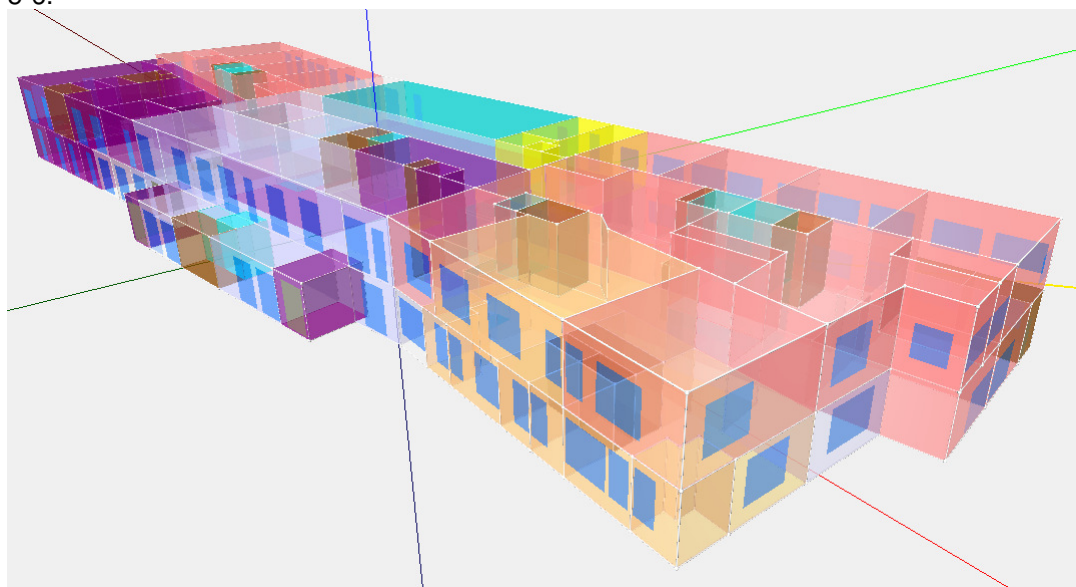
Voor de overige ventilatie zones zijn waarden aangehouden, gespecificeerd volgens standaard sjablonen in Vabi Elements.

Hetzelfde geldt voor de invloed van wind op de infiltratie en het ventilatiedebiet door open ramen, waarvoor in het hele gebouw dezelfde waarden worden aangehouden.

Tabel 5-6 – Ventilatie

Actieve ventilatie				
Ventilatiedebiet per zone:	Toegepast op ruimten:	Debiet overdag	Personen	
Onderwijs lesruimte	Lesruimten Fusie- en Borgerschool	8,5l/s/persoon	0,15/m2	
Onderwijs overig	Verkeersruimten Fusie- en Borgerschool	6,5l/s/persoon	0,15/m2	
Ruimten met dakafzuiging	Toiletten, Speciale ruimten Toanhus	20l/s/persoon	0,1/m2	
Bijeenkomst	Toanhus en gemeente	4l/s/persoon	0,125/m2	
Bijeenkomst kinderopvang	SKIK	8l/s/persoon	0,125/m2	
Kantoren	Kantoor ruimten alle gebruikers	6,5l/s/persoon	0,05/m2	
Sport	Gymzaal	12l/s/persoon	0,05/m2	
Technische ruimten	Meterkasten, serverruimte	30m3/h	-	
Opslag	Bergingen, pantry's	10m3/h	-	
Infiltratie- en ventilatiedebiet door open ramen windafhankelijk				
Windsnelheid in m/s:		1	3	6
Infiltratiedebiet in 1/h(m3/(m3*		0,3	0,3	0,3
Ventilatiedebiet door open ran		0,5	1	1,5

Figuur 5.6 geeft een 3D visualisatie ter indicatie van de indeling van de verschillende ventilatiezones in de school. De kleuren komen overeen met de achtergrondkleuren van de ventilatiezones in Tabel 5-6.



Figuur 5.6 - 3D visualisatie ventilatiezones

Bij de gebouwsimulatie van Vabi Elements is er de mogelijkheid om windafhankelijke infiltratie in te stellen. Voor de standaard waarden hiervoor is echter niet direct een onderbouwing te vinden. Omdat de ingevoerde infiltratiewaarden van grote invloed zijn op met name de warmtebehoefte, lijkt het niet acceptabel om de standaard waarden zomaar over te nemen. Omdat het ook niet mogelijk is de benodigde tijd te investeren in een extra literatuurstudie, voor het vinden van een geschikte bepalingmethode, is de methode uit de NEN 8088 gebruikt. Deze geeft weliswaar een vaste waarde, geen windafhankelijk verband, maar als onderdeel van de bepaling is er wel sprake van een gebouwspecifieke correctiefactor voor de wind. Het vaste infiltratiedebiet, bepaald volgens NEN 8088, is weergegeven in Tabel 5-7, met als voornaamste vergelijkingen: Vergelijking 5.3, Vergelijking 5.4 en Vergelijking 5.5.

Tabel 5-7 - Bepaling infiltratiedebiet

Aanduiding NEN 8088	Beschrijving	
q _{ve;inf}	Toevoerluchtvolumestroom ten gevolge van infiltratie, in dm ³ /s	1221,096
f _{wind}	Van gebouwafmetingen afh correctiefactor winddruk geïnduceerde infiltratie, volgens formule (5.26) van 5.8.1.2;	5,274802
f _{type2}	Correctiefactor voor gebouwtype karakteristieke winddrukverdeling en thermiek, volgens tabel 9 van 5.8.1.3;	0,51
f _{inf}	Correctiefactor voor invloed van de ventilatievoorziening op de geïnduceerde infiltratie, volgens tabel 10 van 5.8.1.4;	1,15
q _{v10;spec}	Specifieke luchtdoorlatendheid bij een uniformdrukverschil van 10 Pa, bepaald volgens 5.8.2, in dm ³ /(s*m ²);	0,42
A _g	Gebruiksoppervlakte, bepaald volgens 5.3, in m ² .	4086
f _{type}	Gebouwtype afhankelijke correctiefactor voor de rekenwaarde van de luchtdoorlatendheid, bepaald volgens 5.8.2.3;	1,2
f _{jaar}	Bouwjaarcorrectiefactor voor rekenwaarde van de luchtdoorlatendheid, bepaald volgens tabel 11 van 5.8.2.2;3	0,7
q _{v10;spec;reken}	Rekenwaarde voor specifieke luchtdoorlatendheid bij uniform drukverschil van 10 Pa, bepaald volgens 5.8.2.3, in dm ³ /(s*m ²)	0,5
L	Lengte van het gebouw in m	90
B	Breedte van het gebouw in m	28
H	Hoogte van het gebouw in m	8
q _{ve;inf;spec}	Toevoerluchtvolumestroom ten gevolge van infiltratie per eenheid van gebruiksoppervlakte, in dm ³ /(s*m ²)	0,298849

Vergelijking 5.3 - Bepaling infiltratiedebiet

$$q_{ve;inf} = f_{wind} * f_{type2} * f_{inf} * (0,23 * q_{v10;spec}) * A_g$$

Vergelijking 5.4 - Bepaling windcorrectiefactor

$$f_{wind} = \max[1; \{0,01 * (24 + 0,555 * \sqrt{(L^2 + B^2)} + 4,5 * H)\}^{0,65}]$$

Vergelijking 5.5 - Bepaling qv10 specifiek

$$q_{v10;spec} = f_{type} * f_{jaar} * q_{v10;spec;reken}$$

De standaardwaarden voor het windafhankelijke ventilatiedebiet door te openen ramen worden wel gehanteerd. De gevoeligheid van deze waarden op het jaarlijkse energiegebruik is veel kleiner omdat de ramen maar een beperkt aandeel van de tijd open zullen staan, en dan bovendien effectief dienst zullen doen als passieve koeling. (Ook zonder te openen ramen kan er via de actieve ventilatie passieve koeling worden toegepast, door volledige bypass over de warmteterugwinning unit).

5.2.4. Nabewerkingen

In de outputrapportage van de Vabi Elements gebouwsimulatie is niet direct de jaarlijks benodigde energie voor verwarmen en koelen van het gebouw af te lezen.

Het rapportagedocument geeft (onder andere) de afzonderlijke warmte en koudevraag per ruimte. Omdat alle warmte en koude elektrisch wordt opgewekt met de warmtepompen moet de gesommeerde ruimtevraag gedeeld worden door de COP waarde van het totale systeem, om de benodigde energie bij de meter te bepalen.

De afgifte installaties (FCU's en Hydro units met vloerverwarming) zijn splitunits, die deel uitmaken van het VRF systeem. Het systeemrendement van de gehele VRF installatie kan dus worden gehanteerd voor het bepalen van de benodigde energie bij de meter. Dit rendement is voor verwarmen en koelen bepaald op 4, conform NEN-EN 14511 (*DVM folder*, Samsung, 13).

Verondersteld wordt dat alle energie voor de regeling en bijvoorbeeld de ventilator in de FCU's hierbij inbegrepen is.

5.2.5. Resultaten gebouwsimulatie

De resultaten van de gebouwsimulatie, ten aanzien van de warmte en koudevraag, zijn weergegeven in tabel Tabel 5-8. De gesommeerde vraag van alle ruimten is per afzonderlijke maand van het NEN5060 referentie energiejaar weergegeven. De totale jaarlijkse vraag is vervolgens door de COP van het VRF systeem gedeeld om de benodigde energie voor verwarmen en koelen bij de meter te bepalen.

Verder is de specifieke warmte en koudebehoefte bepaald door te delen door het totale BVO. Tot slot is de benodigde primaire energie weergegeven door de behoefte in kWh vermenigvuldigen met 2,56 en 3,6; de factor voor opwekking en distributie volgens NEN 7120 en de omrekenfactor van kWh naar MJ respectievelijk.

Tabel 5-8 - Resultaten gebouwsimulatie

Energievraag			
	Maand	Warmte(kWh)	Koude(kWh)
	1	32485	0
	2	21430	0
	3	18255	0
	4	7228	18
	5	1182	152
	6	28	2982
	7	3	3166
	8	0	4268
	9	433	86
	10	7742	0
	11	19959	0
	12	26813	0
Totaal		135576	10678
Behoefte voor opwekking (COP4)		33894	2669,5
Specifiek (kWh/m ² BVO)		8,44	0,66
Primaire energie (MJ)		312367,10	24602,11

Ter vergelijking is de volgens de NEN 7120 bepaalde jaarlijkse energiebehoefte, voor verwarmen en koelen, in tabel Tabel 5-9 weergegeven. De in de norm bepaalde benodigde primaire energie in MJ is gedeeld door de factor voor omzetting naar niet-primaire energie en voor omzetting naar MWh van 2,56 en 3600 respectievelijk.

Belangrijk is om te benadrukken dat de NEN 7120 een normberekening is. Deze zal theoretisch niet in evenveel detail het energiegebruik van een specifiek gebouw kunnen bepalen als een gebouwsimulatie, waarin de werkelijke situatie zo accuraat mogelijk wordt gesimuleerd. Ter bevestiging hiervan het volgende citaat (NEN, 7120, *Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode*, 2012. P7) waarin met name alinea 4 (*cursief*) sprekend is:

“Forfaitaire versus vaste rekenwaarden

In deze norm worden zowel forfaitaire als vaste rekenwaarden gehanteerd.

Forfaitaire rekenwaarden zijn die rekenwaarden waarbij deze norm expliciet aangeeft dat een afwijkende waarde kan worden toegepast, meestal met een bijbehorende afrondingsregel.

Alle overige waarden zijn vaste of beleidsmatige getallen, omrekeningsgetallen, getallen die een standaard gebruik, standaard omstandigheden of een standaard waardering uit oogpunt van rechtsgelijkheid vastleggen.

Het werkelijke energiegebruik kan in de praktijk sterk afwijken van het berekende energiegebruik, onder invloed van het bewonersgedrag (aantal bewoners, ventilatiegedrag, temperatuurinstelling, gebruik van zonwering, apparatuur, het weer enz.). De berekening gaat uit van een standaardsituatie.

Ook bij deze vaste waarden kunnen zich situaties voordoen waarin de behoefte bestaat af te wijken, bijvoorbeeld omdat deze norm niet (voldoende) is toegesneden op een innovatieve oplossing.”

Tabel 5-9 - Vergelijking gebouwsimulatie en EPG voor warmte- en koudebehoefte

Bepaald volgens NEN 7120	Warmte	Koude
Primaire energie (MJ)	338000	131000
Energie bij de meter, nodig voor opwekking(MWh)	36,68	14,21
Gebouwsimulatie		
Referentie energiejaar(MWh)	33,89	2,67
Vershil factor met NEN 7120	1,08	5,32
Zeer streng jaar(MWh)	41,26	7,66
Vershil factor met NEN 7120	0,89	1,86

Zoals te zien in Tabel 5-9 scheelt de koudebehoefte proportioneel gezien een factor vier, het gaat echter in beide gevallen om relatief lage waarden. In absolute zin is het verschil ‘slechts’ 12 MWh op jaarbasis. Dit verschil lijkt te verklaren door de verschillen in de manier waarop bepaalde eigenschappen van het gebouw worden verrekend, zoals beschreven in bovenstaand citaat. Met name de specifieke regeling van het gebouw wordt in de simulatie zo veel mogelijk meegenomen, waar deze in de NEN 7120 berekening zo veel mogelijk buiten beschouwing wordt gelaten om gebouwen beter objectief te kunnen vergelijken.

Verder is het opvallend dat de koudebehoefte volgens de gebouwsimulatie, met in plaats van het energiejaar een zeer streng jaar als input (ter illustratie toegevoegd aan Tabel 5-9), proportioneel gezien meer toeneemt dan de warmtevraag. Op basis van dit strengere jaar is voor koudebehoefte de verschil factor met de NEN 7120

5.3. Energie voor verlichting

De benodigde energie voor verlichting zal worden bepaald met een berekening op basis van de bepalingmethode van energie voor verlichting in de NEN 7120 hoofdstuk 16.

Tabel 5-10 geeft een overzicht van de bepaling van het energiegebruik voor verlichting volgens deze methode. De verschillende gebruiksfuncties van de school met bijbehorende oppervlakten zijn ingevoerd. Op basis hiervan zijn conform tabellen uit NEN 7120 en, eigenschappen van de school volgens de documenten ‘Brede School te Joure, Omschrijving Technische installaties. Westermann’ en ‘Regeltechnische omschrijving Brede school Joure. Re3com` de overige waarden ingevoerd.

Tabel 5-10 - Energie voor verlichting volgens NEN 7120

Aanduiding	Gebruiksfuncties>>	Onderwijs	Bijeenkomst	Bijeenkomst- kinderopvang	Kantoor	Sport	Industrie	Overig	Hele gebouw	
NEN 7120	Beschrijving								MWh	MJ primair
EI	Totaal verbruik	19863	16261	12055	3200	3048	314	674	55	510698
WI	Verbr verlichting zelf(kWh)	15042	13060	9682	2570	2448	113	242		
Wp	Verbr voor parasitair verm(kWh)	4821	3201	2373	630	600	201	432	13,56	124,99
Pn	Totaal geïnstalleerd vermogen	12856	8536	6328	1680	1600	536	1152		
Fc	Factor const verlichtings niveau	1	1	1	1	1	1	1		
td	Branduren overdag	1600	2200	2200	2200	2200	0	0		
Fo;D	Factor aanwezigheidsdetectie overdag	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,02		
Fo;N	Factor aanwezigheidsdetectie snachts	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7		
Fd	Factor schakel/regelsyst	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75		
tn	Branduren snachts obv gebr fun	300	300	300	300	300	300	300		
ep	Specifiek verbruik parasitair vermogen	3	3	3	3	3	3	3		
Ag	Gebruiksoppervlak rekenzone	1607	1067	791	210	200	67	144	4086	
Pn spec	Specifiek geïnstalleerd vermogen	8	8	8	8	8	8	8		

De voornaamste vergelijkingen gebruikt in Tabel 5-10 zijn: Vergelijking 5.6, Vergelijking 5.7 en Vergelijking 5.8.

Vergelijking 5.6 - Totaal gebruik verlichting

$$E_L = (W_L + W_p)$$

Vergelijking 5.7 - Gebruik verlichting zelf

$$W_L = \frac{(P_n \times F_C) \times [(t_D \times F_{o,D} \times F_D) + (t_N \times F_{o,N})]}{1\,000}$$

Vergelijking 5.8 - Gebruik parasitair vermogen verlichting

$$W_p = e_p \times A_g$$

Belangrijk is om op te merken dat in dit geval de relevante waarde voor de benodigde energie de kWh waarde is, omdat deze de energie bij de meter representeert. In de NEN 7120 wordt de primaire energie bepaald, uitgedrukt in MJ. Voor het omrekenen worden de factoren 2,56 en 3,6 toegepast respectievelijk.

Om een meer specifieke referentiewaarde te krijgen voor de benodigde energie voor verlichting zal dezelfde methode worden toegepast, weergegeven in Tabel 5-13. Dit keer met de branduren overdag volgens Tabel 5-12. Hierin zijn de maximale branduren ingeschat op basis van Tabel 5-4 - Ingestelde tijdschema's en Tabel 5-11. Tabel 5-11 geeft een inschatting van de netto schooldagen in een jaar, op basis van gegevens van www.rijksoverheid.nl. In het blauw zijn het totaal aantal doordeweekse dagen weergegeven, waarvan de rode waarden zijn afgetrokken om tot een waarde voor netto schooldagen te komen.

Voor alle gebruiksfuncties is het netto aantal schooldagen aangehouden, met uitzondering van de bijeenkomstfunctie voor kinderopvang, omdat SKIK ook in de vakanties open is. Voor de bijeenkomstfunctie voor kinderopvang zal het totaal aantal doordeweekse dagen in een jaar worden aangehouden voor het bepalen van de maximale branduren.

Tabel 5-11 - Netto schooldagen per jaar

Doordeweekse dagen in een jaar	261
Maximum vakantiedagen basisonderwijs volgens rijksoverheid	55
Gehanteerde vakantiedagen (inschatting)	45
Roostervrije dagen volgens rijksoverheid	12
Vrije feestdagen volgens rijksoverheid	4
Netto schooldagen (dagen doordeweeks minus rode dagen)	200

Tabel 5-12 - Maximale branduren verlichting overdag op basis van tijdschema's Brede School Joure

Gebruiksfuncties	Gemiddeld open		Maximale branduren overdag
	van	t/m	
Onderwijsfunctie	8	17	1800
Bijeenkomstfunctie	8	20	2400
Bijeenkomstfunctie kinderopvang	8	19	2530
Kantoorfunctie	8	18	2000
Sportfunctie	8	20	2400
Industriefunctie	0	23	4600
Overig	8	17	1800

De overige gebruiksfunctie en industriefunctie worden in de bepaling volgens NEN 7120 niet meegenomen maar hebben wel invloed op het werkelijke energiegebruik voor verlichting. Het gaat om technische ruimten en ruimten voor opslag, waarvoor respectievelijk een factor voor aanwezigheidsdetectie overdag van 20% en 2% zal worden gebruikt (Naar inschatting).

Tabel 5-13 - Energie voor verlichting specifiek

Aanduiding NEN 7120	Gebruiksfuncties>> Beschrijving	Onderwijs	Bijeenkomst	Bijeenkomst- kinderopvang	Kantoor Sport	Industrie	Overig	Hele gebouw (MWh)
EI	Totaal verbruik	21405	17285	13308	2999	3240	683	705
WI	Verbr verlichting zelf(kWh)	16584	14084	10935	2369	2640	482	273
Wp	Verbr voor parasitair verm(kWh)	4821	3201	2373	630	600	201	432
Pn	Totaal geïnstalleerd vermogen	12856	8536	6328	1680	1600	536	1152
Fc	Factor const verlichtings niveau	1	1	1	1	1	1	1
td	Branduren overdag	1800	2400	2530	2000	2400	4600	1800
Fo;D	Factor aanwezigheidsdetectie overdag	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,02
Fo;N	Factor aanwezigheidsdetectie snachts	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Fd	Factor schakel/regelsyst	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
tn	Branduren snachts obv gebr fun	300	300	300	300	300	300	300
ep	Specifiek verbruik parasitair vermogen	3	3	3	3	3	3	3
Ag	Gebruiksoppervlak rekenzone	1607	1067	791	210	200	67	144
Pn spec	Specifiek geïnstalleerd vermogen	8	8	8	8	8	8	8

5.4. Energie voor gebruiksapparatuur

De bepalingmethode voor de energie voor gebruiksapparatuur is gebaseerd op de rekenwaarden voor het specifieke elektriciteitsgebruik voor apparatuur, volgens tabel 5.3 van NEN 7120. Deze tabel geeft geen waarde voor de industriefunctie, deze is ingeschat op 20W/m² (zoals eerder in paragraaf 5.2.3). In Tabel 5-14 is een weergave te zien, van de bepaling voor de energie voor gebruiksapparatuur in het gebouw. Net zoals het maximaal aantal branduren bij de bepaling van de energie voor verlichting in paragraaf 5.3, is het aantal gebruiksuren gebaseerd op de tijdschema's in Tabel 5-4 van NEN 7120. Verondersteld wordt dat er in de nacht geen apparatuur wordt gebruikt, met uitzondering van de technische ruimten.

Tabel 5-14 - Energie voor gebruiksapparatuur

Aanduiding	Gebruiksfuncties>> Beschrijving	Onderwijs	Bijeenkomst	Bijeenkomst- kinderopvang	Kantoor Sport	Industrie	Overig	Hele gebouw(MWh)
Ea	Jaarlijks verbruik apparatuur in kWh	5785,2	2560,8	2001,23	1680	480	6164	0
td	Gebruiksuren	1800	2400	2530	2000	2400	4600	1800
PnD spec	Specifiek vermogen in W/m2 volgens tabel 5.3	2	1	1	4	1	20	0
Ag	Gebruiksoppervlak rekenzone	1607	1067	791	210	200	67	144

5.5. Energie voor ventilatie

De berekening voor de benodigde energie voor ventilatie weergegeven in Tabel 5-16 is gebaseerd op Vergelijking 5.9 en Vergelijking 5.10 (ISSO, *Handboek Installatietechniek*, 2002. 3.3.2.3)

Vergelijking 5.9 - Elektrisch opgenomen vermogen ventilator

$$P_{el} = \frac{q_v * P_{tot}}{\eta_{vent}}$$

Vergelijking 5.10 - Rendement ventilator

$$\eta_{vent} = \eta_{hydr} * \eta_{mot}$$

Waarbij:

P_{el} = Elektrisch opgenomen vermogen

q_v = Debiet

P_{tot} = Totaal druk

η_{vent} = rendement van de ventilator (waaier+motor samen)

η_{hydr} = waaierrendement betrekking hebbend op P_{tot}

η_{mot} = motorrendement

De debieten van de ventilatoren zijn uit de luchtkanalenberekeningen overgenomen (*Luchtkanalenberekening Brede school Joure*, Westermann, 2014). Deze zijn iets hoger dan de gespecificeerde capaciteiten in Tabel 4-2 - Capaciteiten LBK's en Tabel 4-3 - Capaciteiten dakafzuiging. De totale drukverliezen zijn bepaald in Tabel 5-15 door bij de berekende kanaaldruk een

drukverschilbijdrage op te tellen voor kanaalcomponenten in de LBK's (volgens NEN, 8088, *Ventilatie en luchtdoorlatendheid van*

Gebouwen, 2014. Tabel D.2). De drukverliezen voor de dakafzuiging in de luchtkanalenberekening zijn direct overgenomen en toegepast in de berekening in Tabel 5-16.

De berekende vermogens zijn de minimale vermogens voor het bereiken van de vereiste debieten bij de gespecificeerde drukverschillen. In werkelijkheid zullen standaard ventilatorvermogens gekozen worden die hoger zijn dan deze waarden. Aangenomen wordt dat de ventilatoren zonder verlies van rendement teruggevoerd kunnen worden.

Voor de gebruiksuren wordt Tabel 5-4 - Ingestelde tijdschema's aangehouden. Om de berekening niet overbodig complex te maken wordt aangenomen dat elke gebruiker uit één gebruiksfunctie bestaat, waarbij voor:

- Fusiechool & E.A.Borgerschool de onderwijsfunctie geldt
- Gemeenschappelijk & It Toanhus de bijeenkomstfunctie geldt
- SKIK de bijeenkomstfunctie kinderopvang geldt

De gebruiksuren voor de dakventilatoren zijn bepaald aan de hand van de gebruiksfunctie van het stramien waarin ze zich bevinden.

Voor de ventilatoren in de LBK's is het motor rendement van 80% voor een 2 kW motor aangehouden (ISSO, *Handboek Installatietechniek*, 2002. Figuur 3.6-15). Het motor rendement van de dakventilatoren is geschat op 70% op basis van de verhouding in vermogen.

De hydraulische rendementen zijn ingeschat aan de hand van paragraaf 3.3.2.3 van hetzelfde handboek.

De in de berekening gebruikte debieten van de LBK's zijn gebaseerd op de eisen voor de ventilatie van de verschillende ruimten. Door de toepassing van regeling op CO₂ concentratie zullen deze debieten in werkelijkheid het grootste deel van de tijd niet worden gehaald. Ter correctie voor de regeling is de factor f_{reg} geïntroduceerd. Bij de bepaling van de benodigde energie voor verlichting zijn factoren voor aanwezigheidsdetectie en veegpulsschakeling toegepast van 0,8 en 0,75 respectievelijk (NEN 7120 tabel 16.2 & 16.3). Bij toepassing van CO₂ gestuurde ventilatie is een factor voor deellast eveneens op zijn plaats, voor situaties waarin er wel personen aanwezig zijn maar de ruimten niet volledig bezet zijn. Deze factor is ingeschat op 0,7. De correctiefactor voor de totale regeling van de LBK ventilatoren wordt dan 0,42 volgens Vergelijking 5.11.

Vergelijking 5.11 - Factor regeling LBK's

$$f_{reg} = 0,8 * 0,75 * 0,7 = 0,42$$

Voor de dakafzuiging is geen sprake van regeling, aangenomen wordt dat deze continu in bedrijf is gedurende de gebruiksperiode. Een factor van 1 wordt aangehouden.

Tabel 5-15 - Totaal drukverlies kanalen

	Kanaal	LBK		Totaal
LBK		WTW	Luchtfilter	
1 Toevoer	218	300	40	558
1 Retour	286	300		586
2 Toevoer	165	300	40	505
2 Retour	157	300		457
3 Toevoer	135	300	40	475
3 Retour	361	300		661
4 Toevoer	203	300	40	543
4 Retour	234	300		534
5 Toevoer	287	300	40	627
5 Retour	204	300		504

Tabel 5-16 - Energie voor ventilatie

LBK nummer	Debiet m3/h	Debiet m3/s	Drukverlies Pa	Benodigd vermogen kW/fan	Gebruiksuren	f;regel	Energie kWh/LBK
1 Toevoer	13155	3,65	558	3,19		1800	0,42
1 Retour	12980	3,61	586	3,30	6,49		
2 Toevoer	5165	1,43	505	1,13		2400	0,42
2 Retour	4995	1,39	457	0,99	2,12		
3 Toevoer	10390	2,89	475	2,14		2400	0,42
3 Retour	10907	3,03	661	3,13	5,27		
4 Toevoer	12190	3,39	543	2,87		1800	0,42
4 Retour	12015	3,34	534	2,78	5,66		
5 Toevoer	5775	1,60	627	1,57		2530	0,42
5 Retour	5525	1,53	504	1,21	2,78		
Totaal LBK's							19588,96

Dakventilator (locatie)							kWh/fan
StramienB-4	350	0,10	90	0,02	1800	1	37,50
Stramien BX-20	350	0,10	84	0,02	1800	1	35,00
StramienD-4	1350	0,38	66	0,06	2400	1	141,43
Stramien DX-14	325	0,09	200	0,04	2400	1	103,17
Stramien EX-13	368	0,10	86	0,02	3000	1	62,79
Stramien EX-14	1500	0,42	56	0,06	3000	1	166,67
Stramien EX-19	200	0,06	168	0,02	2530	1	56,22
Totaal dakafzuiging							602,79

Rendementen	LBK's	Dakventilatoren
η hydraulisch	0,8	0,6
η motor	0,8	0,7
η ventilator	0,64	0,42

Totaal (MWh)	20,19
---------------------	--------------

5.6. Energie voor warm tapwater

De bepaling van de referentiewaarde voor de energie voor warm tapwater is weergegeven in Tabel 5-17, op basis van de berekening in de NEN 7120 hoofdstuk 19. Waar mogelijk is de berekening vereenvoudigd. Het is bijvoorbeeld niet noodzakelijk om de energie voor warm tapwater per afzonderlijke maand te bepalen, en deze vervolgens te sommeren voor de waarde op jaarbasis, omdat er geen gebruik wordt gemaakt van een zonnecollectorsysteem met verschillende besparing per afzonderlijke maand.

Een aantal nulwaarden en repeterende waarden zijn in de tabel gelaten om de opbouw enigszins overzichtelijk te maken. De volgorde van voorkomen van de termen in hoofdstuk 19 van NEN-7120 is aangehouden.

Ten aanzien van de normberekening wordt verder aangenomen dat:

- De boilers als individuele systemen zijn geïnstalleerd, zonder de noodzaak voor een circulatiesysteem*, waardoor het distributierendement van 1,0 zal worden aangehouden. Om dezelfde reden wordt eveneens geen hulpenergie voor distributie meegenomen in de berekening.
- De gemiddelde lengte van de uittap leidingen alleen in de kleedkamers groter is dan 3m. (Van toepassing op afgifterendement volgens tabel 19.3)
- Er enkel sprake is van boilersystemen met één of meerdere (in serie opgestelde) direct verwarmde warmwater voorraadvaten.

Om een zo specifiek mogelijke referentiewaarde te bepalen voor het gebouw lijkt het voor de hand te liggen een correctiefactor te introduceren voor de aanwezigheid van warm tapwater installaties in de verschillende gebruiksgebieden. Voornaamste reden voor toepassing van deze factor is de afwezigheid van een doucheruimte aangrenzend aan de kleedkamers (*Tekeningen sanitaire installaties Brede School Joure*. Westermann). Voor de sportfunctie zal daarom een factor van 0,1 worden gehanteerd, ter correctie van de normaliter negen maal zo hoge specifieke netto warm tapwater behoefte (gespecificeerd in de NEN 7120), ten opzichte van de onderwijsfunctie. Aangenomen wordt dat alle gebruikers toegang hebben tot de centrale keuken voor warm tapwater, de correctiefactor zal daarom voor de overige gebruiksfuncties op 1 worden gesteld.

Tabel 5-17 - Energie voor warm tapwater

Gebruiksfuncties>>		Onderwijs	Bijeenkomst	Bijeenkomst- kinderopvang	Kantoor	Sport	Industrie	Overig	Hele gebouw MWh
Aanduiding NEN 7120	Beschrijving								
Ew	Jaarlijks gebruikte energie voor tapwater volgens 19.2 in MJ	10713	14227	10547	1400	1500	0	0	10,66
Qw;dis;nren;si;	Hoeveelheid energie tbv warm tapw, niet duurzame opw in MJ	8035	10670	7910	1050	1125	0	0	
Fw;gen;si;gi;	Energiefractie warm tapw volgens 19.7	1	1	1	1	1	1	1	
ηw;gen;si;gi;	Opwekkingsrendement warm tapw volgens 19.7	1	1	1	1	1	1	1	
Qw;dis;si;	Hoeveelheid energie tbv warm tapw, aangel aan dis in MJ	8035	10670	7910	1050	1125	0	0	
Qw;ren;si;	Hoeveelheid ene tbv w tapw, eigen terein duurzaam volg 19.6.2	0	0	0	0	0	0	0	
Qw;em;si;mi;	Hoeveelheid ene. tbv w tapw aan afgiftedeel van syst. si in MJ	8035	10670	7910	1050	1125	0	0	
ηw;dis;si;mi;	Distributierendement voor w tapw volgens 19.4	1	1	1	1	1	1	1	
Qw;nd;si;	Netto warmtebeh tbv warm tapw in MJ	8035	10670	7910	1050	900	0	0	
ηw;em;si;	Dimensieloos afgifterendement volgens 19.3	1	1	1	1	1	1	1	
Qw;rcd;u;si;	Hoeveelheid teruggewonnen therm ene tbv w tapw. door wtw	0	0	0	0	0	0	0	
Fw;zi;si;	Fractie van de netto warmtebehoefte tbv w. tapw. volgens 19.2	1	1	1	1	1	1	1	
Qw;nd;zi;	Netto warmtebeh tbv warm tapw van rekenzone zi volgens 19.2	8035	10670	7910	1050	900	0	0	
Qw;nd;u;si;	Netto warmtebeh tbv warm tapw voor utiliteit volgens 19.2	8035	10670	7910	1050	900	0	0	
f,awt	Correctiefactor voor aanwezigheid van warmtapwaterinstallaties	1	1	1	1	0,1	1	1	
Qw;nd;spec;usi;	Specifieke netto warmtebeh w. tapw. gebr funct usi 19.2.3.2	5	10	10	5	45	0	0	
Ag;zi;usi;	Gebruiksoppervlakte van gebruiksfunctie usi bep. volgens 6.6	1607	1067	791	210	200	67	144	

*Hierin circuleert warm tapwater dat bij één of meerdere tappunten kan worden afgetapt. In de regel zijn deze systemen permanent in bedrijf zodat er direct warm tapwater getapt kan worden ongeacht de afstand van de opwekking tot het tappunt.

5.7. Resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten van de berekeningen en simulaties besproken. Paragraaf 5.7.1 geeft een overzicht van alle berekende referentiewaarden, in paragraaf 5.7.2 zien we de jaarbelasting duerkromme voor de warmte en koudevraag van het gebouw, paragraaf 5.7.3 vergelijkt de berekende referentiewaarden met statistieken van bestaande utiliteitsgebouwen en tot slot worden in paragraaf 0 verschillende energieberekeningen van het gebouw met elkaar vergeleken.

5.7.1. Overzicht resultaten

Tabel 5-18 is het totaaloverzicht van de resultaten van de berekeningen en simulaties. De waarden kunnen worden gezien als de referentiewaarden voor de verschillende energiefuncties binnen het gebouw. Ter illustratie is in Figuur 5.7 een Sankey diagram weergegeven volgens de berekende referentiewaarden voor jaarlijks energiegebruik.

Zoals beschreven in paragraaf 5.2 zijn de referentiewaarden voor verwarmen en koelen bepaald met behulp van een gebouwsimulatie, waarin het NEN 5060 energiejaar als klimaatinput dient. Omdat de resultaten van de gebouwsimulatie bepalend zijn voor de effectiviteit van dit verslag is relatief veel tijd besteed aan het valideren van de input. Dit is gedaan door zelf empirisch te achterhalen waar en in hoeverre bepaalde input gevolgen heeft op de output. Maar ook door ervaren collega's van de afdeling gebouwsimulatie binnen Smits van Burgst te raadplegen. Verder is het model gecontroleerd door de consultants Dhr. Van Nieuwkerk en Dhr. Beindorff van Vabi software.

De berekende referentiewaarden in de paragrafen 0 t/m 5.6 zijn grotendeels gebaseerd op:

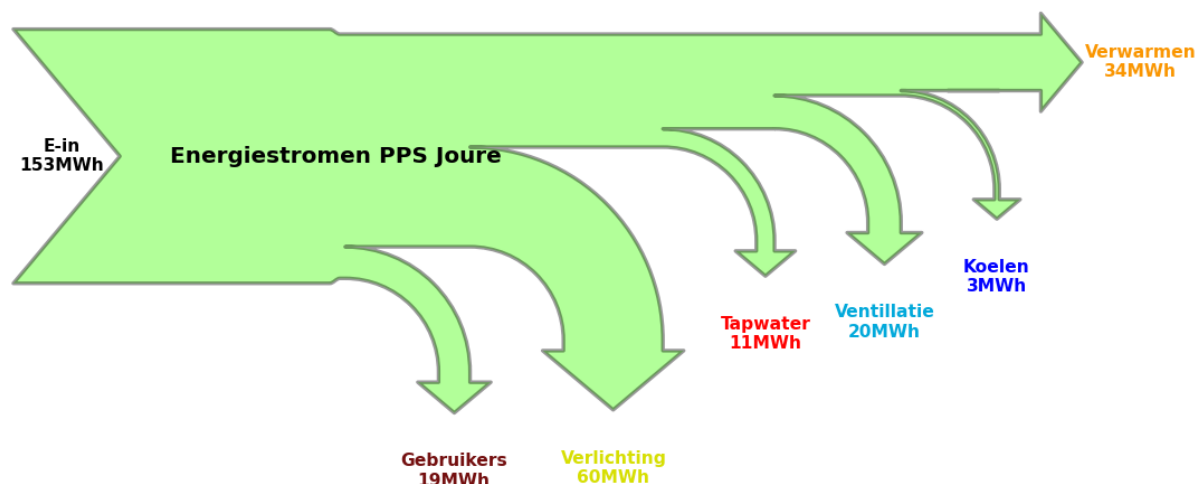
- NEN, 7120, *Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode*, 2012.
- NEN, 8088, *Ventilatie en luchtdoorlatendheid van Gebouwen*, 2014.
- ISSO, *Handboek Installatietechniek*, 2002

In combinatie met de uitgangspunten benoemd in de documenten:

- *Gebruiksparementen Brede School Joure*. Westermann, 2014.
- *Regeltechnische omschrijving Brede school Joure*. Re3com, 2014.
- *Brede School Joure Zuid*, Bezettingsgraden overzicht. Gemeente De Friese Meren, 2012.
- *Brede School te Joure*, Omschrijving Technische installaties. Westermann, 2014.

Tabel 5-18 - Overzicht referentiewaarden

BVO voor berekening(m2)	4016	
Verbruik:	Totaal(MWh/m2)	Specifiek(kWh/m2)
Elektra totaal	153	0,04
Verwarmen afzonderlijk(kWh)	33,89	8,44
Koelen afzonderlijk(kWh)	2,67	0,66
Ventilatie afzonderlijk(kWh)	20,19	5,03
Tapwater(kWh)	10,66	2,66
Verlichting(kWh)	59,63	14,85
Gebruikers(kWh)	18,67	4,65
Onvoorzien	5%	

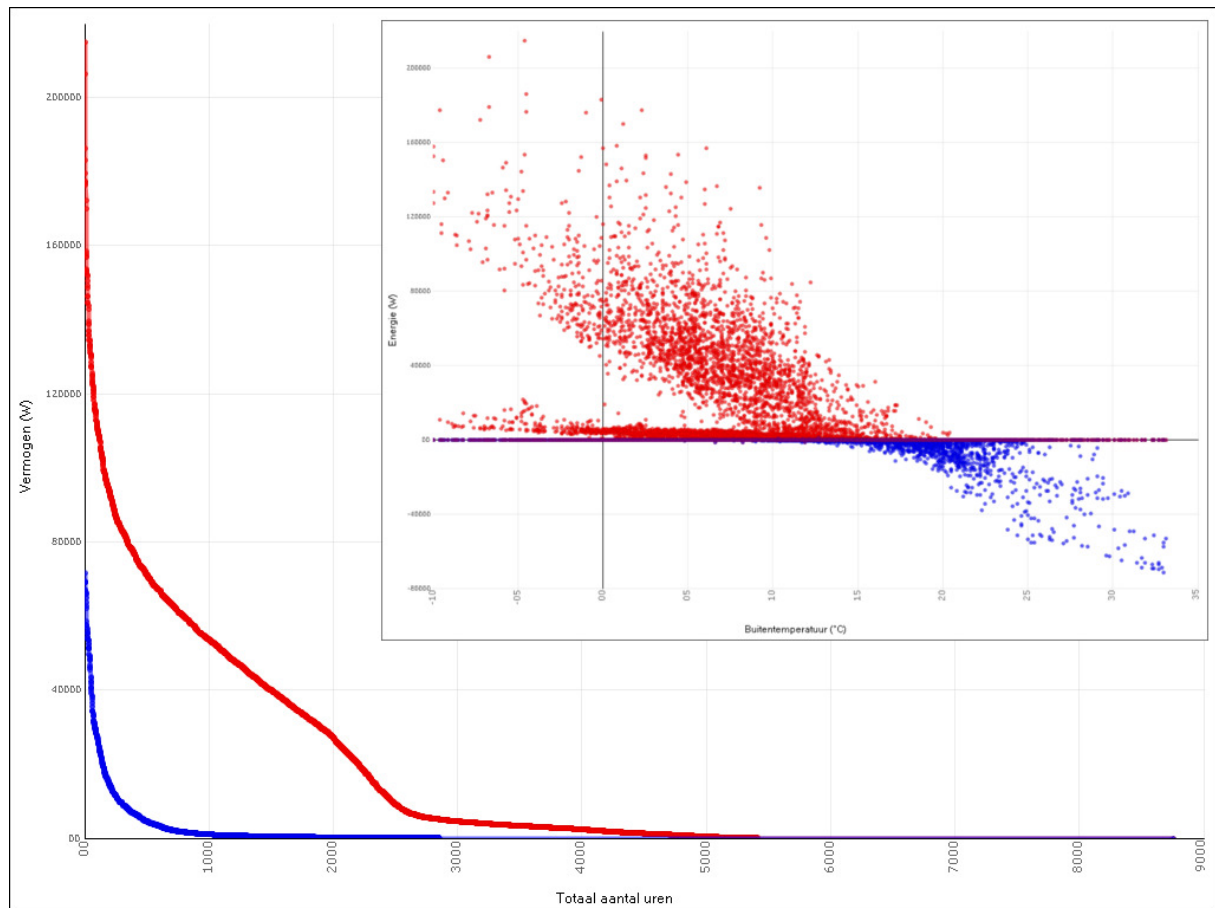


Figuur 5.7 - Sankey diagram referentiewaarden jaarenergiegebruik

5.7.2. Jaargedrag warmte en koudebehoefte

De maandelijkse waarden voor koude en warmtevraag in Tabel 5-8 geven al een indicatie van het gedrag van de thermische installaties in het gebouw. Om dit nog wat inzichtelijker te maken is in Figuur 5.8 de belastingduur kromme weergegeven. Hierin wordt de grootte van de belasting (vermogen) voor warmte en koude uitgezet tegen de tijd gedurende het jaar dat deze van toepassing is. De oppervlakte onder de kromme is hierdoor een maat voor de benodigde energie op jaarbasis. Het vermogen voor verwarmen en koelen wordt geïllustreerd door respectievelijk de rode en blauwe lijn. De grafiek kent een relatief steile daling voor zowel verwarmen als koelen. Het maximale thermische vermogen, van 215kW voor verwarmen en 72kW voor koelen, zal dus relatief weinig worden toegepast.

Rechtsboven in de figuur is verder het behoefteprofiel van het gebouw weergegeven. Hierbij wordt elk gesimuleerd uur van het jaar door een stip gerepresenteerd, waarbij de verticale positie de actuele warmte- (rood en positief) of koudebehoefte (blauw en negatief) illustreert, en de horizontale positie de actuele buitentemperatuur. Het lijnvormige gebied met hoge 'stipdichtheid', bestaande uit stippen met relatief lage warmtebehoefte vlak boven de horizontale as, representeert de warmtebehoefte buiten de gebruikperiode (waarin de setpoints lager zijn).

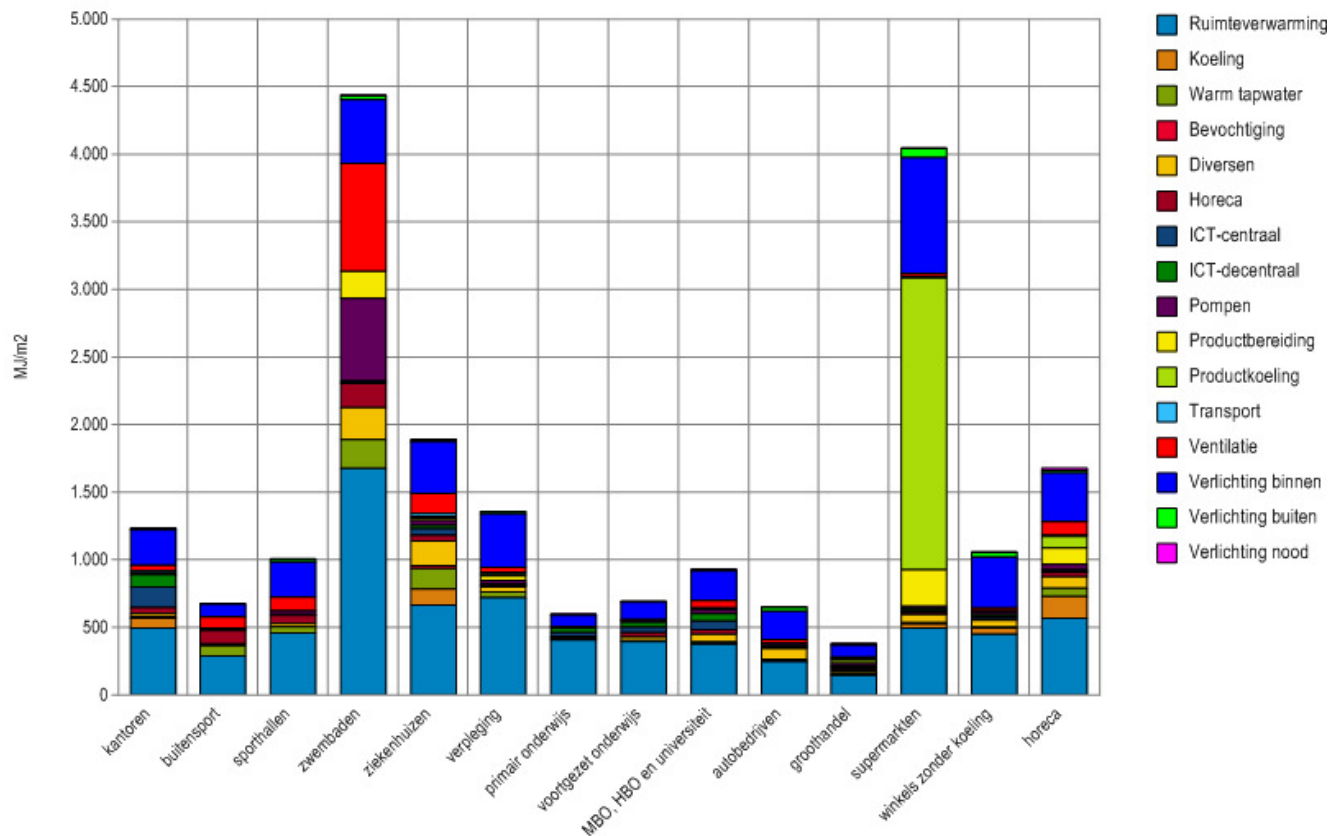


Figuur 5.8 – Jaar belasting duurkromme en behoefteprofiel verwarmen en koelen PPS Joure

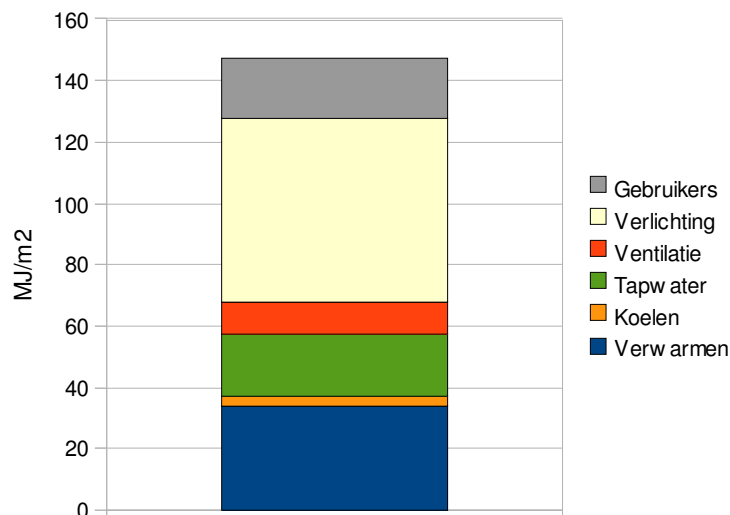
5.7.3. Vergelijking met bestaande utiliteitsgebouwen

Om de berekende resultaten in perspectief te zien is in Figuur 5.9 een overzicht te zien van het energiegebruik van bestaande utiliteitsgebouwen uit 2008. In deze figuur zijn voor verschillende type utiliteitsgebouwen de jaarlijkse energiebehoefte voor verschillende functies weergegeven. Voor de brede school in Joure is de kolom voor primair onderwijs het meest van toepassing. Eventueel kan ook gekeken worden naar de kolom voor sporthallen aangezien de gymzaal onderdeel is van het gebouw. De kolom voor kantoren is minder relevant omdat aangenomen kan worden dat standaard schoolgebouwen proportioneel gezien over ongeveer evenveel kantoorruimten beschikken als de brede school in Joure.

Ter vergelijking is eenzelfde kolom in Figuur 5.10, met de berekende resultaten als input.



Figuur 5.9 - Energiegebruik in utiliteitsgebouwen, verdeeld naar functie (MJ/m²).
Bron: Meijer Energie & Milieumanagement B.V. 2008. (Via Senternovem databank)



Figuur 5.10 - Kolom met berekende referentiewaarden

Vergeleken met de kolom voor primair onderwijs in Figuur 5.9 is het berekende totale specifieke energiegebruik van de Brede school in Joure ongeveer een factor drie kleiner. Hierbij zit het verschil voornamelijk in de energie voor verwarming, de energie voor de overige functies is in absoluut zin vergelijkbaar.

De significant lagere warmtebehoefte is te verklaren door het feit dat de kolom in Figuur 5.9 een representatie is van het gemiddelde van alle schoolgebouwen in 2008. Ten opzichte van de nieuw gebouwde Brede school in Joure hebben deze gebouwen gemiddeld aanzienlijk lagere waarden voor isolatie en kierdichting. Ook zal bij de meeste bestaande schoolgebouwen geen sprake zijn van warmteterugwinning en warmteopwekking met een warmtepomp.

5.7.4. Vergelijking verschillende energieberekeningen

Tabel 5-19 is een overzicht van de resultaten van verschillende energieberekeningen van het gebouw. Van links naar rechts zijn weergegeven: de resultaten uit 2012 van een vijftal installatieadviesbureaus, deze zijn niet voor elke energiefunctie afzonderlijk benoemd; de zelf berekende referentiewaarden zoals in Tabel 5-18; de direct volgens NEN 7120 berekende waarden, omgerekend naar niet-primaire energie en kWh, zoals in Tabel 5-9.

Opvallend is dat het totaal berekende gebruik van zowel Innax als Vitruvius nagenoeg identiek zijn, ondanks een verschillende opbouw. En dat de overige resultaten relatief uiteenlopend zijn.

Tabel 5-19 - Vergelijking energieberekeningen

BVO voor berekening(m2)	Westermann 4269		Promteg 4269		Innax 4269		Vitruvius 4269		Beekink 4378		Berekend/gesimuleerd 4016		Direct volgens EPG 4016		
Gerbruik:	MWh	kWh/m2	MWh	kWh/m2	MWh	kWh/m2	MWh	kWh/m2	MWh	kWh/m2	MWh	kWh/m2	MJ	MWh	kWh/m2
Elektra totaal en specifiek	306,58	71,82	68	15,93	283,501	66,41	283,295	66,36	150	34,26	153,00	38,10	1456089	184,90	46,04
Verwarmen/koelen + gebouw overig	153,33	35,92			166,154	38,92	171,84	40,25			56,76		869825	93,81	
Verwarmen afzonderlijk							97,44	22,82			33,894	8,44	339454	39,23	9,77
Koelen afzonderlijk							27,69	6,49			2,6695	0,66	132625	11,42	2,84
Ventilatie afzonderlijk							46,71	10,94			20,19	5,03	397746	43,16	10,75
Tapwater											10,66	2,66	124856	13,55	3,37
Verlichting	68,25	15,99			57,375	13,44	36,55	8,56			59,63	14,85	461408	50,07	12,47
Gebruikers	65	15,23			46,472	10,89	74,91	17,55			18,67	4,65		18,67	4,65
Onvoorzien	20	4,68			13,5						5%			5%	

Totale energiebehoefte die overeen komt met afgesproken volumegarantie.

Totaal van zelf berekende/gesimuleerde waarden

Totaal van direct volgens NEN 7120 berekende waarden, met zelf berekende energie voor gebruiksapparatuur en 5% onvoorzien.

Helaas zijn er geen uitwerkingen van de energierekeningen uit 2012 voor handen. Hierdoor is niet direct duidelijk wat de oorzaak is van de onderlinge verschillen. Een mogelijke verklaring is dat de berekeningen uit 2012 bepaald zijn in een vroeg stadium, waarin nog niet alle uitgangswaarden gedefinieerd waren. Hierdoor zouden ze veelal gebaseerd kunnen zijn op vuistregels, met onderling iets andere aannames. Ook kan het zijn dat voor de benodigde energie voor gebruiksapparatuur en warm tapwater met andere uitgangswaarden is gerekend, omdat hiervoor ook in een later stadium geen richtlijnen voor zijn gespecificeerd. Uiteraard zijn deze verklaringen speculatief. Het valt buiten het kader van de opdracht om hier verder op in te gaan.

6. Bepalen invloed van afwijkingen in gebruik

Het hoofddoel van dit verslag stelt dat afwijkingen van het beoogde gebruik van het gebouw proportioneel moeten kunnen worden verrekend. Volgens de beschreven proces indicatie in hoofdstuk 3 zijn hiervoor kengetallen nodig, voor de invloed van het gebruik. Deze zullen in dit hoofdstuk worden bepaald.

Voor de bepaling van deze kengetallen zal in paragraaf 6.1 de methode worden beschreven. Onderdeel van de methode is het gebruik van statistiek, waarvan in paragraaf 6.2 een korte toelichting. In de paragrafen 6.3 en 6.4 wordt beschreven waarom, en op wat voor manier, respectievelijk het klimaat en de gebruikstijden zullen worden genormaliseerd. Tot slot beschrijft paragraaf 6.5 de bepaling van de afzonderlijke kengetallen voor de verschillende gebruiksinvloeden.

6.1. Methode van bepaling

Deze paragraaf zal in grote lijnen beschrijven op wat voor manier de kengetallen voor gebruiksinvloeden zullen worden bepaald. Het direct bepalen van de kengetallen, op basis van de in hoofdstuk 5 berekende referentiewaarden, zal worden gedaan met behulp van zogenaamde regressieanalyses. Hierin wordt de invloed van een inputparameter op een outputparameter gekwantificeerd. Bijvoorbeeld de invloed van de hoogte van het setpoint voor verwarmen op de benodigde energie voor verwarming. Een toelichting van het begrip regressie analyse is te vinden in bijlage 5.

Een aantal voorbereidingen van de referentiewaarden is noodzakelijk, voordat hierop kengetallen kunnen worden gebaseerd. Allereerst zal het klimaat worden genormaliseerd, waarom en hoe is beschreven in 6.3. Ook de gebruikstijden van de verschillende zones in het gebouw zullen worden genormaliseerd vóór het bepalen van de kengetallen voor gebruiksinvloed, hierover meer in 6.4.

Voor de volgende gebruiksparemeters zal een analyse worden uitgevoerd, om de invloed ervan op het jaarlijks energiegebruik van de verschillende energiefuncties te bepalen:

- Gebruikstijd
- Setpoints voor verwarmen en koelen

Er is voor deze parameters gekozen omdat ze relatief nauwkeurig zijn gespecificeerd in de referentiedocumenten van het gebouw. Hierdoor zullen de referentiewaarden, en daarmee de te bepalen kengetallen voor gebruiksinvloed, een aanvaardbare nauwkeurigheid hebben.

In tegenstelling tot bijvoorbeeld het specifiek geïnstalleerd vermogen voor apparatuur, of de mate waarin gebruik gemaakt wordt van warm tapwater, per eenheid van gebruiksoppervlak. Zonder aanvullende informatie over de wijze van gebruik, kan geen zinnige uitspraak worden gedaan over de invloed van een hogere waarde voor deze parameters. Het is bijvoorbeeld niet vanzelfsprekend dat het energiegebruik voor gebruiksparematuur omhoog zal gaan, wanneer hiervoor een hoger totaalvermogen wordt geïnstalleerd, omdat dit mogelijk zou kunnen resulteren in kortere gebruikstijd van de apparatuur. Aanbevolen wordt om afspraken te maken voor het jaarenergiegebruik voor apparatuur en warm tapwater, op basis van concrete gegevens van het gebruik hiervan in de praktijk. Deze afspraken kunnen vervolgens direct worden getoetst op basis van gemeten waarden met de kWh meters voor WCD groepen (Regeltechnische omschrijving Brede school Joure. Re3com, 2014)

6.2. Toelichting te gebruiken statistiek

Voor het analyseren van de bepaalde referentiewaarden (hoofdstuk 5), zullen relatief eenvoudige statistische methoden worden toegepast. Het ligt buiten het kader van dit verslag om uitvoerig in te gaan op de achterliggende statistische theorie. Een zekere mate van beheersing hiervan is echter wel wenselijk om de methode van bepaling in dit hoofdstuk goed te kunnen volgen. Om die reden geeft de volgende alinea een kleine introductie van het begrip statistiek. Verder is in bijlage 5 een toelichting te vinden, van een aantal voor dit verslag belangrijke statistische begrippen (op basis van: Moore, S., e.a., Introduction to the practice of statistics. New York: W.H. Freeman and Company, 2009). De begrippen zijn gerangschikt op volgorde van complexiteit, om de opbouw zo overzichtelijk mogelijk te houden. De eerder genoemde begrippen kunnen terugkomen als onderdeel van de begrippen die later worden genoemd.

Statistiek is de studie van het verzamelen, analyseren, interpreteren, presenteren en organiseren van data. Hierbij is de data een verzameling waarden voor verschillende variabelen. Bij het toepassen van statistiek op een specifiek probleem is het noodzakelijk te beginnen met een populatie of een proces

om te onderzoeken. Vervolgens kan getracht worden om, op basis van gegevens van een deel van de populatie (steekproef), informatie over de gehele populatie te krijgen.

In de wetenschap is het vaak het doel om een causaal (oorzakelijk) verband aan te tonen tussen variabelen. Als dit succesvol wordt gedaan wordt er gesproken van één of meerdere onafhankelijke variabelen, en één of meerdere daarvan afhankelijke variabele. In dit verslag ligt de nadruk niet op statistisch onderzoek en zullen bepaalde causale verbanden worden aangenomen; zoals dat het energiegebruik afhankelijk is van het gebruik en/of het klimaat. Een voorbeeld hiervan is de logische aanname dat de benodigde energie voor verlichting in het gebouw afhankelijk is van de gebruikstijd, en niet andersom. Met deze aannames is het verband tussen variabelen echter nog niet gekwantificeerd, dit zal in dit hoofdstuk gedaan worden.

6.3. Normaliseren klimaat

Het energiegebruik voor verwarmen en koelen van een gebouw is in grote mate afhankelijk van het externe klimaat, in het bijzonder de buitentemperatuur. Dit komt omdat de binnentemperatuur in de regel constant wordt gehouden, en het verschil tussen binnen- en buitentemperatuur bepalend is voor de mate van warmte of koudeverlies met de omgeving. In de praktijk zal het verloop van de buitentemperatuur gedurende verschillende jaren niet hetzelfde zijn. Voor het effectief beoordelen van gemeten waarden, voor energiegebruik voor verwarmen en koelen, is het daarom noodzakelijk dat variantie in de buitentemperatuur buiten beschouwing wordt gelaten. Dit kan door allereerst de invloed van de buitentemperatuur op het energiegebruik te kwantificeren, waarmee vervolgens het jaarenergiegebruik genormaliseerd kan worden. Dit kan zowel gedaan worden voor daadwerkelijk gemeten jaarlijkse waarden als voor de referentiewaarden op basis van het NEN 5060 referentie klimaatjaar. Een relatief eenvoudige en veel gebruikte methode voor het normaliseren van de buitentemperatuur gedurende een jaar is de graaddagen methode, deze zal worden toegelicht in paragraaf 6.3.1.

6.3.1. Toelichting graaddagen methode

Bij gebruik van de graaddagen methode wordt de buitentemperatuur genormaliseerd met behulp van het aantal graaddagen van het jaar.

Een graaddag voor verwarmen wordt gedefinieerd als de referentietemperatuur minus de gemiddelde dagtemperatuur, geminimaliseerd op 0. De referentietemperatuur kan worden gezien als de buitentemperatuur vanaf waaronder gestookt moet worden, om de ingestelde setpoints voor temperatuur binnen het gebouw te handhaven, en is dus gebouwspecifiek. De hoogte van deze referentietemperatuur is onder meer afhankelijk van de ingestelde setpoints voor verwarmen, de interne warmtelast en de zoninstraling. Volgens Vergelijking 6.1 kunnen de graaddagen voor verwarmen van een jaar worden bepaald.

Vergelijking 6.1 - Jaarlijkse graaddagen voor verwarmen

$$GDV_{jaar} = \sum_{dag} \text{Min}[0; TrV_{geb} - Tg_{dag}]$$

Waarbij:

GDV_{jaar} zijn de graaddagen voor verwarmen van het beschouwde jaar

TrV_{geb} is de referentietemperatuur voor verwarmen van het gebouw

Tg_{dag} is de gemiddelde buitentemperatuur van de dag

Een graaddag voor koelen wordt gedefinieerd als de referentietemperatuur plus de gemiddelde dagtemperatuur, genormaliseerd op 0. Hierbij kan de referentietemperatuur worden beschouwd als de buitentemperatuur vanaf waarboven gekoeld moet worden, om de ingestelde setpoints voor temperatuur binnen het gebouw te handhaven.

Volgens Vergelijking 6.2 kunnen de graaddagen voor verwarmen van een jaar worden bepaald.

Vergelijking 6.2 - Jaarlijkse graaddagen voor koelen

$$GDK_{jaar} = \sum_{dag} \text{Min}[0; TrK_{geb} + Tg_{dag}]$$

Waarbij:

GDK_{jaar} zijn de graaddagen voor koelen van het beschouwde jaar

TrK_{geb} is de referentietemperatuur voor koelen van het gebouw

Tg_{dag} is de gemiddelde buitentemperatuur van de dag

Bij toepassen van de graaddagen methode wordt verondersteld dat de benodigde energie voor verwarmen of koelen van een gebouw, recht evenredig is met het aantal graaddagen van het jaar. Als het aantal graaddagen is bepaald, voor bijvoorbeeld verwarming, en de hiervoor gebruikte energie bekend is, kan het energiegebruik genormaliseerd worden met betrekking tot de buitentemperatuur. Dit kan bijvoorbeeld op basis van verhoudingen, door de energie per graaddag te bepalen voor zowel de jaarlijkse referentiewaarde als voor elk gerapporteerde jaar, en vervolgens deze waarde voor de gerapporteerde jaren te vermenigvuldigen met de graaddagen van het referentie energiejaar. Zo kunnen de waarden voor het energiegebruik voor verwarmen worden vergeleken. In tabel Tabel 6-1 is weergegeven hoe dit er uit zou kunnen zien, voor de jaren 2015 en 2016 zijn fictieve waarden ingevoerd ter indicatie van de methode. De graaddagen voor het referentie energiejaar zijn willekeurig ingevoerd omdat de specifieke referentietemperatuur van het gebouw, voor het bepalen van graaddagen, nog niet bepaald is.

Tabel 6-1 - Voorbeeld normaliseren klimaat

Jaar	Energie verwarmen (kWh)	Graaddagen	Energie/graaddag(kWh)	Genormaliseerd (kWh)	Afwijking
Referentie	33894	1500	22,60	33894,00	
2015	40000	1800	22,22	33333,33	-1,65%
2016	30000	1200	25,00	37500,00	10,64%

Wanneer dit de werkelijke gerapporteerde waarden zouden zijn, zou in het jaar 2016 de verwarming van het gebouw efficiënter lijken dan in het jaar 2015, als alleen gekeken wordt naar het gerapporteerde energieverbruik en niet naar het klimaat. Normaliseren van het klimaat met de beschreven methode, maakt het mogelijk het energiegebruik voor verwarmen van de twee jaren effectief te vergelijken. Op deze manier is te zien dat de verwarmingsinstallatie als geheel, in 2016 10% minder efficiënt heeft gepresteerd dan volgens de referentie berekening, waar deze efficiëntie in 2015 veel dichterbij elkaar lag. Uiteraard zijn de ingevoerde waarden slechts indicatief, en bewust gekozen om het praktisch nut van op deze manier normaliseren duidelijk te maken.

6.3.2. Aandachtspunten graaddagen methode

De graaddagen methode kent een aantal problemen of valkuilen, die voor het grootste deel te ondervangen zijn (www.energylens.com/articles/degree-days). De mate waarin dit gebeurt is bepalend voor de nauwkeurigheid van de methode.

Om te beginnen is er de hoogte van de referentietemperatuur van het gebouw, ook wel de basistemperatuur of het balanspunt genoemd. Deze kan sterk uiteenlopen tussen verschillende gebouwen, afhankelijk van met name de interne warmtebelasting en de invloed van zoninstraling (als gevolg van geografische locatie, oriëntatie, glas oppervlak/type, zonwering).

De hoogte van de referentietemperatuur van een specifiek gebouw laat zich niet nauwkeurig bepalen met behulp van alleen logica. De referentietemperatuur voor de brede school in Joure zal daarom in paragraaf 6.3.3, kwantitatief worden ingeschat met behulp van een regressie analyse.

Verder kan de zogenaamde basisbelasting voor problemen zorgen, wanneer met één energiemeter meerdere energiefuncties worden gemeten. Bij graaddagen voor verwarmen bijvoorbeeld, kan de basisbelasting worden gezien als de energie die niet voor verwarmen wordt gebruikt, en daarom onafhankelijk van de buitentemperatuur wordt verondersteld, zoals energie voor verlichting of ventilatie. Bij de brede school in Joure is geen sprake van dit probleem omdat de energie voor verwarmen afzonderlijk wordt gemeten (Regeltechnische omschrijving Brede school Joure. Re3com, 2014).

Een andere mogelijke bron van onnauwkeurigheid is het feit dat veel gebouwen niet gedurende een heel etmaal in gebruik zijn. De buitentemperatuur buiten de gebruikstijd is dan minder van invloed op de benodigde energie voor verwarmen of koelen, omdat het te halen setpoint dan respectievelijk lager of hoger zal zijn. Omdat bij het bepalen van de graaddagen de gemiddelde dagtemperatuur wordt gebruikt, kan dit voor onnauwkeurigheid zorgen. Vooral de verwachte energie voor verwarmen kan hierdoor afwijken van de werkelijkheid omdat de buitentemperatuur buiten gebruikstijd (in de nacht) typisch lager is dan binnen de gebruikstijd. Om dit probleem te verhelpen kan in plaats van de

standaard methode op basis van de daggemiddelde temperatuur, een methode worden gebruikt waarbij per dag de graaduren binnen de gebruikstijd worden opgeteld. Hierbij wordt een graaduur op dezelfde wijze bepaald als een graaddag, maar dan over het tijdsbestek van één uur en met de gemiddelde temperatuur van dat uur. Het bepalen van graaddagen door het sommeren van graaduren kan dan volgens Vergelijking 6.3 en Vergelijking 6.4.

Vergelijking 6.3 - Graaddagen voor verwarmen volgens gesommeerde uren methode

$$GDV_{jaar} = \sum_{dag} \sum_{uur} \text{Min}[0; TrV_{geb} - Tg_{uur}]$$

Waarbij:

GDV_{jaar} zijn de graaddagen voor verwarmen van het beschouwde jaar

TrV_{geb} is de referentietemperatuur voor verwarmen van het gebouw

Tg_{uur} is de gemiddelde buitentemperatuur van het uur

Vergelijking 6.4 - Graaddagen voor koelen volgens gesommeerde uren methode

$$GDK_{jaar} = \sum_{dag} \sum_{uur} \text{Min}[0; TrV_{geb} - Tg_{uur}]$$

Waarbij:

GDK_{jaar} zijn de graaddagen voor koelen van het beschouwde jaar

TrK_{geb} is de referentietemperatuur voor koelen van het gebouw

Tg_{uur} is de gemiddelde buitentemperatuur van het uur

Bij gebruik van bovenstaande vergelijkingen kan dan gekozen worden om enkel de uren binnen de gebruikstijd van het gebouw te sommeren, met eventueel een marge voor opwarming of afkoeling naar het setpoint voor gebruiksuren. Voor de brede school in Joure lijkt sommeren van de graaduren van 6u tot en met 22u een goede conservatieve benadering. Met deze periode wordt rekening gehouden met twee uur opwarmtijd vóór gebruik van de eerste ruimten in het gebouw, en met de laatst mogelijke gebruikstijd van alle ruimten.

Een bijkomend voordeel van het bepalen van graaddagen door sommeren van de graaduren, is dat deze methode sowieso iets nauwkeuriger de vraag zal voorspellen (ook wanneer alle uren van de dag worden gesommeerd). Dit omdat bij gebruik van de gemiddelde dagtemperatuur geen rekening wordt gehouden met de spreiding (mate van fluctuatie) van de buitentemperatuur gedurende de dag. Bij een hogere spreiding zal voor eenzelfde gemiddelde dagtemperatuur, in veel gevallen ook een grotere warmte of koudebehoefte gelden (ook afhankelijk van de gebouwmassa).

Als laatste aandachtspunt kan genoemd worden, dat bij toepassen van de graaddagen methode een lineair verband wordt verondersteld, tussen graaddagen en de benodigde energie. In werkelijkheid zal dit, weliswaar bij benadering gelden, maar niet exact het geval zijn. Met name bij buitentemperaturen die dicht bij de referentietemperatuur liggen zal het verband niet lineair zijn. Een mogelijke manier om de invloed hiervan te beperken is, door voor verwarmen een referentietemperatuur te kiezen die wat lager ligt dan de temperatuur vanaf waaronder verwarmt moet worden (en voor koelen iets hoger). Hiermee kan de voorspellende nauwkeurigheid van het aantal graaddagen worden verhoogd. Het bepalen van de meest geschikte referentietemperatuur zal gedaan worden in paragraaf 6.3.3.

6.3.3. Bepalen specifieke referentietemperatuur

In deze paragraaf zal de referentietemperatuur van de brede school in Joure worden bepaald, voor graaddagen voor verwarmen en koelen, waarmee het meest nauwkeurig de energievraag voorspeld kan worden. De methode waarop dit zal gebeuren is door in een spreadsheet de graaddagen voor elke maand van het NEN 7120 referentiejaar te bepalen, voor een reeks aan referentietemperaturen, en deze vervolgens te correleren met de gesimuleerde energiebehoefte. Bepaling van de graaddagen zal gaan volgens Vergelijking 6.3 en Vergelijking 6.4, waarbij per dag alleen de graaduren van 6 tot en met 22 uur worden meegenomen (zoals beschreven in paragraaf 6.3.2). Voor de referentietemperaturen is een schatting gemaakt van het gebied waarin de meest geschikte voor de brede school in Joure zal liggen, de referentietemperaturen in dit gebied worden bepaald met intervallen van een halve graad. Om het overzicht te behouden zijn achteraf een aantal

referentietemperaturen, die meer dan 2°C afwijken van de meest geschikte referentietemperatuur, uit de tabellen gehaald.

De meest geschikte referentietemperatuur, voor het bepalen van de graaddagen voor verwarmen, is bepaald is in tabel Tabel 6-2. In de tabel vertegenwoordigd elke rij een maand van het referentiejaar, en elke kolom een referentietemperatuur voor het bepalen van de graaddagen voor verwarmen. Voor iedere referentietemperatuur is het totaal aan graaddagen per maand weergegeven (volgens Vergelijking 6.3), met daaronder het totaal aan graaddagen voor het hele jaar, en daaronder de specifieke warmtebehoefte in kWh/GDV (graaddag voor verwarmen). De datasets met graaddagen per maand, voor elk van de referentietemperaturen, zijn gecorreleerd met de dataset voor energiebehoefte per maand. De correlatiecoëfficiënt (R^2) tussen de maandelijkse graaddagen en energiebehoefte, is onderaan de kolom voor iedere referentietemperatuur weergegeven. De referentietemperatuur met de hoogste R^2 waarde zal worden gebruikt als referentietemperatuur voor het gebouw, hierbij wordt aangenomen dat deze ook in werkelijkheid het meest nauwkeurig de energiebehoefte zal voorspellen. De hoogste R^2 waarde, afgerond op vier decimalen, geldt voor zowel de referentietemperatuur van 13,5°C als 14°C. Gekozen is om 14°C aan te houden als de referentietemperatuur voor graaddagen voor verwarming, omdat een heel getal waarschijnlijk gemakkelijker is in het gebruik.

Tabel 6-2 - Correlatie referentietemperaturen met warmtebehoefte

Referentietemperatuur(°C)>>		12,50	13,00	13,50	14,00	14,50	15,00	15,50	Warmtebehoefte (kWh)
Maand referentiejaar	Graaddagen per maand per referentietemperatuur								
	1	212,48	223,46	234,44	245,42	256,40	267,38	278,35	8121
	2	140,60	149,59	158,65	167,74	176,90	186,14	195,43	5358
	3	113,01	123,40	133,87	144,40	155,00	165,62	176,25	4564
	4	56,89	64,85	73,07	81,54	90,18	99,00	107,97	1807
	5	11,43	15,06	19,35	24,32	29,94	36,18	43,09	296
	6	2,26	3,43	5,03	7,16	9,80	12,92	16,55	7
	7	0,19	0,39	0,68	1,13	1,98	3,23	4,90	1
	8	1,85	2,39	3,12	4,04	5,17	6,57	8,25	
	9	5,51	7,38	9,69	12,45	15,85	19,85	24,63	108
	10	33,78	40,00	46,78	54,18	62,29	70,94	80,02	1936
	11	104,71	114,77	124,95	135,17	145,42	155,69	165,96	4990
	12	179,94	190,56	201,19	211,81	222,44	233,06	243,69	6703
GDV totaal		862,64	935,27	1010,81	1089,35	1171,35	1256,57	1345,10	33890
Specifieke warmtebehoefte(kWh/GDV)		39,29	36,23	33,53	31,11	28,93	26,97	25,19	
Correlatiecoëfficiënt (R^2)		0,9918	0,9930	0,9935	0,9935	0,9931	0,9923	0,9912	

De meest geschikte referentietemperatuur, voor het bepalen van de graaddagen voor koelen, is vastgesteld op 17°C in Tabel 6-3. De wijze van bepaling is hetzelfde als die in Tabel 6-2, maar dan met de graaddagen voor koelen volgens Vergelijking 6.4.

Tabel 6-3 - Correlatie referentietemperaturen met koudebehoefte

Referentietemperatuur(°C)>>		15,50	16,00	16,50	17,00	17,50	18,00	18,50	Koudebehoefte (kWh)
Maand referentiejaar	Graaddagen per maand per referentietemperatuur								
	1								0
	2	0,12	0,02						0
	3								0
	4	6,00	4,82	3,74	2,83	2,08	1,46	0,94	4,5
	5	22,65	19,51	16,73	14,31	12,19	10,26	8,58	38
	6	57,71	51,65	46,21	41,30	36,82	32,81	29,25	745,5
	7	78,39	70,05	62,25	55,13	48,73	42,87	37,63	791,5
	8	76,89	68,22	59,97	51,98	44,43	37,39	30,84	1067
	9	25,44	20,68	16,60	13,26	10,56	8,32	6,42	21,5
	10	2,81	1,61	0,80	0,34	0,15	0,07	0,01	0
	11								0
	12								0
GDK totaal		270,01	236,56	206,30	179,15	154,96	133,18	113,67	2670
Specifieke warmtebehoefte(kWh/GDK)		9,89	11,28	12,94	14,9	17,23	20,04	23,48	
Correlatiecoëfficiënt (R^2)		0,9515	0,9551	0,9583	0,9585	0,9564	0,9520	0,9432	

6.3.4. Bepalen specifieke energiebehoefte per graaddag

Op basis van de in paragraaf 6.3.3 bepaalde referentietemperaturen, zijn de kengetallen voor de specifieke warmtebehoefte van het gebouw per graaddag weergegeven, eveneens in Tabel 6-3. en in Tabel 6-2. De waarden zijn bepaald door de berekende referentiewaarden, voor de benodigde energie voor verwarmen en koelen, te delen door het aantal graaddagen van het referentiejaar. De te gebruiken waarden voor specifieke warmtebehoefte, bijbehorend bij de meest geschikte referentietemperaturen, zijn 31,1kWh en 14,9kWh voor verwarmen en koelen respectievelijk. Voor normaliseren van gerapporteerde waarden voor energiegebruik, zullen ook de waarden voor het totaal aan graaddagen van het referentiejaar worden gebruikt, bepaald op 1089 graaddagen voor verwarmen en 179 graaddagen voor koelen.

6.4. Normaliseren gebruikstijd

Om de invloed van gebruikstijd op het jaarlijkse energiegebruik zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen is het wenselijk de gebruikstijd, in de berekeningen en simulaties, over het hele gebouw te normaliseren.

Voor de benodigde energie voor verwarmen en koelen is dit met name belangrijk omdat de mate van onzekerheid, ten gevolge van de invloed van interne warmtestromen, onbekend is. Wanneer voor alle ruimten dezelfde gebruikstijden gelden zijn warmtestromen binnen het gebouw te verwaarlozen.

In mindere mate significant, maar eveneens van waarde, lijkt het om de gebruikstijden voor de afzonderlijk berekende energiefuncties te normaliseren. Voornamelijk om de mogelijkheid te behouden achteraf de energie per eenheid van gebruiksoppervlak, en daarmee per gebruiker, te bepalen. Omdat de gebruiker SKIK meer gebruiksdagen in het jaar heeft dan de overige gebruikers zou dit minder nauwkeurig zijn zonder vooraf de gebruiksuren te normaliseren.

In paragraaf 6.4.1 wordt beschreven hoe de invoer voor de gebouwsimulatie, ten aanzien van gebruikstijd, wordt genormaliseerd. Paragraaf 6.4.2 beschrijft het normaliseren van de gebruiksuren voor het bepalen van kengetallen voor de energiefuncties verlichting, gebruik/apparatuur, ventilatie en warm tapwater.

6.4.1. Gebouwsimulatie

Bij het normaliseren van de gebruikstijd, voor invoer in de gebouwsimulatie, zullen de in hoofdstuk 5 beschreven sjablonen voor gebruik worden genormaliseerd, tot één sjabloon voor het hele gebouw. De gebouwsimulatie wordt alleen gebruikt voor het bepalen van de energie voor verwarmen en koelen, de relevante invloed van de gebruikstijd is daarom beperkt tot de setpoints voor temperatuur en de interne warmtelasten. De setpoints voor temperatuur zijn in het hele gebouw gelijk, en hoeven dus niet genormaliseerd te worden. Het gedrag van de interne warmtelasten wordt gedefinieerd door de sjablonen voor gebruik. Hierin zijn niet alleen de gebruikstijden voor de interne warmtelasten vastgelegd, maar ook het specifiek vermogen van de warmtelasten en een factor voor aanwezigheid. Bij normaliseren naar één sjabloon zullen dus voor iedere interne warmtelast, naast de tijdschema's, ook het specifiek vermogen en de factor voor aanwezigheid worden genormaliseerd.

Opsommend zal voor de gebouwsimulatie het volgende worden genormaliseerd:

- Gebruikstijden
- Specifiek vermogen van interne warmtelasten
- Factor voor aanwezigheid voor interne warmtelasten

Als eerste stap voor normaliseren is in Tabel 6-4 de gebruikstijd genormaliseerd. Hiervoor wordt per rekenzone eerst voor het bijbehorende oppervlakte het aandeel van het totale oppervlak bepaald. Vervolgens wordt dit aandeel vermenigvuldigd met de gebruiksuren, om tot een waarde te komen voor de naar oppervlakte gewogen uren per rekenzone. Door deze gewogen uren te sommeren wordt een waarde voor de genormaliseerde gebruikstijd van het totale gebouw verkregen. Deze waarde zal worden gebruikt als basiswaarde in de tijdschema's, voor ruimte eisen en de interne warmtelasten, voor het onderzoeken van de invloed van gebruikstijden op de benodigde energie voor verwarmen en koelen.

De laatste kolom geeft het aandeel voor de naar gebruikstijd en gebruiksoppervlakte gewogen uren, van elke rekenzone ten opzichte van het totale gebouw, deze waarde zal worden gebruikt voor het normaliseren van de interne warmtelasten in Tabel 6-6.

Tabel 6-4 - Bepaling genormaliseerde gebruikstijd hele gebouw

	AG(m2)	AG/AG Totaal	Uren/dag	Naar AG gewogen uren	Aandeel gewogen uren
Dagonderwijs	803,5	0,20	8	1,57	0,16
Onderwijs overig	803,5	0,20	10	1,97	0,20
Technische ruimte	67	0,02	24	0,39	0,04
Algemeen	712	0,17	8	1,39	0,14
Kinderopvang	791	0,19	11	2,13	0,21
Opslag	144	0,04	9	0,32	0,03
Kunst	356	0,09	12	1,05	0,11
Kantoren	210	0,05	10	0,51	0,05
Sport	198	0,05	12	0,58	0,06
Totaal	4085			9,92	

In Tabel 6-5 is het normaliseren van de factor voor aanwezigheid voor de interne warmtelasten weergegeven. In het middelste vak zijn de aanwezigheidsaandelen herhaald zoals ze bepaald zijn in paragraaf 5.2.3. De waarden in het rechter vak zijn per rekenzone de producten van het aandeel voor aanwezigheid, en het aandeel gebruiksoppervlak (AG/AG Totaal) volgens Tabel 6-4. De som van de waarden in het rechtervak zijn de genormaliseerde waarden voor aanwezigheid voor het hele gebouw.

Tabel 6-5 - Bepaling genormaliseerde factor aanwezigheid in tijdschema's gebruik

	Aandeel aanwezigheid			Bijdrage gewogen naar AG		
	Personen	Apparatuur	Verlichting	Personen	Apparatuur	Verlichting
Dagonderwijs	30%	100%	60%	6%	20%	12%
Onderwijs overig	15%	100%	60%	3%	20%	12%
Technische ruimten	0	100%	20%	0%	2%	0%
Algemeen	15%	100%	60%	3%	17%	10%
Kinderopvang	30%	100%	60%	6%	19%	12%
Opslag	0	100%	2%	0%	4%	0%
Kunst	15%	100%	60%	1%	9%	5%
Kantoren	30%	100%	60%	2%	5%	3%
Sport	30%	100%	60%	1%	5%	3%
Genormaliseerd				22%	100%	57%

Het genormaliseerde specifieke vermogen voor interne warmtelasten zijn weergegeven in Tabel 6-6. Hierin zijn in het middelste vak de waarden herhaald zoals ze zijn bepaald in paragraaf 5.2.3. De waarden in het rechtervak zijn een maat voor de bijdrage per rekenzone aan de interne warmtelasten. Ze worden bepaald door het product te nemen van de in paragraaf 5.2.3 bepaalde warmtelasten, en het aandeel voor gewogen uren per rekenzone volgens Tabel 6-4. Sommeren van de waarden voor de bijdrage per rekenzone, geeft de genormaliseerde warmtelast voor het totale gebouw.

Tabel 6-6 - Bepaling genormaliseerd specifiek vermogen interne warmtelasten

	Warmtelast(W/m2)			Bijdrage gewogen naar AG en uren		
	Personen	Apparatuur	Verlichting	Personen	Apparatuur	Verlichting
Dagonderwijs	10	2	8	1,59	0,32	1,27
Onderwijs overig	10	1	8	1,98	0,20	1,59
Technische ruimten	10	20	8	0,40	0,79	0,32
Algemeen	10	1	8	1,41	0,14	1,12
Kinderopvang	10	1	8	2,15	0,21	1,72
Opslag	10	0	8	0,32	0,00	0,26
Kunst	10	1	8	1,05	0,11	0,84
Kantoren	5	4	8	0,26	0,21	0,41
Sport	3	0	8	0,18	0,00	0,47
Genormaliseerd				9,33	1,98	8,00

Samenvattend zijn in Tabel 6-7 de genormaliseerde invoerwaarden weergegeven. De gebruikstijd is afgerond naar hele uren, om in te kunnen voeren in Vabi Elements.

Tabel 6-7 - Genormaliseerde invoerwaarden gebouwsimulatie

Gebruikstijd(uur/dag)	10	
Ingestelde in tijdschema's voor gebruik:		
	Aanwezigheid	Interne warmtelast(W)
Personen	22%	9,33
Apparatuur	100%	1,98
Verlichting	57%	8,00

6.4.2. Afzonderlijke berekeningen

Voor de afzonderlijke berekeningen, voor het bepalen van de jaarlijks benodigde energie voor verlichting, ventilatie, apparatuur en warm tapwater zijn in Tabel 6-8 de gebruikstijden genormaliseerd. De genormaliseerde daglengte is niet direct nodig voor de berekeningen, waarbij gebruik gemaakt wordt van de gebruiksuren op jaarbasis. De waarde hiervoor is aan de tabel toegevoegd om aan te geven dat deze afwijkt van de in paragraaf 6.4.1 bepaalde genormaliseerde gebruikstijd (effectief dezelfde waarde), voor invoer in de gebouwsimulatie. Deze afwijking is te verklaren door een tweetal afrondingen.

In de gebouwsimulatie wordt gebruik gemaakt van andere rekenzones dan in de afzonderlijke berekeningen. Waar voor de afzonderlijke berekeningen (gebaseerd op NEN 7120) de gebruiksfuncties volgens het bouwbesluit worden gebruikt, in combinatie met gebruiksuren op jaarbasis, zijn de rekenzones in de gebouwsimulatie gekozen om zo veel mogelijk de specifieke gebruikstijden van de ruimten te benaderen. Dit is gedaan omdat een faseverschil in de gebruikstijden van naast elkaar gelegen ruimten, door interne warmtestromen, van invloed is op de warmte- en koudevraag; waar dit effect voor de afzonderlijk berekende referentiewaarden verwaarloosbaar wordt geacht. Voor de invoer in Vabi Elements zijn de in paragraaf 6.4.1 bepaalde tijdschema's afgerond op hele uren, bij normaliseren in paragraaf 6.4.1 is wederom op hele uren afgerond. Beide afrondingen zijn conservatief naar boven gedaan, waardoor het verschil met de genormaliseerde daglengte in Tabel 6-8 relatief groot is.

Om tijd te besparen is deze methode gebruikt, in plaats van een genormaliseerde gebruikstijd te bepalen op basis van het bezettingsgradenoverzicht. Normaal gesproken gaat het ten koste van de nauwkeurigheid om tussendoor af te ronden, in dit geval lijkt het effect echter weinig significant om de volgende redenen:

- Het effect van de gebruikstijden op het energieverbruik voor verwarmen en koelen wordt sowieso relatief klein verondersteld (hier zijn de buitentemperatuur en ingestelde setpoints grotendeels bepalend). Een afwijking van de in de gebouwsimulatie ingestelde gebruikstijd, ten opzichte van de werkelijke gebruikstijd, zal daarom naar verwachting weinig invloed hebben op de nauwkeurigheid.
- Het gaat in dit geval om het bepalen van de invloed van de gebruikstijd op het energiegebruik, niet om het bepalen van zo nauwkeurig mogelijke referentiewaarden. Hierbij is het verschil in gebruikstijd tussen de verschillende gebouwsimulaties voor de analyse belangrijker, dan het verschil in genormaliseerde en werkelijke gebruikstijd.

Tabel 6-8 - Genormaliseerde gebruiksuren

Gebruiker:	Ag(m2)	Aandeel Ag	Gebruiksuren/jaar	Naar Ag gewogen uren/jaar
Hele gebouw	4070,00	1,00		
Fusieschool	940,00	0,23	1800,00	415,72
It Toanhus	608,00	0,15	2400,00	358,53
Gemeenschappelijk	1070,00	0,26	2400,00	630,96
E.A.Borgerschool	1009,00	0,25	1800,00	446,24
SKIK	443,00	0,11	2530,00	275,38
Genormaliseerde waarde hele gebouw				2127
Gebruiksdagen gebouw (dagen/jaar)				261
Genormaliseerde daglengte hele gebouw (uren/dag)				8,15

6.5. Bepalen kengetallen voor gebruiksinvloeden

In paragraaf 6.1 is benoemd dat voor de parameters: `gebruikstijd` en `setpoints voor verwarmen en koelen`, de invloed op het jaarlijks energiegebruik zal worden bepaald. Dit zal gebeuren in de paragrafen 6.5.1 en 6.5.2 respectievelijk.

6.5.1. Invloed van gebruikstijd

In deze paragraaf wordt de invloed van gebruikstijd op het jaarlijkse energiegebruik per energiefunctie afzonderlijk bepaald, gevolgd door een totaaloverzicht. Voor de gebouwsimulatie wordt, vanwege de relatief lange doorlooptijd van circa 4 uur, de invloed bepaald aan de hand van drie verschillende simulaties. Er wordt aangenomen dat dit aantal tot voldoende nauwkeurige resultaten zal leiden. Dit omdat er wordt verondersteld dat bij benadering, in het gebied waarbinnen realistisch de gebruikstijden zullen variëren, sprake zal zijn van een lineair verband tussen gebruikstijd en warmte en koudevraag.

Voor de afzonderlijk berekende referentiewaarden is een enkelvoudige berekening gebruikt, waardoor de invloed van een groter aantal verschillende gebruikstijden eenvoudig kan worden vergeleken. In de afzonderlijke berekeningen is echter altijd sprake van een lineair verband, tussen gebruikstijd en benodigde energie (behalve voor warm tapwater, hier wordt een lineair verband aangenomen), waardoor het vergelijken van een groter aantal gebruikstijden geen invloed zal hebben op de nauwkeurigheid. Wanneer de benodigde energie voor de genormaliseerde referentie gebruiksuren wordt bepaald, is vergelijken met één afwijkende gebruikstijd voldoende om de invloed op de benodigde energie te bepalen. Ter illustratie van het lineaire verband wordt voor de benodigde energie voor verlichting een tiental verschillende gebruikstijden berekend.

De invloed van gebruikstijd zal in eerste instantie per energiefunctie worden uitgedrukt in de hoeveelheid energie die nodig is, voor een verhoging of verlaging van de dagelijkse gebruikstijd met één uur (gedurende het hele jaar). Dit lijkt voor zowel Facilicom als de gemeente de meest bruikbare maat.

Invloed op energie voor verwarmen en koelen

De invloed van gebruikstijd op de benodigde energie voor verwarmen en koelen is bepaald, door de gebruikstijd, het aanwezigheidsaandeel voor de interne warmtelasten, en de hoogte van de interne warmtelasten te normaliseren (zoals in 6.4.1). Vervolgens is een drietal gebouwsimulaties uitgevoerd, op basis van het NEN 7120 referentie klimaatjaar, waarbij één volgens de genormaliseerde referentie gebruikstijd, één met vier extra uren per dag en één met vier uren minder per dag. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 6-9, ter illustratie van het gedrag zijn de maandelijkse waarden voor gesommeerde lokale warmte- en koudevraag toegevoegd. De resultaten bij genormaliseerde referentietijd komen zoals te verwachten niet exact overeen met de resultaten van de referentiesimulatie. Het verschil lijkt echter beperkt en is, zoals in paragraaf 6.4.1 beschreven, niet van groot belang voor het bepalen van de invloed van de gebruikstijd.

Uit de resultaten blijkt dat voor de brede school in Joure, uitgaande van de referentie inputwaarden, de benodigde energie voor verwarmen lager wordt wanneer de gebruikstijd op een dag toeneemt.

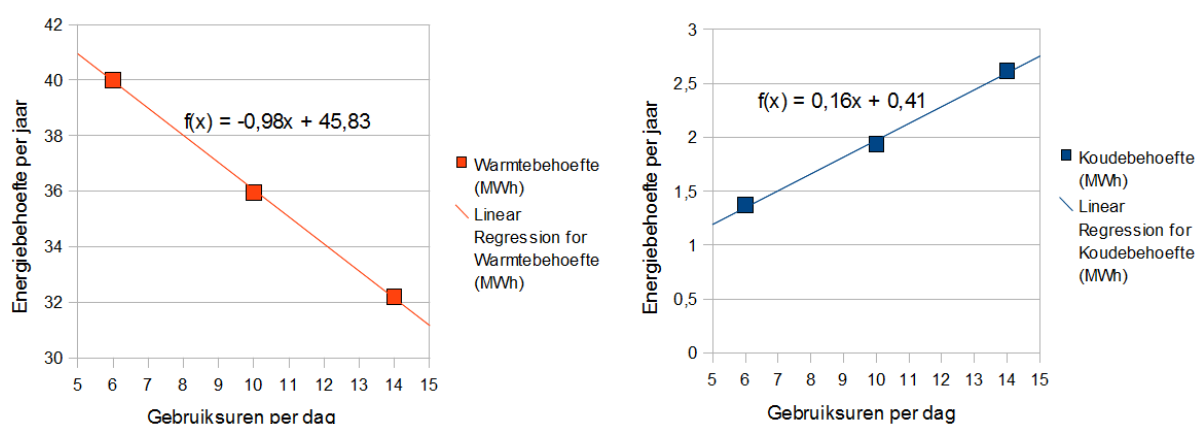
Vanwege de relatief hoge interne warmtelast is dit gedrag niet verassend. Voor de benodigde energie voor koelen geldt wel een positief verband met de gebruikstijd op een dag.

Verder lijkt het verband tussen de gebruikstijd op een dag, en zowel de benodigde energie voor verwarmen als voor koelen, nagenoeg lineair. Met inachtneming van de significantie, als gevolg van onzekerheden in de uitgangswaarden, zal voor gebruik in dit verslag een lineair verband worden aangenomen.

Tabel 6-9 - Invloed gebruikstijd op energie voor verwarmen en koelen

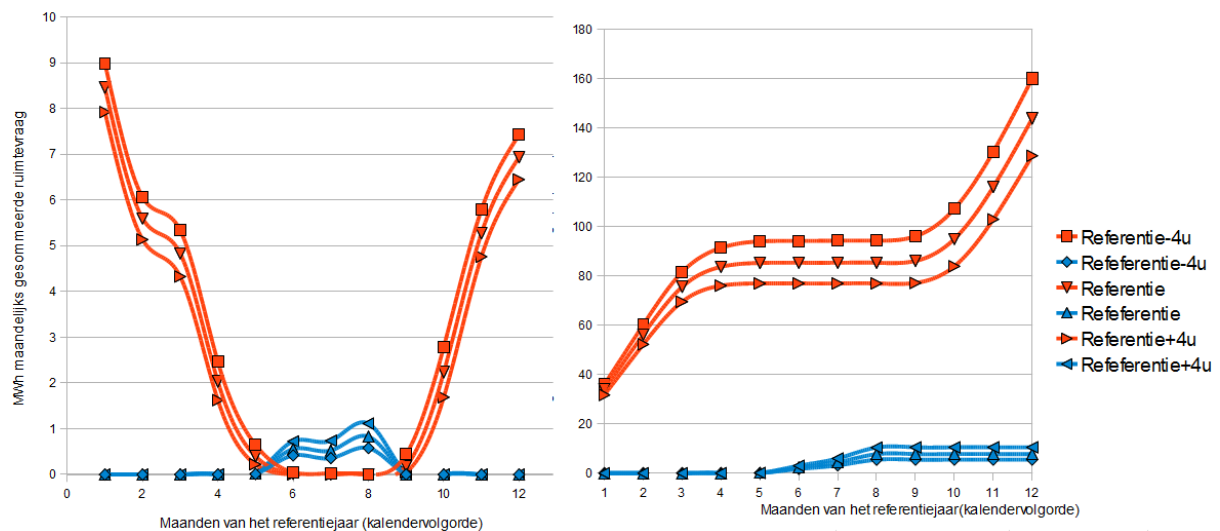
		Energievraag ruimten gesommeerd					
		Referentietijd min 4 uur/dag		Referentietijd genormaliseerd		Referentietijd plus 4 uur/dag	
Maand		Warmte(kWh)	Koude(kWh)	Warmte(kWh)	Koude(kWh)	Warmte(kWh)	Koude(kWh)
1		35954	0	33825	0	31689	0
2		24252	0	22394	0	20542	0
3		21360	0	19336	0	17309	0
4		9850	7	8123	11	6504	15
5		2590	32	1587	52	894	84
6		191	1669	64	2227	13	2898
7		108	1431	12	2100	0	2955
8		0	2316	0	3312	0	4456
9		1760	10	728	28	210	67
10		11148	0	8934	0	6754	1
11		23141	0	21092	0	19044	0
12		29693	0	27736	0	25796	0
Totale vraag		160048	5481	143840	7731	128769	10474
Behoefte voor opwekking		40012	1370,25	35960	1932,75	32192,25	2618,5
Verschil met referentie(MWh)							
Per 4 uur		4,05	-0,56			-3,77	0,69
Per uur		1,01	-0,14			-0,94	0,17
Gemiddelde invloed op energiebehoefte, per extra uur ten opzichte van referentie(MWh)							
		-0,98	0,16				

Ter verduidelijking van de verbanden, tussen de gebruiksuren op een dag en de benodigde energie voor verwarmen en koelen, is in Figuur 6.1 een simpele lineaire regressie uitgevoerd. De vergelijking van de trendlijn suggereert, dat wanneer het gebouw niet in gebruik is (geen interne warmtelast), maar de setpoints voor gebruik wel gelden, het energiegebruik voor verwarmen ongeveer 46MWh zal zijn. Voor koelen zal dit rond de 0,4MWh zijn. Het feit dat deze waarde voor koelen niet 0 is, is in dat geval waarschijnlijk het gevolg van warmtebelasting door zoninstraling.



Figuur 6.1 - Lineaire regressie analyse voor gebruiksuren en de benodigde energie voor verwarmen en koelen

Om de invloed van verschillen in gebruiksuren per dag, op de energiebehoefte voor verwarmen en koelen, verder inzichtelijk te maken; zijn in Figuur 6.2 de maandwaarden voor de drie uitgevoerde gebouwsimulaties weergegeven. Ter verduidelijking van de afzonderlijke simulaties zijn 'best fit' lijnen toegevoegd, die zo vloeiend mogelijk door alle punten van een dataset lopen (waardoor ze voor de koudebehoefte in sommige gevallen onder de x-as uitkomen).



Figuur 6.2 - Verloop van warmte- en koudevraag gedurende het jaar, bij verschillende gebruiksuren per dag

Energie voor verlichting

De invloed van de gebruikstijd op de benodigde energie voor verlichting is bepaald in Tabel 6-10. Ter illustratie van het lineaire verband in de bepalingsmethode, is de energie voor een tiental gebruikstijden berekend, waarvan de helft hoger en de helft lager dan de referentie gebruikstijd per dag. Hierbij zijn intervallen van een halfuur gebruikstijd per dag aangehouden, overeenkomend met 130,5 branduren per jaar (261 genormaliseerde gebruiksdagen). De branduren voor verlichting in de technische ruimten blijven gelijk omdat deze al gebaseerd zijn op de maximale gebruiksuren, dit zal ook gelden voor de bepaling van de invloed van gebruikstijd voor de energiefuncties gebruiksapparatuur en ventilatie.

Rechtsboven in de tabel is het jaarenergiegebruik voor verlichting weergegeven, voor de berekende gebruikstijden, met direct ernaast de verschillen tussen opeenvolgende branduur intervallen. Doordat alle verschillen gelijk zijn is het duidelijk dat er sprake is van een lineair verband.

Omdat voor de bepaling van de benodigde energie voor apparatuur en ventilatie, een vergelijkbare methode is toegepast als voor de benodigde energie voor verlichting (gebaseerd op de methode volgens NEN 7120: zie hoofdstuk 5), wordt aangenomen dat ook voor deze waarden een lineair verband met de gebruiksuren van toepassing is, zonder hiervoor opnieuw tabellen en grafieken weer te geven.

Tabel 6-10 - Invloed gebruikstijd op energie voor verlichting

Aanduiding	Gebuiksfuncties>>	Onderwijs	Bijeenkomst	Bijeenkomst	Kantoor	Sport	Industrie	Overig	Hele gebouw	Verskil per halfuur
NEN 7120	Beschrijving		kinderopvang						kWh	daglengteverschil(kWh)
WI	Branduren overdag plus	652,5	24140	16028	11882	3155	3004	535	290	71292
WI	Branduren overdag plus	522,0	23133	15360	11387	3023	2879	524	288	68851
WI	Branduren overdag plus	391,5	22126	14691	10891	2891	2754	514	285	66411
WI	Branduren overdag plus	261,0	21120	14023	10396	2760	2628	503	283	63971
WI	Branduren overdag plus	130,5	20113	13355	9900	2628	2503	493	281	61531
WI	Gebr verlichting zelf(kWh)	19107	12686	9405	2497	2378	482	279	59091	2440,05
WI	Branduren overdag min	130,5	18100	12018	8909	2365	2253	472	276	56651
WI	Branduren overdag min	261,0	17093	11349	8414	2234	2127	461	274	54211
WI	Branduren overdag min	391,5	16087	10681	7918	2102	2002	451	272	51771
WI	Branduren overdag min	522,0	15080	10013	7423	1971	1877	440	270	49331
WI	Branduren overdag min	652,5	14073	9344	6927	1839	1752	430	267	46891
Wp	Gebr voor parasitair verm(kWh)	4821	3201	2373	630	600	201	432		
Pn	Totaal geïnstalleerd vermogen	12856	8536	6328	1680	1600	536	1152		
Fc	Factor const verlichtings niveau	1	1	1	1	1	1	1		
td	Branduren overdag plus	652,5	2779,5	2779,5	2779,5	2779,5	5252,5	2779,5		
td	Branduren overdag plus	522,0	2649,0	2649,0	2649,0	2649,0	5122,0	2649,0		
td	Branduren overdag plus	391,5	2518,5	2518,5	2518,5	2518,5	4991,5	2518,5		
td	Branduren overdag plus	261,0	2388,0	2388,0	2388,0	2388,0	4861,0	2388,0		
td	Branduren overdag plus	130,5	2257,5	2257,5	2257,5	2257,5	4730,5	2257,5		
td	Branduren overdag	2127	2127	2127	2127	2127	4600	2127		
td	Branduren overdag min	130,5	1996,5	1996,5	1996,5	1996,5	4469,5	1996,5		
td	Branduren overdag min	261,0	1866,0	1866,0	1866,0	1866,0	4339,0	1866,0		
td	Branduren overdag min	391,5	1735,5	1735,5	1735,5	1735,5	4208,5	1735,5		
td	Branduren overdag min	522,0	1605,0	1605,0	1605,0	1605,0	4078,0	1605,0		
td	Branduren overdag min	652,5	1474,5	1474,5	1474,5	1474,5	3947,5	1474,5		
Fo:D	Factor aanwezigheidsdetectie overdag	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,2		
Fo:N	Factor aanwezigheidsdetectie snachts	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7		
Fd	Factor schakel/regelsyst	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75		
tn	Branduren snachts obv gebr fun	300	300	300	300	300	300	300		
ep	Specifiek gebruik parasitair vermogen	3	3	3	3	3	3	3		
Ag	Gebruiksoppervlak rekenzone	1607	1067	791	210	200	67	144		
Pn spec	Specifiek geïnstalleerd vermogen	8	8	8	8	8	8	8		
Invloed op energiebehoefte per extra uur ten opzichte van referentie (MWh)										4,88

Energie voor gebruiksapparatuur

De invloed van de gebruikstijd op de energie voor gebruiksapparatuur is bepaald in Tabel 6-11.

Tabel 6-11 - Invloed gebruikstijd op energie voor gebruiksapparatuur

Gebuiksfuncties>>	Onderwijs	Bijeenkomst	Bijeenkomst-	Kantoor	Sport	Industrie	Overig	Hele gebouw
Beschrijving			kinderopvang					
Jaarlijks verbruik apparatuur in kWh	5785,20	2560,80	2001,23	1680	480	6164	0	18671,23
Verbruik genormaliseerde tijd in kWh	6836,18	2269,51	1682,46	1786,68	425,4	6164	0	19164,22
Genormaliseerd plus één uur per dag in kWh	7675,03	2548,00	1888,91	2005,92	477,6	6164	0	20759,46
Gebruiksuren referentie	1800	2400	2530	2000	2400	4600	1800	
Gebruiksuren genormaliseerd	2127	2127	2127	2127	2127	4600	2127	
Gebruiksuren plus één uur per dag	2388	2388	2388	2388	2388	4600	2388	
Specifiek vermogen in W/m2	2	1	1	4	1	20	0	
Gebruiksoppervlak rekenzone	1607	1067	791	210	200	67	144	
Verskil genormaliseerde tijd en genormaliseerde tijd plus één uur per dag(kWh)								1595,23
Invloed op energiebehoefte, per extra uur ten opzichte van referentie(MWh)								1,60

Energie voor ventilatie

De invloed van de gebruikstijd op de energie voor ventilatie is bepaald in Tabel 6-12.

Tabel 6-12 - Invloed gebruikstijd op energie voor ventilatie

LBK	Debiet m3/h	Debiet m3/s	Drukverlies Pa	Benodigd vermogen kW/fan	Gebruiksuren f;regel (genormaliseerd)	Energie kWh/LBK
1 Toevoer	13155	3,65	558	3,19	2127	0,42 5795,38
1 Retour	12980	3,61	586	3,30	6,49	
2 Toevoer	5165	1,43	505	1,13	2127	0,42 1896,42
2 Retour	4995	1,39	457	0,99	2,12	
3 Toevoer	10390	2,89	475	2,14	2127	0,42 4708,95
3 Retour	10907	3,03	661	3,13	5,27	
4 Toevoer	12190	3,39	543	2,87	2127	0,42 5054,19
4 Retour	12015	3,34	534	2,78	5,66	
5 Toevoer	5775	1,60	627	1,57	2127	0,42 2483,64
5 Retour	5525	1,53	504	1,21	2,78	
Totaal LBK's						19938,58

Dakventilator(locatie)

						kWh/fan
StramienB-4	350	0,10	90	0,02	2127	1 44,31
Stramien BX-20	350	0,10	84	0,02	2127	1 41,36
StramienD-4	1350	0,38	66	0,06	2127	1 125,34
Stramien DX-14	325	0,09	200	0,04	2127	1 91,44
Stramien EX-13	368	0,10	86	0,02	2127	1 44,52
Stramien EX-14	1500	0,42	56	0,06	2127	1 118,17
Stramien EX-19	200	0,06	168	0,02	2127	1 47,27
Totaal dakafzuiging						512,40

Rendementen	LBK's	Dakventilatoren	Totaal bij genormaliseerde uren (MWh)	20,45
η hydraulisch	0,8	0,6		
η motor	0,8	0,7		
η ventilator	0,64	0,42		

Gebruiksuren per uur extra per dag	261
Verhouding tussen genormaliseerde uren, en gebruiksuren per uur extra per dag	0,12
Invloed op energiebehoefte, per uur extra ten opzichte van referentie(MWh)	2,51

Energie voor warmt tapwater

De invloed van de gebruikstijd op de benodigde energie voor warm tapwater is bepaald in Tabel 6-13. De gebruiksuren per jaar zijn geen onderdeel geweest van de bepaling van de referentiewaarde voor de benodigde energie voor warm tapwater. Deze bepaling is gedaan op basis van kengetallen voor specifieke warmtebehoefte per vierkante meter per jaar (zoals in NEN 7120). Omdat warm tapwater wordt gebruikt gedurende de gebruiksuren, wordt verondersteld dat het energiegebruik hiervan wel recht evenredig is met de gebruikstijd. De invloed van gebruikstijd zal worden bepaald op basis van de verhouding tussen de genormaliseerde gebruiksuren, en de gebruiksuren per uur extra op een dag.

Tabel 6-13 - Invloed gebruikstijd op energie voor warm tapwater

Gebruiksfuncties>> Beschrijving	Onderwijs	Bijeenkomst	Bijeenkomst- kinderopvang	Kantoor	Sport	Industrie	Overig	Hele gebouw MWh
Jaarlijks gebruikte energie voor tapwater volgens 19.2 in MJ	10713	14227	10547	1400	1500	0	0	10,66
Opwekkingsrendement warm tapw volgens 19.7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
Hoeveelheid ene. tbv w tapw aan afgiftedeel van syst. si in MJ	8035	10670	7910	1050	1125	0	0	
Dimensieloos afgifterendement volgens 19.3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	
Netto warmtebeh tbv warm tapw van rekenzone zi volgens 19.2	8035	10670	7910	1050	900	0	0	
Correctiefactor voor aanwezigheid van warmtapwaterinstallaties	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	
Specifieke netto warmtebeh w. tapw. gebr funct usi 19.2.3.2	5	10	10	5	45	0	0	
Gebruiksoppervlakte van gebruiksfunctie usi bep. volgens 6.6	1607	1067	791	210	200	67	144	4086
Genormaliseerde gebruiksuren								2127
Gebruiksuren per uur extra per dag								261
Verhouding tussen genormaliseerde uren, en gebruiksuren per uur extra per dag								0,12
Invloed op energiebehoefte, per uur extra ten opzichte van referentie(MWh)								1,31

Overzicht invloed van gebruikstijd

Tabel 6-14 geeft een overzicht van de invloed van gebruikstijd op het jaarenergiegebruik van de verschillende energiefuncties.

Tabel 6-14 - Overzicht invloed gebruikstijd op energiegebruik

Invloed van één extra gebruiksuur per dag gedurende het jaar		
Energiefunctie	Hele gebouw/jaar(MWh)	Specifiek(kWh/m2)
Verwarmen	-0,98	-0,24
Koelen	0,16	0,04
Verlichting	4,88	1,22
Apparatuur	1,60	0,40
Ventilatie	2,51	0,62
Warm tapwater	1,31	0,33
Totaal	9,47	2,36

6.5.2. Invloed van setpoints verwarmen en koelen

Voor het bepalen van de invloed van setpoints op de jaarlijkse energiebehoefte zal een serie gebouwsimulaties worden uitgevoerd, waarbij steeds andere setpoints zijn ingesteld.

Vanwege de relatief lange looptijd van de gebouwsimulatie, zullen de setpoint voor verwarmen en koelen gelijktijdig worden veranderd in dezelfde gebouwsimulatie. Op basis van het behoefteprofiel in Figuur 5.8 wordt aangenomen dat gelijktijdig verwarmen en koelen binnen het gebouw nauwelijks voor zal komen. Zoals beschreven in 5.7.2 zijn ook de punten die de behoefte buiten de gebruikperiode vertegenwoordigen weergegeven. Verondersteld wordt dat de overlap in het gebied tussen 15°C en 20°C buitentemperatuur voornamelijk wordt veroorzaakt door om de beurt verwarmen en koelen, waardoor het effect hiervan op de warmte- en koudebehoefte verwaarloosbaar zal zijn.

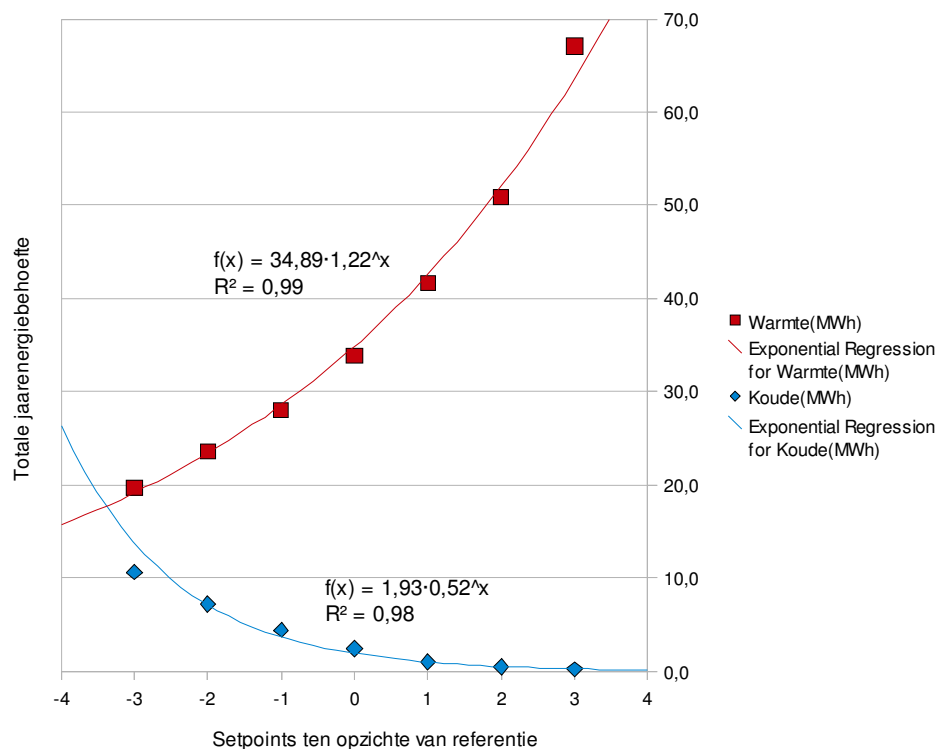
Om het effect van verwarmen op koelen (en andersom) door bufferwerking van de gebouwmassa verder te minimaliseren, zijn de setpoints gelijktijdig verhoogt en verlaagt, zodat het verschil gelijk blijft (in tegenstelling tot het gelijktijdig simuleren van de extremen, door het setpoint voor verwarmen en koelen respectievelijk te verhogen en te verlagen).

Tabel 6-15 geeft een overzicht van de resultaten van deze gebouwsimulaties. Hierin vertegenwoordigd elke regel een gebouwsimulatie met van links naar rechts: de ingestelde setpoints ten opzichte de referentie setpoints, de absolute waarden voor ingestelde setpoints, de totale warmte en koudevraag (simulatie output), en de totale energiebehoefte (met COP inbegrepen).

Tabel 6-15 - Invloed van setpoints op energiegebruik verwarmen en koelen

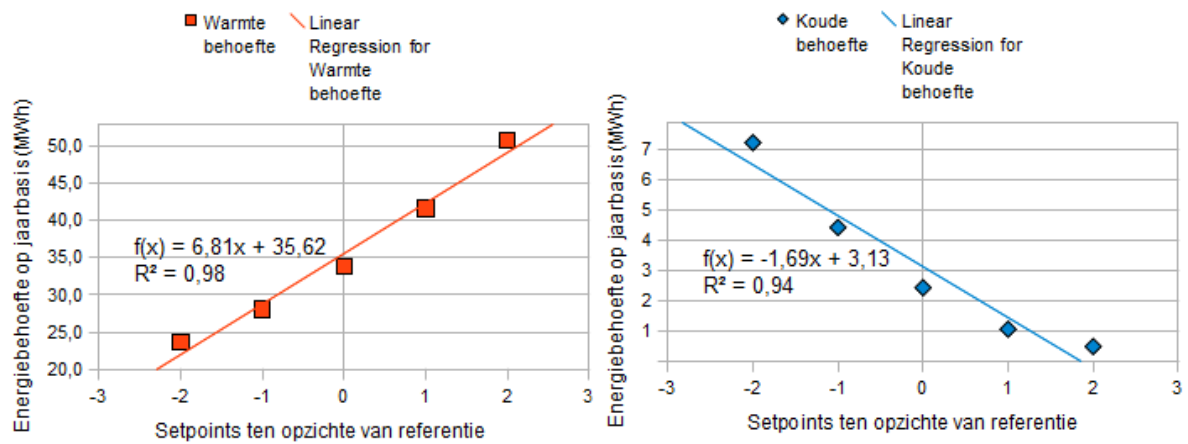
		Ingestelde setpoints				Totale vraag		Totale energiebehoefte	
		Verwarmen(°C)		Koelen(°C)		Warmte	Koude	Warmte	Koude
		Dag	Nacht	Dag	Nacht	(kWh)	(kWh)	(MWh)	(MWh)
Referentie +	3	24	20	27	31	268280	919	67,1	0,2
Referentie +	2	23	19	26	30	203475	1948	50,9	0,5
Referentie +	1	22	18	25	29	166627	4238	41,7	1,1
Referentie setpoints		21	17	24	28	135540	9739	33,9	2,4
Referentie -	1	20	16	23	27	112118	17721	28,0	4,4
Referentie -	2	19	15	22	26	94555	28952	23,6	7,2
Referentie -	3	18	14	21	25	78975	42533	19,7	10,6

De resultaten uit Tabel 6-15 zijn in Figuur 6.3 in grafiekvorm weergegeven, met op de horizontale as de hoogte van de setpoints ten opzichte van de referentiewaarde, en op de verticale as de energiebehoefte in MWh. Duidelijk te zien is dat er sprake is van een exponentieel verband tussen de hoogte van de setpoints en de energiebehoefte voor zowel verwarmen als koelen. Ter verduidelijking hiervan is een exponentiële regressie analyse uitgevoerd, om de vergelijking van de energiebehoefte als functie van de setpoints, en de bijbehorende trendlijn, te genereren.



Figuur 6.3 - Exponentiële regressie analyse setpoints en energiebehoefte

Het lijkt niet waarschijnlijk dat in werkelijkheid setpoints worden ingesteld, die systematisch meer dan 2°C zullen afwijken van de referentiesetpoints. Wanneer we de energiebehoefte, bij setpoints van plus en min 3°C ten opzichte van de referentiesetpoints, uit de vergelijking halen, blijft een gebied over waarvoor bij benadering sprake is van een lineair verband. In Figuur 6.4 is hiervoor een lineaire regressie analyse uitgevoerd, waaruit de grootte van het verband wordt benaderd. Hierin is te zien dat de invloed van 1°C verschil in setpoints gedurende het jaar ongeveer resulteert, in een verschil in energiebehoefte van 6,8MWh en 1,7MWh, voor verwarmen en koelen respectievelijk. Waarbij zoals te verwachten het verband voor verwarmen positief is, en voor koelen negatief. Om het verrekenen van afwijkingen in de setpoints zo eenvoudig mogelijk te houden, zullen deze waarden in dit verslag worden gebruikt als kengetallen (zie Tabel 6-16).



Figuur 6.4 - Lineaire regressie analyse invloed setpoints op warmte en koudebehoefte

Tabel 6-16 - Kengetallen invloed setpoints op energiegebruik

Invloed van verhogen van de setpoints voor verwarmen en koelen met 1°C, in het hele gebouw gedurende het jaar.	
Warmtebehoefte(MWh)	Koudebehoefte(MWh)
6,8	-1,7

7. Meetrichtlijnen rapportageperiode

Dit hoofdstuk geeft een aantal meetrichtlijnen voor de rapportageperiode, zodat tenminste alle benodigde waarden worden verzameld, om het beoogde proces van beoordeling te kunnen doorlopen. Gedetailleerd ingaan op de specifieke manier, waarop deze waarden bijvoorbeeld vanuit het GBS kunnen worden opgeslagen, ligt buiten het kader van de opdracht.

Paragraaf 7.1 benoemt de energiefuncties waarvoor waarden voor het jaarenergiegebruik nodig zijn. Voor het effectief beoordelen van het energiegebruik, is het verder nodig om gedurende de rapportageperiode een aantal variabelen te meten, zodat afwijkingen met de referentie uitgangspunten kunnen worden gekwantificeerd. Onderscheid wordt gemaakt in waarden met betrekking tot het klimaat het gebruik van het gebouw, in respectievelijk paragraaf 7.2 en 7.3.

7.1. Meten energiefuncties

Voor de volgende energiefuncties zijn waarden nodig voor het jaarlijks energiegebruik:

- Verwarming
- Koeling
- Verlichting
- Ventilatie
- Apparatuur
- Warm tapwater

Optioneel kunnen ook maandelijkse waarden per energiefunctie worden geregistreerd, zodat achteraf het gedrag van het energiegebruik meer inzichtelijk is.

Verder kunnen waarden voor energiegebruik, van de energiefuncties per individuele gebruiker worden gemeten.

7.2. Meten afwijkingen in klimaat

Als onderdeel van de methode van beoordelen, is de enige relevante waarden met betrekking tot het klimaat de buitentemperatuur. Specifieker is een waarde nodig voor de buitentemperatuur, per uur van het rapportagejaar. Dit kan op twee manieren worden gedaan:

- Via het GBS gelogde waarden uit het weerstation van de brede school Joure
- Uit een weerbestand van het KNMI weerstation te Leeuwarden

Hierbij is de tweede optie mogelijk iets minder nauwkeurig, omdat het weerstation in Leeuwarden zich op een afstand van ongeveer 20km van de school bevindt. Voor beoordeling van het energiegebruik op jaarbasis, wordt het verschil in buitentemperatuur tussen Leeuwarden en Joure echter niet significant geacht.

Daar tegenover zijn een aantal voordelen van de tweede optie te benoemen:

- Er is geen noodzaak voor extra programmering van het GBS systeem, wanneer de buitentemperatuur niet automatisch per uur wordt gelogd.
- Er kan van uit worden gegaan dat de door het KNMI gemeten waarden, onderhevig zijn geweest aan structurele kwaliteitscontrole (kalibreren van sensoren etc.), en dus naar verwachting iets betrouwbaarder zijn dan gemeten waarden van het 'eigen' weerstation.
- De data is achteraf beschikbaar, ook voor voorgaande jaren. Hierdoor hoeven er geen voorzieningen worden getroffen voor lange termijn opslag, of het maken van back-ups om de kans op dataverlies te beperken.

In bijlage 3 is beschreven hoe de uurwaarden voor buitentemperatuur uit een KNMI weerbestand kunnen worden gehaald, voor invoer in een spreadsheet.

7.3. Meten afwijkingen in gebruik

Voor de benodigde waarden met betrekking tot gebruik, wordt onderscheid gemaakt in waarden voor gebruikstijd en waarden voor setpoints.

Gebruikstijd

Om de invloed van gebruikstijd in de beoordeling mee te nemen wordt een waarde bepaald voor de effectieve gebruikstijd van het gebouw. Het bepalen van de effectieve gebruikstijd is wenselijk om te corrigeren voor situaties met onvolledige gebouwbezetting. Zo kan in de beoordeling, een eerlijke vergelijking worden gemaakt met de in hoofdstuk 5 bepaalde referentiewaarden, waarbij van een volledige gebouwbezetting is uitgegaan.

Bepalen van de effectieve gebruikstijd kan op twee manieren:

- Op basis van aanwezigheidsdetectie in de ruimten volgens Vergelijking 7.1
- Op basis van het inbraakalarm per individuele gebruiker volgens Vergelijking 7.2

Vergelijking 7.1 - Bepalen effectieve gebruikstijd gebouw op basis van aanwezigheidsdetectie

$$T_{g;eff;geb} = \frac{\sum_{ru} T_{g;ru} * A_{ru}}{A_{geb}}$$

Waarbij:

$T_{g;eff;geb}$ = De totale effectieve gebruikstijd van het gebouw in uren

$T_{g;ru}$ = De totale gebruikstijd van ruimte ru in uren

A_{ru} = De oppervlakte van ruimte ru in m²

A_{geb} = De oppervlakte van het gebouw in m²

Vergelijking 7.2 - Bepalen effectieve gebruikstijd gebouw op basis van inbraakalarm

$$T_{g;eff;geb} = \frac{\sum_{gbr} T_{g;gbr} * A_{gbr}}{A_{geb}}$$

Waarbij:

$T_{g;eff;geb}$ = De totale effectieve gebruikstijd van het gebouw in uren

$T_{g;gbr}$ = De totale gebruikstijd van gebruiker gbr in uren

A_{gbr} = De oppervlakte van gebruiker gbr in m²

A_{geb} = De oppervlakte van het gebouw in m²

Hierbij gaat de voorkeur uit naar de tweede optie om de volgende redenen:

- De methode op basis van aanwezigheidsdetectie is in verhouding een stuk complexer:
 - Er is relatief complexe aanvullende programmering van het GBS nodig, om de aanwezigheid van elke afzonderlijke ruimte te loggen. Ook moet een extra bewerking worden gedaan op sensorwaarden in ruimten waar meerdere sensoren aanwezig zijn.
 - Niet alle ruimten zijn onderhevig aan aanwezigheidsdetectie. Dit zal moeten worden gecorrigeerd door bijvoorbeeld een factor te introduceren over de overige ruimten. Of door aanwezigheid in te schatten op basis van aanwezigheid van omliggende ruimten. In beide gevallen worden aannames gedaan, met een lagere nauwkeurigheid als gevolg.
- Een waarde voor effectieve gebruikstijd op basis van het inbraakalarm is direct te vergelijken met de referentiewaarden, zonder de noodzaak om deze eerst te bewerken. Bij het bepalen

van de referentiewaarden in hoofdstuk 5, is een factor gehanteerd voor de invloed van aanwezigheid van personen op het energiegebruik. Dit betekent dat deze factor ook is 'ingebouwd' in de kengetallen voor invloed van gebruikstijd, waarvan de bepaling gebaseerd is op de bepaling van de referentiewaarden. Wanneer de effectieve gebruikstijd wordt bepaald op het niveau van aanwezigheidsdetectie van individuele ruimten, zal de resulterende waarde eerst teruggerekend moeten worden behulp van de gebruikte factor voor aanwezigheid (die verschillend is per gebruiksfunctie). Pas dan kan deze worden gebruikt in het proces van beoordelen.

Voor de methode van beoordelen zal dus Vergelijking 7.2 worden gebruikt.

Setpoints

Voor de setpoints wordt aangenomen dat wanneer deze afwijken van de referentiesetpoints, dit voor het hele jaar zal gelden.

Als gedurende het jaar de setpoints herhaaldelijk worden aangepast, zal de invloed van de setpoints op het energiegebruik zich minder nauwkeurig laten voorspellen. Voor de nauwkeurigheid zou het daarom wenselijk zijn om voor de setpoints, een naar graaddagen gewogen gemiddelde waarde voor het referentiejaar te bepalen. Er is helaas onvoldoende tijd om dit nog in het verslag te verwerken.

Voor de beoordeling zal daarom gebruik gemaakt worden van de volgende waarden voor setpoints:

- Hoogste ingestelde waarde voor setpoint voor verwarmen in het gebouw
- Laagste ingestelde waarde voor setpoint voor koelen in het gebouw

Er is gekozen om de hoogste en laagste waarden voor respectievelijk verwarmen en koelen te gebruiken, omdat deze naar verwachting, in grotere mate bepalend zal zijn voor de energiebehoefte, dan de laagste of een gemiddelde waarde (door natuurlijke warmtestroming binnen het gebouw). Het bepalen van deze waarde kan het beste enigszins genuanceerd worden gezien, als de hoogste of laagste 'voor langere tijd ingestelde waarde', zodat kortstondig (mogelijk per ongeluk) veranderen van de setpoints niet wordt meegenomen. Beoordelen wat hiervoor de meest geschikte termijn is kan het beste door de beheerder worden gedaan.

Vanwege het gebrek aan een kwantitatieve methode voor het bepalen van de te gebruiken setpoints, voor beoordelen van het energiegebruik, kan de beheerder er ook voor kiezen om zelf de meest geschikte setpoints kwantitatief te kiezen.

7.4. Overzicht benodigde datapunten

Tabel 7-1 geeft een overzicht van de benodigde datapunten in het GBS, voor toepassen van de methode van beoordeling volgens dit verslag.

Aanvullend zijn datapunten weergegeven die niet essentieel zijn voor de methode, maar meer inzicht kunnen geven in het energiegebruik gedurende het jaar of van de verschillende gebruikers.

Tabel 7-1 - Overzicht datapunten GBS benodigd voor beoordelingsproces
Essentieel voor methode van beoordelen

Registreren van energie voor:	Datapunten
Verwarming	1
Koeling	1
Ventilatie	1
Verlichting	1
Apparatuur (WCD groepen)	1
Warm tapwater	1
Registreren van gebruiksuren op basis van inbraakalarm, voor gebruikers:	
Fusieschool	1
E.A.Borgerschool	1
SKIK	1
It Toanhus	1
Gemeente/algemeen	1
Registreren van hoogste setpointwaarden voor:	
Verwarmen	1
Koelen	1
Totaal datapunten:	13

Optioneel

Registreren buitentemperatuur per uur (optioneel omdat ook KNMI gegevens kunnen worden gebruikt)	Datapunten
	1
Registreren van energie per maand voor:	
Verwarming	1
Koeling	1
Ventilatie	1
Verlichting	1
Apparatuur	1
Warm tapwater	1
Registreren van energie per energiefunctie voor iedere gebruiker:	
Verwarming	5
Koeling	5
Ventilatie	5
Verlichting	5
Apparatuur	5
Warm tapwater	5
Totaal optionele (extra) datapunten:	37

8. Implementatie

Dit hoofdstuk beschrijft de te doorlopen stappen voor implementeren van de in dit verslag beschreven methode, voor het proportioneel verrekenen van afwijkingen in gebruik van de school. In paragraaf 8.1 wordt het maken van een aantal aanvullende afspraken binnen het PPS contract voorgesteld.

Paragraaf 8.2 beschrijft de te doorlopen stappen voorafgaand aan de rapportageperiode. Tot slot wordt een methode voor beheer beschreven in paragraaf 8.3.

8.1. Concretiseren afspraken binnen PPS overeenkomst

Voor effectief toepassen van de beschreven methode, zijn een aantal concrete afspraken tussen beide partijen binnen het PPS contract nodig. Aanbevolen wordt aan Facilicom en de gemeente, om in ieder geval afspraken te maken voor:

- Toelaatbaar jaarlijks energiegebruik voor gebruiksapparatuur en warm tapwater
- Toelaatbare marge/tolerantie tussen referentie en rapportagewaarden van de verschillende energiefuncties

8.2. Begin rapportageperiode

Voor het in gang zetten van de rapportageperiode zal eenmalig moeten worden geverifieerd of de uitgaanswaarden voldoen aan de referentie uitgangswaarden, voordat er gestart kan worden met de rapportageperiode. Hiervoor zijn de volgende stappen opgesteld:

- Aanbrengen van de benodigde (eventueel extra) meters, volgens meetrichtlijnen in hoofdstuk 7.
- Testen aangebrachte meters.
- Instellen/programmeren van GBS, zodat de benodigde waarden (hoofdstuk 7) worden gelogd
- Controleren van de methode van loggen. Worden alle waarden correct weggeschreven?
- Controleren van de individuele installaties, om vast te stellen of de opgegeven specificaties daadwerkelijk kloppen (Brede School te Joure, Omschrijving Technische installaties. Westermann, 2014).

8.3. Methode voor beheerfase

Bij toepassen van de methode van beoordeling volgens dit verslag, kan de beheerder jaarlijks de volgende stappen doorlopen, na afloop van een rapportagejaar:

- Verzamelen van benodigde gegevens
 - Waarden voor toelaatbaar jaarlijks energiegebruik voor:
 - Warm tapwater
 - Gebruiksapparatuur
 - Afgesproken waarden voor toelaatbare marge tussen (genormaliseerde) referentiewaarden en gerapporteerde waarden jaarenergiegebruik voor
 - Verwarmen
 - Koelen
 - Verlichting
 - Ventilatie
 - Warm tapwater
 - Gebruiksapparatuur
 - Gemeten essentiële waarden voor beoordeling energiegebruik volgens Tabel 7-1
 - Gemeten waarden voor buitentemperatuur per uur of KNMI klimaatbestand van het rapportagejaar
- Invoer van de verzamelde waarden in blad 1 van de spreadsheet voor beoordeling. (Of handmatig de procesdiagram in Figuur 3.1 doorlopen, met de referentiewaarden en kengetallen in bijlage 1 en 2)
- Uitlezen van de resultaten op blad 3 van de spreadsheet voor beoordeling

9. Conclusies en aanbevelingen

Een aantal conclusies en aanbevelingen zijn geformuleerd in de paragrafen 9.1 en 9.2 respectievelijk.

9.1. Conclusies

Omdat het hoofddoel van dit verslag een beschrijvend karakter heeft, kan een conclusie hier niet direct op worden teruggekoppeld. De subdoelen zijn gedefinieerd als wenselijke effecten, na toepassen van de methode van beoordelen in de praktijk, en zijn daarom op het moment van schrijven nog niet van toepassing.

Wel kunnen aan de opgestelde eisen in paragraaf 3.1 een aantal conclusies worden verbonden. Per eis zal hieronder kort worden besproken of hieraan is voldaan.

Verder zal deze paragraaf gebruikt worden voor de weergave van een kleine sterkte- en zwakteanalyse van het verslag. Hierbij zal de visie van de schrijver, met betrekking tot de waarde en de beperkingen van het verslag, kort worden toegelicht.

9.1.1. Terugkoppeling op gestelde eisen

Hieronder volgt een korte terugkoppeling van de benoemde eisen in Paragraaf 3.1.

Algemene eisen

De in dit verslag beschreven methode voldoet aan de eis voor het afzonderlijk beoordelen van de volgende energiefuncties:

- Verwarming en koeling
- Verlichting
- Ventilatie
- Apparatuur
- Tapwater

Eisen ten aanzien van de effectiviteit van dit document

De in dit verslag beschreven methode voldoet aan de eisen voor de te gebruiken middelen, en de benodigde kennis:

- Er is geen noodzaak voor gespecialiseerde calculatie- of simulatiesoftware.
- De methode lijkt goed uitvoerbaar door personen met algemene kennis van installatietechniek; en kennis van de specifieke installatietechnische, bouwkundige en regeltechnische eigenschappen van de brede school in Joure.

9.1.2. Sterkte- en zwakteanalyse

Voor de waarde van het verslag, en de bijbehorende beperkingen, wordt hieronder een kort kwantitatief oordeel van de schrijver gegeven.

Waarde van het verslag

- Verondersteld wordt dat de in het verslag bepaalde referentiewaarden voor het jaarenergiegebruik, nauwkeuriger zijn dan de in 2012 gemaakte energiecaldculaties. Voornamelijk door het toepassen van gebouwsimulaties; en door het toepassen van aangepaste normberekeningen, met de daarin specifieke uitgangswaarden voor de brede school in Joure.
- Het verslag beschrijft een methode waarmee afwijkingen, in de beoogde gebruikstijd en setpoints, proportioneel kunnen worden verrekend, aan ofwel het bedrijf Facilicom ofwel de gemeente De Friese Meren.

Beperkingen van het verslag

- De bepaalde referentiewaarden zijn volledig gebaseerd op de opgegeven specificaties, van het gebouw en de aanwezige installaties. De waarde van de referentiewaarden, en daarmee de methode van beoordeling, wordt daarom voor een groot deel bepaald door de nauwkeurigheid van deze specificaties. Als bijvoorbeeld het seizoengemiddelde COP van de warmtepompen, in werkelijkheid maar 2 is in plaats van de door Samsung opgegeven 4, zal dit direct tot een verdubbeling van de energiebehoefte leiden.

- Bij het bepalen van referentiewaarden is voor de volgende parameters een relatief hoog aannamegehalte van toepassing, bij gebrek aan specifieke gegevens hiervoor:
 - Energiegebruik warm tapwater
 - Energiegebruik gebruiksapparatuur
 - Interne warmtelasten
 - Gebouwregeling (te openen ramen, sturing zonwering, CO2 sturing ventilatie)
 De eerste twee zijn te pareren door hiervoor concrete afspraken te maken (zie aanbevelingen). De laatst genoemde twee zorgen voor een bepaalde mate van onzekerheid in de methode van beoordelen, waarvan de grootte onduidelijk is.
- Bij afwijking van de werkelijke interne warmtelasten en gebouwregeling, ten opzichte van die in de referentieberekeningen, zal naast de energiebehoefte, ook de meest geschikte referentietemperatuur voor het bepalen van graaddagen voor verwarmen en koelen veranderen. Hoe groter deze afwijking is, hoe minder nauwkeurig het werkelijke energiegebruik voor verwarmen en koelen naar het referentieklimaat zal worden genormaliseerd, en hoe minder nauwkeurig daardoor de methode van beoordeling zal zijn.

9.2. Aanbevelingen

Het verdient het aanbeveling, aan Facilicom en gemeente De Friese Meren, om een aantal aanvullende afspraken te maken voor in het PPS contract. Deze afspraken zijn nodig voor het effectief toepassen van de beschreven methode, voor beoordelen van het energiegebruik van het gebouw. Aanbevolen wordt om voor onderstaande waarden tot een overeenkomst te komen.

- Waarden voor een toelaatbaar jaarenergiegebruik voor:
 - Warm tapwater
 - Gebruiksapparatuur (energie ten behoeve van WCD-groepen)
- Waarden voor een toelaatbare marge tussen (naar klimaat genormaliseerde)referentiewaarden en gerapporteerde waarden, voor het jaarenergiegebruik van de energiefuncties:
 - Verwarmen
 - Koelen
 - Verlichting
 - Ventilatie
 - Apparatuur
 - Warm tapwater

Voor het bepalen van een geschikte toelaatbare marge, kan per energiefunctie gekeken worden naar de gespecificeerde uitgangswaarden, waarop de referentiewaarden zijn gebaseerd. Als deze in werkelijkheid relatief veel afwijken, kan een grotere marge worden gekozen.

Bronnen

Documenten

Agentschap NL, Programma van Eisen Frisse Scholen, 2012.

Bouwtekeningen Brede School Joure, Bureau Bos, 2012.

Brede School Joure Zuid, Bezettingsgraden overzicht. Gemeente De Friese Meren, 2012.

Brede School te Joure, Omschrijving Technische installaties. Westermann, 2014.

Brede School Joure Zuid, Programma van Eisen. Gemeente De Friese Meren, 2012.

DVM folder, Samsung, 2013.

Efficiency Valuation Organization, International Performance Measurement and Verification Protocol, Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. 2012.

EK PPS Joure v3. Vitruvius bouwkostenadvies. 2012.

Elling, R., e.a., Rapportage-techniek. 1994.

Gebruiksparameters Brede School Joure. Westermann, 2014.

Hoogland, W., R. Dik, Rapport over rapporteren, 2006.

ISSO, Handboek Installatietechniek, 2002

Luchtkanalenberekening Brede school Joure, Westermann, 2014.

NEN, 7120, Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode, 2012.

NEN, 8088, Ventilatie en luchtdoorlatendheid van Gebouwen, 2014.

Opstellingstekeningen Brede School Joure. Westermann, 2014.

Principeschema's Brede School Joure. Westermann, 2014.

Regeltechnische omschrijving Brede school Joure. Re3com, 2014.

Tekeningen sanitaire installaties Brede School Joure. Westermann, 2014.

Tekeningen ventilatie Brede School Joure. Westermann, 2014.

Tekeningen verwarming Brede School Joure. Westermann, 2014.

Tekeningen E-installaties Brede School Joure. Westermann, 2014.

Uitgangspunten koellastberekening. Technisch adviesbureau Jinstal, 2013.

Vabi Elements Manual-nl. Vabi Software bv, 2013.

Moore, S., e.a., Introduction to the practice of statistics. 6e editie. New York: W.H. Freeman and Company, 2009.

Websites

<http://www.bouwbesluitonline.nl>

<http://www.energylens.com/articles/degree-days>

<http://www.evo-world.org>

<http://www.rijksoverheid.nl>

<http://www.sinternovem.databank.nl>

Bijlage 1: Referentiewaarden energiebehoefte

De berekende referentiewaarden, voor de energiebehoefte van de brede school in Joure, zijn per energiefunctie weergegeven in onderstaande tabel. Voor de energie voor verwarmen en koelen zijn de specifieke energie per graaddag en de graaddagen van het referentie klimaatjaar (NEN5060) weergegeven. Hiermee kan de energie voor verwarmen en koelen van de rapportageperiode naar het referentie klimaat worden genormaliseerd.

Verwarmen: graaddagen referentiejaar(GDV bij Tref 14 °C)	1089
Verwarmen: specifieke energiebehoefte(kWh/GDV)	31,1
Koelen: graaddagen referentiejaar(GDK bij Tref 17 °C)	179
Koelen: specifieke energiebehoefte(kWh/GDK)	14,9

Energiefunctie	Hele gebouw(MWh)	Specifiek (kWh/m ²)
Ventilatie afzonderlijk	20,2	5,0
Tapwater	10,7	2,7
Verlichting	59,6	14,8
Gebruikers	18,7	4,6

Bijlage 2: Kengetallen gebruiksinvloeden Brede school Joure

Invloed gebruikstijd:

Invloed van één extra gebruiksuur per dag gedurende het jaar		
Energiefunctie	Hele gebouw/jaar(MWh)	Specifiek(kWh/m ²)
Verwarmen	-0,98	-0,24
Koelen	0,16	0,04
Verlichting	4,88	1,22
Apparatuur	1,60	0,40
Ventilatie	2,51	0,62
Warm tapwater	1,31	0,33
Totaal	9,47	2,36
Genormaliseerde/effectieve gebruikstijd, bij referentie gebruikstijden van het gebouw (op basis van huidige bezettingsgradenoverzicht):		
Jaarlijkse effectieve uren		2127
Genormaliseerde daglengte(uren/dag)		8,15

Invloed setpoints:

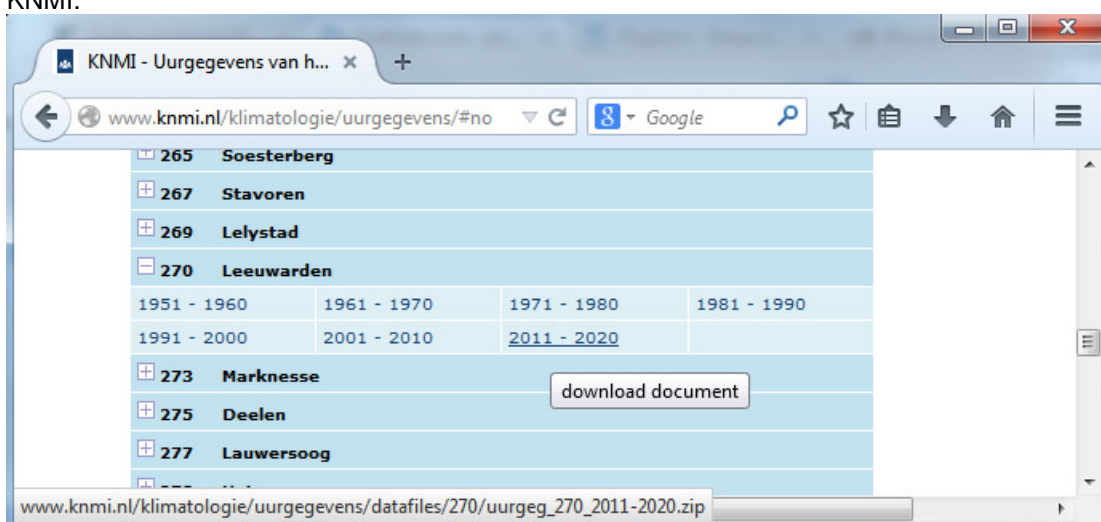
Invloed van verhogen van de setpoints voor verwarmen en koelen met 1°C, in het hele gebouw gedurende het jaar.	
Warmtebehoefte(MWh)	Koudebehoefte(MWh)
6,8	-1,7

Bijlage 3: Bewerken KNMI weerbestand voor gebruik van uurwaarden buitentemperatuur

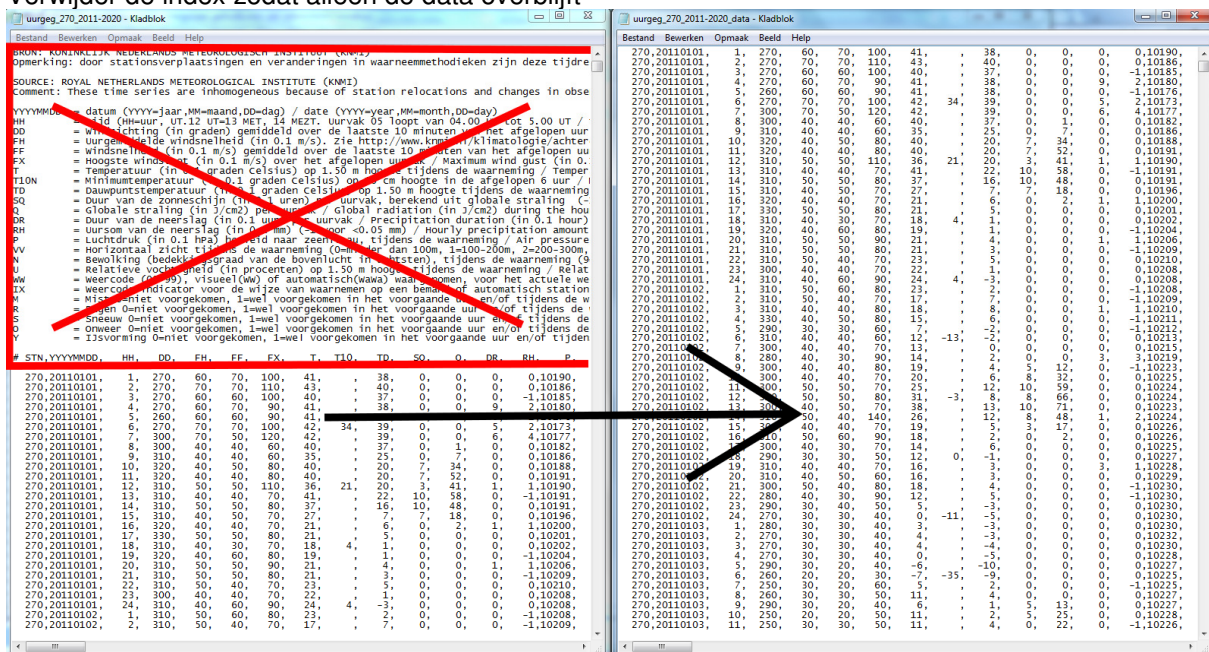
Voor het bepalen van de graaddagen van de rapportageperiode kan gebruik gemaakt worden van een bestand met uurgegevens van een van de KNMI weerstations. In dit geval lijkt het voor de hand liggend om gegevens van station Leeuwarden te gebruiken, omdat deze zich het dichtste bij Joure bevindt; op zo'n 20 km richting het noorden. De KNMI bestanden worden elke dag automatisch aangevuld en online gezet. Eén dag na de rapportageperiode zijn de gegevens dus beschikbaar voor het bepalen van de graaddagen.

Hieronder volgt een stappenplan voor het bewerken van de weergegevens, zodat ze in de spreadsheet voor beoordelen van het energiegebruik kunnen worden gebruikt. Ter illustratie zijn afbeeldingen toegevoegd, waarin als voorbeeld de uurgegevens van het jaar 2013 worden ingevoerd.

1. Download het bestand met uurgegevens voor weerstation Leeuwarden van de site van het KNMI.



2. Open het document in een tekst bewerkinsprogramma zoals Windows Notepad
3. Verwijder de index zodat alleen de data overblijft



- Sla het document op, bij voorkeur onder een andere naam zodat achteraf nog de eenheden voor de verschillende kolommen kunnen worden herleid.
- Open het tekstdocument, met alleen de data, in een spreadsheetprogramma zoals Windows Excel. Kies hierbij voor gescheiden import, zodat elke waarde in een afzonderlijke kolom komt. Belangrijk is hiervoor dat bij stap twee alle scheidingstekens worden aangevinkt, met bij overige de `punt` ingevuld.

Wizard Tekst importeren - Stap 1 van 3

Het volgende gegevenstype is geconstateerd: Vaste breedte.
Als dit juist is, kiest u Volgende of kiest u het gegevenstype dat het beste overeenkomt met de gegevens.

Oorspronkelijk gegevenstype

Kies het bestandstype dat het beste overeenkomt met de gegevens:

☒ Gescheiden - Tekens zoals puntkomma's of tabs vormen de scheidingstekens tussen de velden.
☐ Vaste breedte - Velden worden uitgelijnd in kolommen met spaties tussen de velden.

Importeren starten bij rij: 1 Oorspronkelijk bestandsformaat: MS DOS (PC 8)

Voorbeeld van bestand F:\home\Jervin Aftudeerstage\Tools\5...juuregg_270_2011-2020_data.txt

1	270,20110101	1	270	60	70	100	41	38										
2	270,20110101	2	270	70	70	110	43	40										
3	270,20110101	3	270	60	60	100	40	37										
4	270,20110101	4	270	60	70	90	41	30										
5	270,20110101	5	260	60	60	90	41	38										

Wizard Tekst importeren - Stap 2 van 3

In dit venster kunt u opgeven welke scheidingstekens voorkomen in uw tekst. In het voorbeeld kunt u zien welke invloed uw instellingen hebben op de tekst.

Scheidingstekens

☒ Tab ☒ Puntkomma ☒ Komma ☒ Dubbele scheidingstekens als één beschouwen
☒ Spatie ☒ Overige: .

Tekstindicator: *

Voorbeeld van gegevens

270	20110101	1	270	60	70	100	41	38										
270	20110101	2	270	70	70	110	43	40										
270	20110101	3	270	60	60	100	40	37										
270	20110101	4	270	60	70	90	41	30										
270	20110101	5	260	60	60	90	41	38										

Wizard Tekst importeren - Stap 3 van 3

In dit venster kunt u voor elke kolom het gegevenstype instellen.

De optie Standaard converteert numerieke waarden naar getallen, datumwaarden naar datums en alle overige waarden naar tekst.

Geavanceerd...

Gegevenstype per kolom

☒ Standaard
☐ Tekst
☐ Datum: DDMM
☐ Kolom overslaan bij importeren

Voorbeeld van gegevens

Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard	Standaard
270	20110101	1	270	60	70	100	41	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	20110101	2	270	70	70	110	43	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	20110101	3	270	60	60	100	40	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	20110101	4	270	60	70	90	41	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	20110101	5	260	60	60	90	41	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- Selecteer alleen de data uit het rapportagejaar voor de kolommen C t/m I (waarden voor datum t/m buitentemperatuur) en kopieer deze.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
17542		270	20121231	22	210	100	110	180	86	78	0
17543		270	20121231	23	240	90	70	160	88	79	0
17544		270	20121231	24	220	80	80	120	86	84	79
17545		270	20130101	1	230	70	60	110	84	79	0
17546		270	20130101	2	220	60	70	100	83	77	0
17547		270	20130101	3	220	60	50	90	82	77	0
17548		270	20130101	4	230	50	60	90	82	77	0
17549		270	20130101	5	290	30	20	80	74	66	0
17550		270	20130101	6	250	20	20	40	69	67	63
17551		270	20130101	7	250	20	30	40	69	64	0
17552		270	20130101	8	250	20	20	40	68	63	0
17553		270	20130101	9	290	40	40	60	70	52	0
26296		270	20131231	16	160	60	70	110	73	34	0
26297		270	20131231	17	160	60	60	110	73	30	0
26298		270	20131231	18	160	60	60	110	71	63	19
26299		270	20131231	19	160	60	60	110	71	15	0
26300		270	20131231	20	170	70	70	110	69	14	0
26301		270	20131231	21	170	70	70	110	62	20	0
26302		270	20131231	22	190	70	70	110	56	31	0
26303		270	20131231	23	170	40	40	90	57	24	0
26304		270	20131231	24	180	50	50	70	53	49	35
26305		270	20140101	1	180	50	50	80	51	39	0
26306		270	20140101	2	200	60	60	90	55	44	0
26307		270	20140101	3	210	60	60	100	58	51	0

7. Plak de gekopieerde waarden in cel B9 van de spreadsheet voor beoordelen van het energiegebruik, gebruik hierbij de optie 'plakken speciaal' en kies voor alleen de waarden.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Beoordelen energiegebruik brede school Joure'. The spreadsheet has columns A through I and rows 1 through 17. The active cell is B9. The spreadsheet content is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Standaard invoer velden							
3		Invoer velden voor op het moment van schrijven nog onbekende afspraken, tuss							
4		Optionele invoervelden. Voor indicatie van gebruik per individuele gebruiker, o							
5									
6		Invoer klimaatgegevens							
7									
8		Datum	uur					T	
9		20130101	1	230	70		60	110	84
10		20130101					70	100	83
11		20130101					50	90	82
12		20130101					60	90	82
13		20130101					20	80	74
14		20130101					20	40	69
15		20130101					30	40	69
16		20130101					20	40	68
17		20130101					20	40	68

The 'Plakken speciaal' dialog box is open, showing the 'Plakken' section with the 'Waarden' option selected. The 'Bewerking' section has 'Geen' selected. The 'Koppeling plakken' button is visible.

Bijlage 4: Spreadsheet voor beoordelen energieverbruik

(Spreadsheet zelf alleen bijgevoegd bij digitale versie van verslag)

Bijlage 5: Toelichting statistische begrippen

Data set

Een dataset is een verzameling van gegevens, meestal gepresenteerd in tabelvorm. Elke kolom vertegenwoordigt een bepaalde variabele. Elke rij komt overeen met een bepaald lid van de gegevensverzameling in kwestie. Vaak wordt met de term `dataset` een deel van de totale data bedoeld, dat de waarden van één variabele vertegenwoordigt. Binnen de totale data kunnen verschillende sets/variabelen met elkaar vergeleken worden.

Gemiddelde waarde

De term `gemiddelde` wordt in de statistiek gebruikt als aanduiding van een centrummaat. Er zijn meerdere manieren om de centrummaat te definiëren. Afhankelijk van de context kan bijvoorbeeld bedoeld worden:

- Het rekenkundig gemiddelde (som van alle waarden gedeeld door het aantal)
- Het meetkundig gemiddelde (n-de machts wortel van het product van alle waarden, waarbij n het aantal waarden is)
- Het harmonisch gemiddelde (omgekeerde van rekenkundig gemiddelde, te bepalen door 1 te delen door het rekenkundig gemiddelde)
- De mediaan (de middelste waarde)
- De modus (meest voorkomende waarde)
- De mid-range (rekenkundig gemiddelde van het maximum en het minimum van alle waarden)

Bij vermelding van de term `gemiddelde`, zonder verdere specificering, zal in dit hoofdstuk altijd het rekenkundig gemiddelde worden bedoeld.

Gewogen gemiddelde

Het gewogen gemiddelde is vergelijkbaar met het rekenkundig gemiddelde; echter in plaats van dat elke waarde evenredig meetelt kunnen bepaalde waarden meer of minder meetellen, afhankelijk van de bijbehorende weegfactor (wanneer voor elke waarde de weegfactor gelijk is, is het gewogen gemiddelde identiek aan het rekenkundig gemiddelde).

Normaliseren

Normaliseren kan meerdere betekenissen hebben. De eenvoudigste is een onderdeel van de bepaling van het gewogen gemiddelde: Het aanpassen van waarden die onderhevig zijn aan verschillende schaalverdelingen, zodat ze op één gemeenschappelijke schaal vergeleken kunnen worden. Een andere betekenis kan zijn: het normaliseren van residuen wanneer parameters zijn ingeschat, in het bijzonder tussen verschillende datapunten bij een regressie analyse.

Spreiding

In algemene zin is de spreiding de mate waarin de waarden van een verzameling variabelen onderlinge verschillen vertonen. In striktere zin wordt ook wel de standaarddeviatie bedoeld, welke een maat is voor de spreiding (zie verderop).

Gemiddelde absolute afwijking

De gemiddelde absolute afwijking van alle waarden in een verzameling, ten opzichte van een bepaald punt. Dit punt is vaak een centrummaat, meestal het rekenkundig gemiddelde of de mediaan. Tenzij anders vermeld zal in dit rapport de gemiddelde absolute afwijking van met het rekenkundig gemiddelde bedoeld worden.

Variantie

De variantie is een maat voor de spreiding van de data volgens vergelijking x: het gemiddelde kwadraat van de absolute afwijkingen van alle waarden met het rekenkundig gemiddelde.

$$\text{var}(x) = E[(x - E[x])^2]$$

Waarbij:

$\text{var}(x)$ is de variantie van variabele x.

E is de te verwachten waarden (Expected value) van het begrip in blokhaken in dit geval, overeenkomend met het naar waarschijnlijkheid gewogen rekenkundig gemiddelde.

Standaard afwijking

De standaard afwijking is eveneens een maat voor de spreiding van de data, te bepalen door de wortel te nemen van de variantie. Door deze bewerking is de standaard afwijking uitgedrukt in dezelfde eenheid als de data zelf, en is daardoor in veel gevallen beter praktisch toe te passen dan de variantie.

$$\sigma(x) = \sqrt{\text{var}(x)}$$

Waarbij:

$\sigma(x)$ is de standaard afwijking van variabele x .

Covariantie

De covariantie geeft aan in welke mate twee variabelen samen veranderen. Het wordt bepaald door datasets met daarin de waarden van de twee variabelen te analyseren, volgens vergelijking x .

$$\text{cov}(x, y) = E((x - Ex)(y - Ey))$$

Waarbij:

$\text{cov}(x, y)$ is de covariantie tussen de variabelen x en y .

Correlatie coëfficiënt

De genormaliseerde versie van de covariantie wordt de correlatie coëfficiënt genoemd. Er zijn meerdere correlatie coëfficiënten, waarvan de meest gebruikte de 'Pearsons product-momentcorrelatiecoëfficiënt' (of ook wel PPMCC of PCC). Deze zal ook worden gehanteerd in dit verslag. Hierin wordt de covariantie tussen twee variabelen gedeeld door het product van de standaardafwijkingen van de variabelen, volgens vergelijking x .

$$\text{corr}(x, y) = \text{cov}(x, y)$$

Waarbij:

$\text{corr}(x, y)$ is de correlatiecoëfficiënt tussen variabelen x en y .

Onafhankelijke variabele

Een variabele die wordt verondersteld niet afhankelijk te zijn van andere variabelen, maar zelf één of meerder andere variabele beïnvloed. Ook wel: 'verklarende variabele', 'instelbare variabele' of 'gecontroleerde variabele'. Veel gebruikte Engelse termen zijn: 'explanatory variable' 'regressor' en 'input variable'.

Afhankelijke variabele

Een variabele die wordt verondersteld afhankelijk te zijn van andere variabelen. Ook wel: 'gemeten variabele' of 'reagerende variabele'. Veel gebruikte Engelse termen zijn: 'explained variable', 'regressand' en 'output variable'.

Regressie analyse

Regressie analyse is een proces waarbij de relatie tussen variabelen wordt ingeschat. Het omvat verschillende technieken voor het modeleren van het verband tussen een onafhankelijke variabele en één of meerdere daarvan afhankelijke variabelen. Door het toepassen van een regressie analyse kan inzicht worden verkregen in de manier waarop de waarden van afhankelijke variabelen veranderen, als gevolg van verandering in de waarde van een onafhankelijke variabele, wanneer de overige onafhankelijke variabelen constant worden gehouden. Regressie analyse wordt veel toegepast voor het voorspellen van output.

In het geval van lineaire regressie is het gemodelleerde verband een lineaire functie van de verklarende variabelen. Bij gebruik van één onafhankelijke variabele is er sprake van enkelvoudige lineaire regressie, bij meerdere wordt het multiple lineaire regressie genoemd. Verder wordt gesproken van multivariate enkelvoudige lineaire regressie, als er bij enkelvoudige lineaire regressie meerdere afhankelijke variabelen zijn. In dit verslag zal uitsluitend enkelvoudige lineaire regressie worden toegepast, met behulp van de zogenaamde kleinste-kwadratenmethode.

Kleinste-kwadratenmethode

De kleinste-kwadratenmethode is de eenvoudigste en meest gebruikte inschattingmethode bij het toepassen van lineaire regressie. Hierbij wordt een zogenaamde trendlijn gegenereerd, zodanig dat de som van de kwadraten, van de verticale afstand van elk datapunt tot de lijn, zo klein mogelijk is.

Interpolatie

Het construeren van nieuwe datapunten binnen het gebied waarin bekende datapunten van een dataset liggen (tussen laagste en hoogste waarde in) wordt interpolatie genoemd. Het op deze manier construeren van datapunten moet worden gezien als een inschatting, en kan bijvoorbeeld worden gebaseerd op de resulterende functie van een regressie analyse.

Extrapolatie

Extrapolatie is vergelijkbaar met interpolatie, het is het proces van inschatten van datapunten buiten het gebied van een dataset. In de regel is extrapolatie onderhevig aan grotere onzekerheid, zeker naar mate de te construeren datapunten verder buiten het gebied van de originele dataset liggen.

Bijlage 6: Individuele beoordeling van energiegebruik gebouwgebruikers

Er zullen vijf verschillende partijen gebruik maken van het gebouw, hierdoor lijkt het van toegevoegde waarde dat er in elk geval ook per afzonderlijke gebouwgebruiker referentiewaarden beschikbaar zijn. De hoofddoelstelling van dit verslag is gericht op het PPS contract tussen de gemeente De Friese Meren en het bedrijf Facilicom, daarom is het energiegebruik van afzonderlijke gebruikers geen onderdeel van het beoordelingsproces dat is beschreven in hoofdstuk 3. Deze bijlage kan als richtlijn worden gebruikt voor de gemeente en de gebruikers van het gebouw, om eventueel meer specifieke afspraken te maken voor energiegebruik en gebruikstijden.

Allereerst wordt het mogelijke nut van afzonderlijke referentiewaarden per individuele gebouwgebruiker besproken. Hierna worden de referentiewaarden voor het hele gebouw verdeeld over de gebouwgebruikers, zodat referentiewaarden per gebouwgebruiker worden verkregen. Tot slot wordt per energiefunctie gekeken of het reëel is om afzonderlijk gemeten waarden ook daadwerkelijk te beoordelen aan de hand van referentiewaarden.

Praktisch nut voor referentiewaarden per gebruiker

Voor de verschillende gebruikers worden afzonderlijke kWh meters aangebracht ten behoeve van de LBK's, verlichting groepen en WCD groepen (*Regeltechnische omschrijving Brede school Joure*, Re3com, 2014). De kWh meters zijn op zichzelf al interessant voor verrekening van kosten tussen gemeente en gebruikers, omdat het gaat om energiefuncties die de gebruikers onderling nauwelijks beïnvloeden en waarvoor de gebruikstijd in grote mate bepalend is.

Omdat de meetwaarden sowieso beschikbaar zullen zijn ligt het voor de hand om hier ook een zekere vorm van validatie op toe te passen. Referentiewaarden per gebruiker zouden interessant zijn omdat hiermee de gemeten waarden kunnen worden beoordeeld. Dit maakt het mogelijk voor de gemeente en de gebruikers om concrete afspraken te maken over gebruik en gebruikstijden, zodat duurzaam gebruik van het gebouw gestimuleerd kan worden.

Bepaling referentiewaarden per afzonderlijke gebouwgebruiker

Het bepalen van de afzonderlijke referentiewaarden voor de benodigde energie voor verwarming, koeling, verlichting, apparatuur en warm tapwater zal op relatief eenvoudige wijze worden gedaan volgens onderstaande vergelijking. Hier wordt per energiefunctie de totale energiebehoefte van het gebouw per verbruiker vermenigvuldigd met het aandeel van de totale gebruiksoppervlakte per gebruiker, en de proportionele waarde voor jaarlijkse gebruiksuren ten opzichte van het gemiddelde.

$$E_{fun;gebr} = E_{fun;tot} * A_{Ag;gebr} * Fgu_{prop;gebr}$$

Waarbij:

$E_{fun;gebr}$	Is de referentiewaarde voor benodigde energie voor energiefunctie <i>fun</i> en gebruiker <i>gbr</i> in kWh.
$E_{fun;tot}$	Is de referentiewaarde voor benodigde energie voor energiefunctie <i>fun</i> voor het totale gebouw.
$A_{Ag;gebr}$	Is het aandeel van de totale gebruiksoppervlakte voor gebruiker <i>gbr</i> .
$Fgu_{prop;gebr}$	Is de factor voor de proportionele waarde voor jaarlijkse gebruiksuren voor gebruiker <i>gbr</i> .

In de tabel hieronder zijn de resultaten weergegeven, waarbij de gebruiksuren op dezelfde wijze zijn bepaald als in paragraaf 5.5, en de gebruiksoppervlakten voor de gemeente en het algemene deel zijn samengevoegd.

Gebruiker	Ag	Jaargebruiksuren	Uren*opp	(Uren*opp)/totaalopp	Gewogen energieaandeel
Totaal	4070				
Fusieschool	940	1800,00	1692000,00	415,72	0,20
It Toanhus	608	2400,00	1459200,00	358,53	0,17
Gemeenschappelijk	1070	2400,00	2568000,00	630,96	0,30
E.A.Borgerschool	1009	1800,00	1816200,00	446,24	0,21
SKIK	443	2530,00	1120790,00	275,38	0,13
Energie per functie (MWh)					
Gebruiker	Verwarming	Koeling	Verlichting	Apparatuur	Warm tapwater
Totaal	33,89	2,67	59,63	18,67	10,66
Fusieschool	6,63	0,52	11,65	3,65	2,08
It Toanhus	5,71	0,45	10,05	3,15	1,80
Gemeenschappelijk	10,06	0,79	17,69	5,54	3,16
E.A.Borgerschool	7,11	0,56	12,51	3,92	2,24
SKIK	4,39	0,35	7,72	2,42	1,38

Belangrijk is om bij bovenstaande tabel in acht te nemen dat de waarden voor gebruiksapparatuur en warm tapwater een hoge mate van onzekerheid zullen hebben. Dit komt in de eerste plaats omdat voor de bepaling van het totale gebruik van energie voor apparatuur en warm tapwater in het gebouw (paragrafen 5.4 en 5.6) al relatief veel aannames zijn gemaakt, bij gebrek aan specifieke gegevens hiervoor. Het verder onderverdelen van het totale gebruik zal nog meer onzekerheid met zich meebrengen, omdat in de praktijk de ene gebruiker meer gebruik zal maken van energie voor gebruiksapparatuur en/of warm tapwater dan de ander. Omdat hier op het moment geen richtlijnen voor bekend zijn zal moeten worden aangenomen dat elke gebruiker een zelfde aandeel van de totale energie zal gebruiken; proportioneel aan de gebruikstijden en ruimte oppervlakte.

De afzonderlijke referentiewaarden voor de benodigde energie voor ventilatie kunnen eenvoudig worden bepaald omdat iedere gebruiker een eigen LBK heeft. In Tabel 5-16 is reeds de energie per LBK berekend, als onderdeel van de bepaling van de totale energie voor ventilatie. Door hierbij voor elke gebruiker de bijbehorende energie voor dakafzuiging op te tellen, op basis van de stramiennummers, wordt de benodigde energie voor ventilatie per gebruiker verkregen (zie onderstaande tabel).

Gebruiker	LBK(kWh)	Dakafzuiging(kWh)	Totaal ventilatie energie(MWh)
Fusieschool	4904,41	37,50	42
It Toanhus	2139,83	141,43	144
Gemeenschappelijk	5313,34	332,63	338
E.A.Borgerschool	4277,17	35,00	39
SKIK	2954,21	56,22	59

Mogelijkheden voor beoordelen energiegebruik per gebruiker

Afhankelijk van de energiefunctie zijn er onderlinge invloeden tussen de gebruikers, waarvan niet direct het gedrag te bepalen is. Voor het beoordelen van gemeten waarden zal voor deze invloeden aannames gemaakt moeten worden, die nog 'bovenop' de aannames komen die al gemaakt zijn voor het bepalen van de referentiewaarden. Dit kan er in resulteren dat een methode voor beoordelen van energiegebruik per gebruiker, onvoldoende nauwkeurig is om praktisch toe te passen. Vooral voor de energie voor verwarmen en koelen is het de vraag of deze voor individuele gebruikers effectief te beoordelen valt.

Zoals te zien in Figuur 4.1 zijn de zones van de verschillende gebruikers in zekere zin met elkaar verweven. Zolang elke dag ergens in de school de setpoints voor temperatuur gehaald moeten worden, zal er warmte of koude van hieruit door het gebouw worden verspreid. Door de gebouwmassa en bijbehorende warmtecapaciteit, en de onzekerheden aangaande de interne warmtestromen, is het lastig om te benoemen wie verantwoordelijk is voor welk deel van het energiegebruik. Het is niet ondenkbaar dat wanneer één gebruiker bijvoorbeeld het setpoint voor verwarmen twee graden lager instelt, dat de benodigde warmte voor het halen van dit setpoint vrijwel volledig door omliggende ruimten/gebruikers zal worden geleverd.

Hierbij komt dat veel ruimten worden gedeeld door verschillende gebruikers. De meeste ruimten ten behoeve van kunst worden behalve door It Toanhus eerder op de dag door de scholen gebruikt. Ook de bijschakelruimten worden afhankelijk van het moment op de dag door één van de scholen of door

de kinderopvang gebruikt. Dit maakt een eventuele beoordeling nog minder onnauwkeurig, omdat aannames moeten worden gedaan voor het bepalen van de warmte of koudewinst, van gebruik van een ruimte op een bepaald moment van de dag (als gevolg van bufferwerking van de interne massa). Voor de overige energiefuncties is niet of nauwelijks sprake van onderlinge interactie tussen gebouwgebruikers. Deze lijken geschikt voor een afzonderlijk beoordelingsproces.

Bijlage 7: Output rapportage Vabi gebouwsimulatie

(Alleen bijgevoegd bij digitale versie, vanwege de 489 pagina's)

Bestandsnaam: Scriptie beoordelen energiegebruik brede school Joure versie 18-12
Map: Z:\Home\Jerwin Afstudeerstage
Sjabloon: C:\Users\Inleen3\AppData\Roaming\Microsoft\Sjablonen\Normal.dot
Titel: Meetplan brede school Joure
Onderwerp:
Auteur: Inleen3
Trefwoorden:
Opmerkingen:
Aanmaakdatum: 17-12-2014 20:31:00
Wijzigingsnummer: 27
Laatst opgeslagen op: 18-12-2014 9:43:00
Laatst opgeslagen door: Inleen3
Totale bewerkingstijd: 287 minuten
Laatst afgedrukt op: 18-12-2014 9:44:00
Vanaf laatste volledige afdruk
Aantal pagina's: 84
Aantal woorden: 28.701 (ong.)
Aantal tekens: 157.856 (ong.)