

1 Inleiding en kader

De passiefscholen binnen het pilootproject van de Vlaamse Regering dienen ten minste te voldoen aan de volgende criteria:

- 1° een netto energiebehoefte voor verwarming $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{.jaar}$;
- 2° een netto energiebehoefte voor koeling $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{.jaar}$;
- 3° een luchtdichtheid (n50-waarde) $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$;
- 4° een maximaal E-peil van E55.

Het al dan niet behalen van deze criteria zal blijken uit de (PHPP) berekeningen voor het netto energieverbruik voor verwarming en koeling en de EPB-berekeningen rekening houdend met en getoetst aan de werkelijke uitvoering (resultaat blower door, rekenwaarden in overeenstemming met as-built dossier).

De controle van de berekeningen en uitvoering van de werken werd toegewezen aan een externe instelling¹ maar uitgebreid met een controle na ingebruikname vanuit een dubbele bezorgdheid: enerzijds wil de Vlaamse Overheid hiermee de tevredenheid en het comfort van de gebruikers in de eerste passiefscholen opvolgen en bijsturen waar nodig, anderzijds wenst ze het werkelijke energieverbruik in kaart te brengen door monitoring.

De resultaten van de metingen zullen echter niet gekoppeld worden aan certificatie of subsidiëring van de pilootprojecten.

Aan de hand van monitoringresultaten kunnen echter lessen worden getrokken met de bedoeling deze te implementeren in andere passiefschoolprojecten in de toekomst. Toch is het ook voor de bouwheren en gebruikers interessant om dieper in te gaan op de monitoring van deze schoolgebouwen in gebruik omwille van de vele bijkomende voordelen die monitoring kan bieden: tijdige foutdetectie, optimalisatie van de systemen,...

Het KAHO Sint-Lieven² onderzocht, op vraag van AGIO en het GO!, de mogelijkheden voor de monitoring van passiefscholen en formuleerde enkele algemene voorstellen en antwoorden op vaak gestelde vragen: wat moet er minimaal gemeten worden, hoe en hoe frequent moet er gemeten worden en hoe worden de meetresultaten, na meting, gevisualiseerd ?

Dit document geeft de bevindingen en voorstellen van het KAHO weer. De doelstellingen van monitoring worden verduidelijkt, daarna worden de minimumeisen voor metingen op een rijtje gezet en enkele concrete voorstellen voor de dataverwerking geformuleerd. In de richtlijnen voor ontwerpers worden de maatregelen en eisen die in het bestek moeten worden opgenomen in functie van het gekozen monitorconcept kort samengevat. Een verdere gedetailleerde uitwerking, op maat van het specifieke project, wordt aanbevolen alvorens tot implementatie over te gaan.

¹ De dienstenopdracht "Prestaties van kwaliteitscontrole voor de bouw van passiefscholen. Afleveren van kwaliteitsverklaringen en beperkte controle na ingebruikname" werd toegewezen aan Passiefhuis-Platform.

² Studieopdracht Ontwikkelen van specifieke randvoorwaarden voor scholen volgens de passiefhuisstandaard. Rapport Werkpakket 3 : Leidraad bij monitoring van scholen volgens de passiefhuisstandaard. KAHO Sint-Lieven i.s.m. Vrije Universiteit Brussel, Katholieke Universiteit Leuven en Passiefhuis-Platform. 05/02/2010

2 Doelstellingen van monitoring

De doelstelling van monitoring bestaat erin om de **werkelijke prestaties van de gebouwen en van de verschillende gebouw- en installatietechnische componenten** bij de passiefscholen **permanent of gedurende een beperkte tijd op te volgen** aan de hand van bestaande meetprocedures. De monitoring zal helpen een inzicht te verwerven in energieprestaties en comfort van het gebouw en haar componenten. Het opvolgen van de prestaties kan de gebouwbeheerders ertoe aanzetten tot bijstellingen indien nodig.

Om een representatief beeld te krijgen van de energieprestaties van passiefscholen zal een onderscheid gemaakt worden tussen:

- **basisonderzoek** op basis van een permanente opvolging van elektriciteits-, aardgas- en watereindverbruiken
- **gedetailleerde permanente monitoring** voor een beperkte tijd op basis van een minimale set parameters (zie verder onder punt 3 “Eisen in verband met de metingen”). Een minimale tijdspanne van 3 jaar is aangewezen, de resultaten van het eerste jaar zijn immers niet altijd realistisch. Zo dient de gebouwmassa bij een eerste ingebruikname in het najaar nog volledig opgewarmd te worden. Ook het verdampen van het aanwezige bouwvocht en het inregelen van de systemen vraagt tijd waardoor de resultaten van het eerste meetjaar vaak geen representatief beeld geven. Nadien worden de resultaten bij voorkeur elk seizoen 2 keer geïnterpreteerd.
- het uitvoeren van een aantal **Functionele Prestatie Testen** (FPT's) vóór en na oplevering waaronder pressurisatietesten, luchtdebietmetingen, infraroodmetingen, ...

3 Eisen in verband met de metingen

3.1 Dataregistratie

De volgende gegevens van het HVAC systeem zijn bij voorkeur te registreren:

- Verbruiken:
 - Totaal energieverbruik in kWh per energiedrager – elektriciteit, gas, stookolie, biomassa, ...
 - Energieverbruik in kWh per “productie-eenheid” – ketel, warmtepomp, koelgroep, WKK, thermische zonnecollector, ... inclusief de bijhorende hulpenergie voor pompen en ventilatoren
 - Indien een productie-eenheid enkel energie ontvangt van een andere productie-eenheid binnen het systeem (b.v. warmte van WKK, PV's ...) dan moet dat energieverbruik niet gemeten worden
 - Elektriciteitsproductie van de respectievelijke “productie-eenheden” – WKK, PV, ...
 - Energieverbruik voor verlichting
 - Totaal sanitair koud water verbruik per “verbruikseenheid” – sanitair, keuken, ...
 - ...
- Buitenklimaatgegevens
 - Zonne-instraling (i.f.v. toepassing in simulatiesoftware: zowel globaal als direct)
 - Buitenluchttemperatuur

- Luchtvochtigheid
- Windkracht en windrichting

Deze meetwaarden mogen afkomstig zijn van externe weerstations op voorwaarde dat ze zich binnen een minimale afstand bevinden en kan worden aangetoond dat deze representatief zijn voor de beoogde metingen binnen het gebouw.

- Binnenklimaatgegevens
 - Ruimtetemperatuur
 - Inblaastemperaturen bij balansventilatiesystemen
 - Luchtvochtigheid
 - CO2 enkel indien sensoren aanwezig zijn (optioneel)
- Deze gegevens worden bepaald voor elke ventilatiezone, oriëntatie, functie
- Systeemparemeters:
 - Vertrek en retour temperaturen van de verschillende watercircuits
 - Temperaturen op de voedingsleidingen van de verschillende luchtgroepen
 - Relatieve vochtigheid van de pulsielucht gemeten bij iedere luchtgroep
- Nauwkeurigheid en tijdsintervallen
 - 1 kWh, 0,5 °C
 - kwartiermetingen

3.2 Prestatietesten en rapporten

De volgende functionele prestatietesten en rapporten van de gebouwschil en van het HVAC systeem kunnen worden uitgevoerd en afgeleverd:

- Gebouwschil
 - Pressurisatietest met verslag (verplicht)
 - Infraroodtest met verslag
- HVAC
 - Debietmetingen met inregelrapport van de ventilatiedebieten per ruimte

3.3 Het meten van systemen

Hieronder volgt een niet-limitatieve opsomming van de systemen die kunnen worden opgenomen in de monitoring:

- Verwarming / koeling en SWW
 - Ketel
 - ☐ Gas
 - ☐ Stookolie
 - ☐ Pellets/ Stukhout
 - ☐ PPO
 - ☐ ...
 - Warmtepomp
 - ☐ Elektrische warmtepomp
 - ☐ Absorptiewarmtepomp
 - Koelgroep
 - ☐ Elektrische koelmachine
 - ☐ Absorptiekoeling
 - ☐ Adiabatische koeling

- ☐ Beoveld
- ☐ ...
- WKK
- PV
- Thermische zonnecollector
- Elektrische weerstanden
- Ventilatie
 - WTW
 - Grondbuizen
- Verlichting

4 Dataverwerking en visualisatie van de meetgegevens

4.1 Algemeen

Om de gegevens van de verschillende scholen op een efficiënte manier te kunnen verwerken en om de gegevens van de verschillende scholen met elkaar te kunnen vergelijken is het belangrijk om voorwaarden te stellen aan het formaat van de gegevensbestanden (vb. xml) en de wijze waarop de gegevens gestructureerd zullen worden.

Omwille van het groot aantal meetgegevens is het ook van belang vooraf te bepalen wie tot welke gegevens toegang dient te krijgen. De verwerking en uitleesbaarheid van de gegevens zal daarom op verschillende niveaus gebeuren.

- Niveau AGIO

Basismonitoring op basis van een permanente opvolging van elektriciteit-, aardgas- en waterverbruiken van de verschillende scholen.

- Niveau gebouwbeheerder

Gedetailleerde permanente monitoring met alarmfunctie, probleemaanduiding en foutdetectie. Aan de hand van de verschillende visualisatietechnieken kunnen op een snelle manier fouten in de verschillende binnenklimaatinstallaties worden opgespoord.

- Niveau gebouwgebruiker

Gebruikers (studenten, leerkrachten, bezoekers,...) hebben zicht op verbruik (brandstof, elektriciteit én water) op laagdrempelige wijze

- Plaatsing van een display op zichtbare plaats in polyvalente ruimte school
- Ontsluiting van de gebruiksgegevens via internet bvb. via de website van de school geeft mogelijkheden om schoolgebruikers te sensibiliseren (bvb. tips of aandachtspunten op inlogscher)
- Display in klaslokaal (niet gecompliceerd en makkelijk afleesbaar) voor het opvolgen van het verbruik voor verlichting.

De visualisatie van de meetgegevens laat toe om een beeld te krijgen van:

- Impact van studentenaantal, campagnes, ...
- Impact van verbouwingen, aanpassingen, ...
- verschillende seizoenen a.d.h.v. graaddagen
- verschil tussen vakantie en schooldagen
- verschillen tussen weekend en weekdagen
- verschillen tussen dag en nacht

- verschillen tussen zones in een gebouw (het opsplitsen in zones bij monitoring komt overeen met het opsplitsen in zones bij met simuleren tijdens de ontwerpfase)

De meetgegevens kunnen eventueel via het extranet van op de plaats waarop ze worden geregistreerd verzonden worden naar één of meerdere stations of servers van waaruit ze kunnen worden verwerkt tot gemakkelijk te visualiseren grafieken.

4.2 Verschillende visualisatietechnieken in functie van de gewenste tijdsresolutie

De meetresultaten laten toe om energieprestaties en comfortparameters op te volgen. Om representatieve interpretaties te kunnen maken van de meetresultaten is het noodzakelijk om, afhankelijk van een aantal factoren zoals studentenaantallen, seizoenswisselingen, weekend/weekregimes, ... een juiste tijdsresolutie af te spreken. Zo kan een onderscheid gemaakt worden tussen tijdsresoluties op jaar-, maand-, week-, dag-, en uurbasis. De visualisatie van de resultaten wordt best aangepast aan de gekozen tijdsresolutie.

- Jaarlijks:
 - Impact van studentenaantal, campagnes, ...
 - Impact van verbouwingen, aanpassingen, ...

Dit is bijvoorbeeld duidelijk op onderstaande grafiek die metingen toont van het jaarlijkse verbruik van verwarming in de universiteit van Stuttgart [Building EQ]. Het verwarmingssysteem werd aangepast eind 2004. Hierdoor werd het verbruik sterk gereduceerd. Echter wegens gebrek aan continue controle steeg het energieverbruik in 2006. Het slecht functioneren werd verholpen en leverde een extra energiebesparing op in 2007.

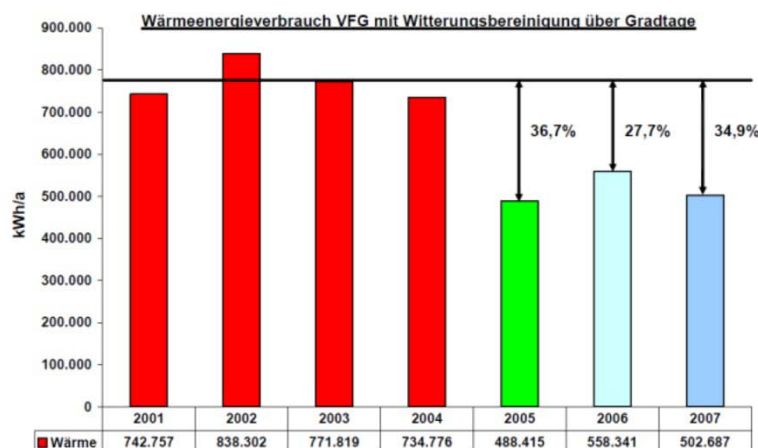


Figure 8 Time series plot on yearly basis
Grouping of annual heating consumption (degree day corrected) for the demo building of the University of Stuttgart. Retrofit of the system took place in December 2004 and January 2005. a malfunction of the system took place in 2006 due to the missing of continuous control. An energy saving potential of about 5% seems to be available in 2007. Model based control should help to identify appropriate energy conserving measures

grafiek 1 Metingen van het jaarlijks energieverbruik [Building EQ]

- Maandelijks/wekelijks: in functie van verschillende periodes in het schooljaar
 - vakantie t.o.v. schooldagen
 - verschillende seizoenen

- Dagelijks: in functie van verschillende dagtypes
 - o weekend t.o.v weekdays, zoals getoond in onderstaande grafiek. Hierbij is een duidelijk verschil te zien tussen het elektriciteits- en verwarmingsverbruik en werking van de verwarming op weekdays (rood) en weekends (groen).
 - o dag en nacht

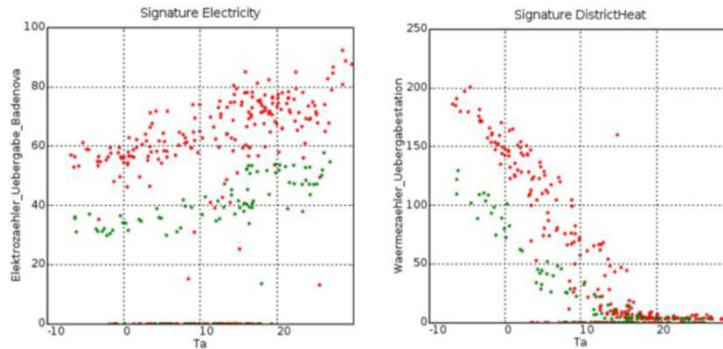


Figure 9 Scatter plot on daily basis with grouping for weekdays (red) and weekends (green) Signature for heating and electricity consumption. Both signatures shows a clear difference between the operation on weekdays and weekends. Furthermore the weather-dependent part of the load can be principally identified.

grafiek 2 Metingen van het dagelijks elektriciteits- en verwarmingsverbruik [Building EQ]

- Op uurbasis:
 - o Opstart installaties s' morgens
 - o Uitzetten installatie s' avonds
 - o Impact regeling
 - o weekend t.o.v weekdays
 - o dag en nacht

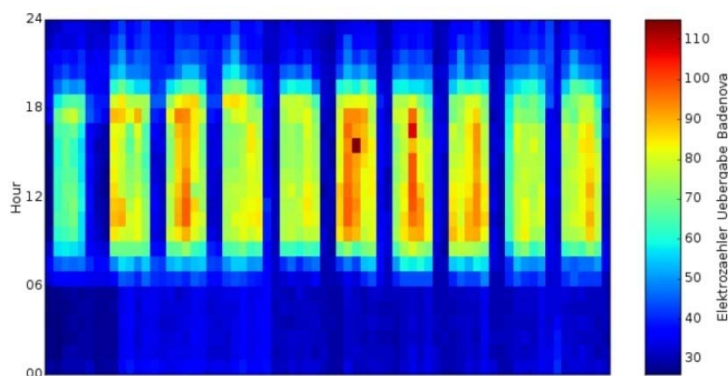


Figure 10 Carpet plot on hourly basis Electricity consumption. The carpet plot shows clear weekly "patterns" that indicate the difference between night and day operation as well as between weekdays and weekends.

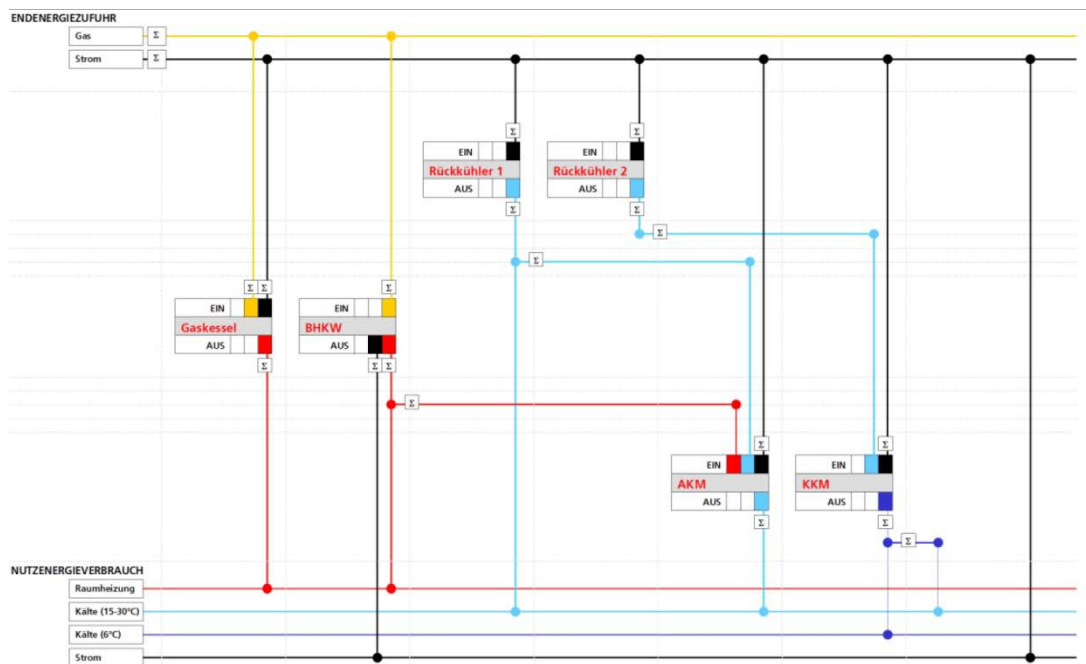
grafiek 3 Carpet plot van het elektriciteitsverbruik op uurbasis [Building EQ]

Bovenstaande grafiek is een "carpet plot" van het elektriciteitsverbruik op uurbasis. A.d.h.v. de kleuraanduiding is het verschil tussen dag-nacht en weekend-week zeer duidelijk. Daarnaast kan de opstart en het uitzetten van de installatie gecontroleerd worden.

5 Richtlijnen voor ontwerpers

Om de doelstellingen van monitoring uit bovenstaande paragrafen te kunnen realiseren zullen, afhankelijk van de beoogde ambities, bepaalde maatregelen moeten genomen worden:

- het inbouwen van een minimum aantal meetpunten/sensoren
 - het inbouwen van één jaarklok per binnenklimaatinstallatie met de bedoeling te kunnen ingrijpen op de verschillende regimes dag/nacht en vakantie/schooltijd van de verschillende installaties.
 - het installeren en gebruiken van een software tool om de meetgegevens te interpreteren
- Hiervoor moet het monitoringconcept worden opgenomen in de technische bepalingen van het lastenboek van de passiefschool. Het lastenboek dient minimaal de volgende gegevens te bevatten:
- wijze waarop het gebouw wordt opgesplitst in monitoringzone
 - het type, de nauwkeurigheid (1 kWh, 0,5 °C) , het aantal en de plaats van de sensoren, kWh meters, tellers, loggers, ...
 - de meetintervallen (kwartiermetingen)
 - formaat van de gegevensbestanden (vb. xml) en wijze waarop informatie wordt gestructureerd
 - wijze waarop de meetgegevens worden verzonden (naar één of meerdere stations of servers) en verwerkt en de mogelijkheden tot afstandsuitlezing van de gegeven
 - visualisatie van het monitoring concept tijdens de ontwerpfase (zie grafiek 4)
- Er worden best afspraken gemaakt voor een (standaard)weergave.



grafiek 4 Voorbeeld schematische weergave inplanting meetpunten [EnOB]

6 Bronnen

- [EN 15232] – Deze Europese norm behandelt - de functies in verband met gebouwautomatisering, regelingen en gebouwbeheer die een impact hebben op de energieprestaties van gebouwen; - een methode om de minimeisen vast te leggen in verband met gebouwautomatisering, regelingen en gebouwbeheer; - gedetailleerde beoordelingsmethodes.

- [prEN 15203] - Deze Europese norm beschrijft - de methodes voor het bepalen van het energieverbruik in gebouwen - de methodes om prestatieniveaus van gebouwen in de ontwerpfase en in de gebruiksfase te definiëren – een methode om de betrouwbaarheid van rekenmodellen te verbeteren aan de hand van energieverbruikgegevens.
- [EnOB] – Deze leidraad beschrijft op een algemene wijze - de verschillende stappen bij het tot stand komen van een monitoringconcept – de wijze waarop wordt gemeten. Het monitoringconcept wordt geïllustreerd aan de hand van een installatietechnisch schema.
- [Building EQ] – Deze handleiding is gebaseerd op de resultaten uit WP3 van het onderzoek met als onderwerp: “EPBD and Continuous Commissioning”. Ze beschrijft een 4-stappen strategie om te komen tot een kostenefficiënte analyse van de energieprestaties van gebouwen in gebruik. Daarbij worden volgende aspecten uitvoerig beschreven – de minimumeisen bij de analyse – de processen bij iedere stap – de wijze waarop resultaten kunnen gevisualiseerd worden.
- [Annex 47] Annex 47 is een internationaal onderzoeksproject opgericht binnen het Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) van het Internationaal EnergieAgentschap (IEA). De doelstellingen zijn:
 - o bestaande methodes en tools voor commissioning uitbreiden naar geavanceerde systemen en lage-energiegebouwen.
 - o Methodologieën en tools ontwikkelen om de prestatie van het gebouw in gebruik te verbeteren
 - o Kosten en baten van commissioning kwantificeren
- [KLEBER et al.] – Deze paper beschrijft - aan de hand van een type kantoorgebouw - de monitoring van niet residentiële gebouwen en de wijze waarop de prestaties ervan kunnen geoptimaliseerd worden. Een software werd ontwikkeld om meetdata te visualiseren en interpreteren.