

Afstudeerscriptie

Duurzaam renoveren van Openbare basisschool De Boomhut

In deze afstudeerscriptie wordt beschreven hoe Openbare basisschool de Boomhut duurzaam gerenoveerd kan worden, waarbij wordt voldaan aan Klasse A binnen het thema energie van het Programma van Eisen Frisse Scholen. Ook wordt gekeken of het rendabel is om De Boomhut energieneutraal te maken door het toepassen van duurzame opwerksystemen.

Afstudeerscriptie

Duurzaam renoveren van Openbare basisschool De Boomhut

Colofon

Auteurs

Naam : Jules Merkus
Student nr. : 464996
Opleiding : Bouwkunde
Afstudeerrichting : Organisatie

Adres : Saturnus 12
Postcode : 6674 EE
Plaats : Herveld
Telefoon : 06 811 672 99
Email : julesmerkus@hotmail.com

Naam : Bram Jansen
Student nr. : 459594
Opleiding : Bouwkunde
Afstudeerrichting : Organisatie

Adres : Bredeweg 5
Postcode : 6562 DA
Plaats : Groesbeek
Telefoon : 06 112 665 52
Email : bram_jansen@live.nl

Onder begeleiding van

Drs. Ing. G.H. (Gerrit) Aversch, eerste afstudeerbegeleider

Ir. F.G. (Frits) Schultheiss, tweede afstudeerbegeleider

Externe betrokken partijen

Openbare Basisschool De Boomhut

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN)

Expertisecentrum Energieneutraal Bouwen, Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Uitgave

Definitieve versie, 2 september 2013

Met dank aan

Expertisecentrum Energieneutraal Bouwen, Hogeschool Arnhem en Nijmegen

Samenvatting

Openbare basisschool De Boomhut is gevestigd aan de Bernhardlaan in Arnhem-Noord. Het schoolgebouw is gebouwd in 1960 en in 2004 deels gerenoveerd. De gemeente Arnhem staat garant voor de hoge energiekosten van deze school. De oorzaak van de hoge energiekosten is onder andere omdat het gebouw slecht geïsoleerd is. Dit probleem kenmerkt zich vooral bij het oudere gedeelte van het schoolgebouw. Om dit probleem op te lossen zal het schoolgebouw gerenoveerd moeten worden, dit is ook precies waar dit onderzoek zich op richt

Het gebouw is geanalyseerd, eerst is de school ter plaatse bekeken waarna de bouwtekeningen grondig bestudeerd zijn. Op basis van de verzamelde gegevens zijn de isolatiewaarden van de schil bepaald waaruit bleek dat de R_c -waarden niet meer voldoen aan de eisen van deze tijd. Aan de hand van deze bevindingen is bepaald welke aanpassingen in de renovatie gedaan moeten worden.

Programma van Eisen Frisse Scholen

Het uitgangspunt tijdens renovatie van De Boomhut is het behalen van Klasse A van het 'Programma van Eisen Frisse Scholen'. Er is voornamelijk gekeken naar de eisen uit het thema energie van het Programma van Eisen. Binnen dit thema kunnen de beste resultaten behaald worden op het gebied van energiebesparing.

Het 'Programma van Eisen Frisse Scholen' kan een uitgangspunt zijn bij het renoveren of bouwen van een nieuwe school. Dit programma is opgericht om scholen te stimuleren het energieverbruik te verminderen en het binnenklimaat te verbeteren, wat steeds belangrijker wordt. Een slecht binnenmilieu heeft namelijk direct verband met de gezondheid en de leerprestaties van de leerlingen en het personeel.

Er is een inventarisatie gemaakt van de aanpassingen die gedaan dienen te worden om te voldoen aan Klasse A binnen het thema energie. Vervolgens is onderzocht welke kosten zijn verbonden aan de verschillende aanpassingen. Er is een begroting gemaakt van de kosten voor het renoveren van Openbare basisschool De Boomhut naar Klasse A binnen het thema energie. De investering van de renovatie kan binnen 30 jaar terugverdiend worden.

Energieneutraal renoveren

Na het bepalen van de aanpassingen in de renovatiefase is het energieverbruik bepaald, waarna onderzocht is of De Boomhut energieneutraal gerenoveerd kan worden. Door middel van het toepassen van duurzame opweksystemen kan dit behaald worden.

Er is een inventarisatie gemaakt van de duurzame opweksystemen die er zijn en uiteindelijk is er gekozen voor windturbines. Belangrijk bij het investeren in duurzame opweksystemen is dat de investering terugverdiend kan worden binnen de levensduur van een gebouw.

Er is een terugverdienmodel gemaakt voor investering in vier windturbines, waarbij gekeken wordt of het rendabel is om te investeren ten opzichte van de verwachte energiekosten na de renovatie. Hierbij is meegenomen dat de energiekosten na verwachting gaan stijgen in de komende jaren. De terugverdientijd van de windturbines ligt tussen de tien en elf jaar. De gemiddelde levensduur van een windturbine ligt op twintig jaar. Uit het terugverdienmodel is gebleken dat deze investering zeker rendabel is.

Summary

Public School 'De Boomhut' is located at the Bernhardlaan in Arnhem-North. The school was built in 1960 and a part of the school was renovated in 2004. The municipality of Arnhem pays for the energy costs of this school, which are very high. The reason that the energy costs are so high is because the buildings is poorly insulated, particularly in the older part of the school building which isn't renovated in 2004. To solve this problem, the school needs to be renovated and that's the main subject of this research.

First the school building was thoroughly analyzed. This was done on-site and later on by using drawings of the architect to analyze how different parts of the building are constructed. Also the different insulation values of the floors, walls and roofs were determined in this stage. When this was all said and done. We knew where the buildings flaws were and we could start with the renovation part of our research.

List of specifications Frisse Scholen (Fresh Schools)

The main goal for the renovation of the school was to achieve Class A of the Fresh Schools specifications. The Fresh Schools specifications are a set of specifications which schools can achieve to improve the environment in the schools. There are different subjects in this specifications list, such as: energy, climate and acoustics, but our focus was on the energy chapter, because this is the main shortcoming of the school.

The Fresh Schools specification list can be a starting point when renovating or building a new school. The Fresh Schools specification list was created to encourage schools to reduce energy consumption and to improve the indoor environment in schools, which can be related directly to the health and academic performance of students and staff.

In the first part of this research the public school 'de Boomhut' was renovated to Class A of the Fresh Schools label, meeting all the requirements which were demanded. Therefor we sorted out what needed to be improved on the building such as insulation and installations. But we mainly looked at the costs of this renovation because this was our main focus during this research.

Energy-neutral renovation

During the second part of this research we did an extra step. After step one, which was to meet the specifications of the Fresh Schools label class A, we were going to see if it's profitable to generate the rest of the demanded energy throughout renewable generation systems. Therefor in this part of the research we examined the different ways to generate energy in a sustainable way and if it was profitable. Then we processed the results in a cost recovery model in which we could compare two situations.

The first situation is to invest in renewable generation systems and generate the rest of the demanded energy after the renovation. The second situation is to pay the rest of the demanded energy, after the renovation, to the energy company. These two situations were compared and we could see which of this two was the most profitable one.

Voorwoord

Deze afstudeerscriptie, geschreven door Jules Merkus en Bram Jansen, is een onderzoek naar het duurzaam renoveren van Openbare basisschool De Boomhut. Dit onderzoek is geschreven ter afsluiting van onze opleiding Bouwkunde aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van het Expertisecentrum Energieneutraal Bouwen. 'Een onderdeel van het Lectoraat Duurzame Energie van Hogeschool van Arnhem en Nijmegen, streeft naar een energieneutrale bebouwde omgeving, die ontstaan is door middel van een unieke combinatie van innovatief, duurzaam en integraal ontwerpen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de bijzondere positie als intermediair tussen het bedrijfsleven en de HAN waarin het kennis verzamelt, ontwikkelt en verspreidt'

Graag willen wij dit voorwoord gebruiken om een aantal personen te bedanken. Allereerst onze begeleiders drs. ing. G. Aversch en Ir. F. Schultheiss, zij hebben ons uitstekend begeleid tijdens het onderzoek. Tevens willen we het lectoraat Duurzame Energie aan de HAN bedanken, zij gaven ons de mogelijkheid om dit onderzoek uit te voeren. Als laatste onze dank aan de heer Rob Bleumink, directeur van Openbare basisschool De Boomhut.

Inhoudsopgave

1	INLEIDING.....	8
2	PROJECTOPDRACHT	9
2.1	PROBLEEMSTELLING.....	9
2.2	DOELSTELLING.....	9
2.3	HOOFDVRAAG.....	10
2.4	DEELVRAGEN.....	10
3	GEBOUWANALYSE OBS DE BOOMHUT.....	11
3.1	GEBOUWGEGEVENS	11
3.2	OPBOUW HOOFDENTREE.....	12
3.2.1	GEVEL	12
3.3	OPBOUW OORSPRONKELIJK GEDEELTE.....	12
3.3.1	GEVEL	12
3.3.2	DAK	13
3.3.3	VLOER.....	13
3.3.4	GLAS EN KOZIJNEN	13
4	PROGRAMMA VAN EISEN FRISSE SCHOLEN	14
4.1	PROGRAMMA VAN EISEN FRISSE SCHOLEN IN HET ONDERZOEK.....	14
4.2	ENERGIE.....	14
4.2.1	ISOLATIE GEBOUWSCHIL.....	15
4.2.2	ENERGIEZUINIGE VENTILATIE	15
4.2.3	REGELING VENTILATIE.....	15
4.2.4	ENERGIEZUINIGE VERWARMING.....	15
4.2.5	EFFICIËNTE OPWEKKING EN DISTRIBUTIE VAN WARMTE	15
4.2.6	REGELING VERWARMING.....	15
4.2.7	ENERGIEZUINIGE KOELING	15
4.2.8	ENERGIEZUINIGE VERLICHTING.....	15
4.3	BINNENLUCHTKWALITEIT	16
4.4	THERMISCH BINNENKLIMAAT	16
4.5	VISUEEL COMFORT	17
4.6	AKOESTISCH COMFORT	17
5	RENOVATIE NAAR KLASSE A – PROGRAMMA VAN EISEN FRISSE SCHOLEN	18
5.1	ISOLATIE VAN DE SCHIL	19
5.1.1	VLOER.....	20
5.1.2	SPOUWMUUR	20
5.1.3	OORSPRONKELIJKE GEVEL.....	20
5.1.4	GEVEL ENTREE	21
5.1.5	DAK	21
5.1.6	GLAS.....	21
5.2	VENTILATIE	22
5.3	VERWARMING	22
5.4	KOELING.....	23
5.5	VERLICHTING.....	23
5.6	ENERGIEPRESTATIE	24
5.7	BEGROTING RENOVATIE	25
6	VAN KLASSE A NAAR ENERGIENEUTRAAL.....	27

6.1	WAT IS ENERGIENEUTRAAL BOUWEN?	27
6.2	VERWACHT ENERGIEVERBRUIK	27
6.3	KEUZE DUURZAME OPWEKSYSTEMEN	28
6.3.1	NIET TOEGEPASTE DUURZAME OPWEKSYSTEMEN	28
6.3.2	TOEGEPASTE DUURZAME OPWEKSYSTEMEN	28
7	TERUGVERDIENMODELLEN	31
7.1	TERUGVERDIENMODEL RENOVATIE NAAR KLASSE A PVE FRISSE SCHOLEN	31
7.1.1	UITGANGSPUNTEN	31
7.1.2	RESULTATEN	31
7.2	TERUGVERDIENMODEL ENERGIENEUTRAAL MAKEN VAN OBS DE BOOMHUT	32
8	CONCLUSIE EN DISCUSSIE	33
8.1	GEBOUWANALYSE	33
8.2	RENOVATIE NAAR KLASSE A PROGRAMMA VAN EISEN FRISSE SCHOLEN	33
8.2.1	KOSTEN	34
8.2.2	TERUGVERDIENTIJD	34
8.3	OBS DE BOOMHUT ENERGIENEUTRAAL MAKEN	35
8.3.1	TERUGVERDIENTIJD	35
8.4	HOOFDVRAAG	35
9	AANBEVELINGEN	36
10	DISCUSSIE	37
11	LITERATUURLIJST	38

Bijlagen

Bijlage 1 - Rc-waarden berekeningen

- 1.1 - Rc-waarde gevel hoofdentree
- 1.2 - Rc-waarde begane grondvloer
- 1.3 - Rc-waarde oorspronkelijke gevel

Bijlage 2 - Energieverbruik minimaliseren

- 2.1 - Inleiding
- 2.2 - Vloer
- 2.3 - Spouwmuur
- 2.4 - Gevel
- 2.5 - Dak
- 2.6 - Isolierend glas
- 2.7 - Rc-berekeningen vloer
- 2.8 - Rc-berekeningen spouw
- 2.9 - Rc-berekeningen gevel
- 2.10 - Rc-berekening warm dak
- 2.11 - Literatuurlijst

Bijlage 3 - Duurzame opweksystemen

- 3.1 - Inventarisatie duurzame opweksystemen
- 3.2 - Adviesrapport zonnepanelen
- 3.3 - Adviesrapport windturbine
- 3.4 - Adviesrapport bodemwarmtewisselaar
- 3.5 - Adviesrapport warmtekoudeopslag-systeem

Bijlage 4 - EPC Rapport

Bijlage 5 - Begroting renovatie

Bijlage 6 - Terugverdienmodel

- 6.1 - Terugverdienmodel Renovatie naar Klasse A PVE Frisse Scholen
- 6.2 - Terugverdienmodel Energieneutraal maken

1 Inleiding

In opdracht van het Expertisecentrum Energieneutraal Bouwen, een onderdeel van het lectoraat Duurzaam Energie, wordt er een onderzoek gedaan naar het duurzaam renoveren van Openbare basisschool De Boomhut. Het onderzoek wordt uitgevoerd door studenten Jules Merkus en Bram Jansen, dat in het kader van het afstuderen zal plaatsvinden.

Deze afstudeerscriptie is een samenvatting van de bevindingen die zijn gedaan tijdens het onderzoek naar het duurzaam renoveren van De Boomhut. Allereerst is er een analyse gemaakt van het gebouw. Vervolgens is onderzocht welke aanpassingen gedaan dienen te worden om De Boomhut binnen het thema energie te renoveren naar Klasse A van het Programma van Eisen Frisse scholen. Er is een terugverdienmodel opgesteld om te bepalen of het rendabel is om te investeren in het energieneutraal maken van De Boomhut na het renoveren van de school.

In 'hoofdstuk 7 Conclusie' worden de bevindingen en de resultaten van dit onderzoek beschreven, de deelvragen en de hoofdvraag worden beantwoord. In 'hoofdstuk 8 Aanbevelingen' worden een aantal aanbevelingen voor De Boomhut beschreven en in 'hoofdstuk 9 Discussie' wordt beschreven wordt het onderzoeksproces geëvalueerd en de zwakke punten van het onderzoek beschreven.

Er wordt in verschillende paragrafen in dit rapport verwezen naar het rapport 'Bijlagen', de bijlagen dienen ter verduidelijking van informatie beschreven in dit rapport. In de bijlagen wordt dieper ingegaan op bepaalde onderwerpen.

2 Projectopdracht

Bij het formuleren van een goede onderzoeksvraag is het belangrijk om eerst duidelijk het probleem vast te stellen. Voor dit onderzoek was al een opdracht bekend waar een duidelijk probleem aan verbonden was. Vervolgens wordt het doel van het onderzoek omschreven, waarna de onderzoeksvraag geformuleerd kan worden. Door de onderzoeksvraag op te splitsen in deelvragen maak je het makkelijker om stapsgewijs de hoofdvraag te beantwoorden.

Na het beantwoorden van de deelvragen kunnen de conclusies uit het onderzoek getrokken worden, hiermee beantwoord je de hoofdvraag. De conclusies leiden uiteindelijk tot aanbevelingen.

2.1 Probleemstelling

Openbare basisschool de Boomhut heeft twee locaties, aan de Julianalaan en de Bernhardlaan, beide gelegen aan stadspark Angerenstein in Arnhem-Noord. Wij zullen ons richten op de locatie aan de Bernhardlaan. Het schoolgebouw bestaat uit een ouder gedeelte waar tijdens een verbouwing een nieuw gedeelte aan is gebouwd. De gemeente Arnhem staat garant voor de energiekosten van de school, welke zeer hoog zijn. De oorzaak hiervan is onder andere dat het gebouw slecht geïsoleerd is, waarbij dit probleem zich vooral kenmerkt bij het oudere gedeelte van het schoolgebouw. Om dit probleem op te lossen zal het schoolgebouw duurzaam gerenoveerd moeten worden. De gemeente wil echter niet garant staan voor de lening om duurzame oplossingen mogelijk te maken. Daarom moeten basisscholen op dit moment de financiering op een andere manier rond krijgen van bijvoorbeeld zonnepanelen. David Willemsen, fractievoorzitter van GroenLinks in Arnhem is van mening dat als er meer ondersteuning is van de overheid er meer mogelijkheden zijn voor basisscholen.

Het probleem kenmerkt zich dus door de hoge energiekosten waar de gemeente garant voor staat en het probleem dat de gemeente als standpunt heeft om de school niet te laten renoveren.

2.2 Doelstelling

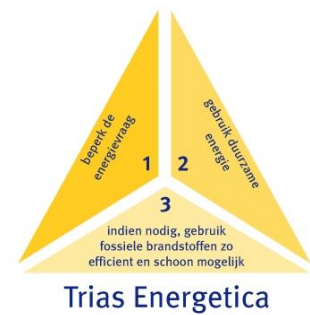
Onderzoek doen naar het duurzaam renoveren van Openbare basisschool de Boomhut waarbij wordt voldaan aan klasse A binnen het thema energie in het 'Programma van Eisen Frisse Scholen'. Dit zal stap 1 zijn in het onderzoek. Bij stap 2 wordt er gekeken wat de extra kosten zijn om het gebouw energieneutraal te renoveren. In deze stap wordt ook berekend wat de terugverdientijd zal zijn.

Het Programma van Eisen Frisse Scholen is ook een belangrijk onderdeel van het onderzoek. "Dit Programma van Eisen dient als leidraad voor opdrachtgevers van nieuw- en verbouw van scholen (schoolbesturen en gemeenten) bij het realiseren van Frisse Scholen. Een slecht binnenmilieu in scholen heeft een negatief effect op de gezondheid, leerprestaties en functioneren van leerlingen en onderwijzend personeel. Bij ver- en nieuwbouwplannen is het dus belangrijk vooraf eisen te stellen aan het ontwerp van het gebouw en de installaties. Naast een optimaal binnenmilieu is daarbij ook een beperkt energiegebruik essentieel – alleen al vanwege de kosten."

De resultaten worden voorgelegd aan de directie van de school zodat zij kunnen beslissen wat te doen met de resultaten van het onderzoek.

In overleg met tweede begeleider Frits Schultheiss is bepaald dat Trias Energetica het uitgangspunt is bij het duurzaam renoveren van Openbare basisschool De Boomhut. De uitgangspunten van Trias Energetica zijn:

- Beperk de energievraag;
- Gebruik duurzame energie;
- Indien nodig, gebruik fossiele brandstoffen zo efficiënt en schoon mogelijk.



Figuur 2.1 – (bron: <http://www.epcwaarde.nl>)

2.3 Hoofdvraag

In het begintraject is tijdens het schrijven van het Plan van Aanpak een hoofdvraag geformuleerd. De hoofdvraag is verschillende keren aangepast, mede door overleg met begeleiders en doordat we verder in het traject meer informatie hadden over het onderzoek. De definitieve hoofdvraag is als volgt geformuleerd:

Wat zijn de kosten om Openbare basisschool de Boomhut te renoveren waarbij wordt voldaan aan de Klasse A binnen het thema energie van het 'Programma van Eisen Frisse Scholen' en is het rendabel om extra te investering in het energieneutraal maken van Openbare basisschool de Boomhut?

2.4 Deelvragen

De deelvragen leiden uiteindelijk naar de beantwoording van de hoofdvraag, daarom is het belangrijk om duidelijke deelvragen te formuleren die in chronologische volgorde behandeld worden in het proces. Er is gekeken wat onderzocht diende te worden om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden, hieruit zijn de deelvragen geformuleerd. Hieronder de geformuleerde deelvragen:

1. Wat is de oorzaak van de hoge energiekosten van Openbare basisschool De Boomhut?
2. Welke aanpassingen dienen gedaan te worden om te voldoen aan klasse A binnen het thema energie in het 'Programma van Eisen Frisse Scholen'?
3. Wat zijn de kosten die verbonden zijn aan het aanpassen van Openbare basisschool De Boomhut, waarbij wordt voldaan aan klasse A van het thema energie in het 'Programma van Eisen Frisse Scholen'?
4. Welke extra investering dient gedaan te worden om de gerenoveerde basisschool energieneutraal te maken?
5. Wat is de terugverdientijd van het energieneutraal renoveren van Openbare basisschool De Boomhut vergeleken met de verwachte stijgende energiekosten in de gerenoveerde fase?

3 Gebouwanalyse OBS De Boomhut

Openbare basisschool De Boomhut gelegen aan de Bernhardlaan 10 nabij stadspark Angerenstein in Arnhem-Noord is een gebouw uit 1960. Het is een basisschool met twee locaties, in dit hoofdstuk wordt een analyse gemaakt van de locatie aan de Bernhardlaan (in figuur 3.1 weergegeven). Het gebouw is op te delen in het oude gedeelte en de nieuwe hoofdentree waar duidelijk andere materiaalkeuzes zijn gemaakt, deze verbouwing heeft plaatsgevonden in 2004.



Figuur 3.1 – Luchtfoto OBS De Boomhut (bron: <http://www.bing.com/maps/>)



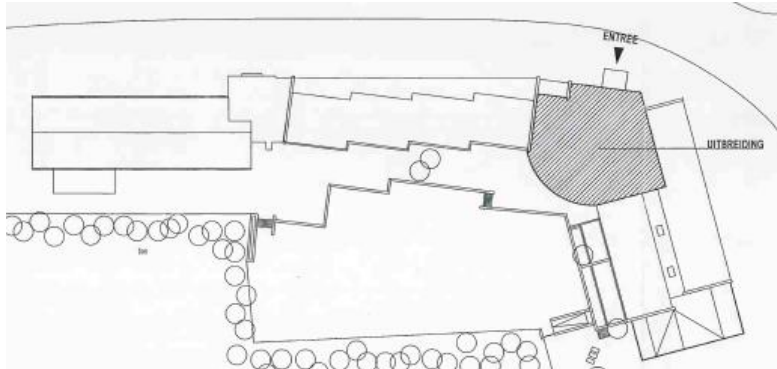
Figuur 3.2 – Situatie OBS De Boomhut (bron: <http://www.bing.com/maps/>)

3.1 Gebouwgegevens

Adres	: Bernhardlaan 10
Postcode	: 6824LE
Plaats	: Arnhem
Bouwjaar	: 1960
Verbouwingen	: 2004 (hoofdentree) : 2008 (entree gymzaal)
Oriëntatie	: Noordwest
Oppervlakte	: 2530 m ² BVO
Aantal verdiepingen	: 2 + kelder
Gebruiksfunctie	: Onderwijs

3.2 Opbouw hoofdentree

De hoofdentree, verbouwd in 2004, is gelegen aan de noordwest zijde. Doordat er veel glas is gebruikt aan de voorzijde van de hoofdentree heeft het een open uitstraling. In de onderstaande afbeelding is de nieuwe hoofdentree gearceerd.



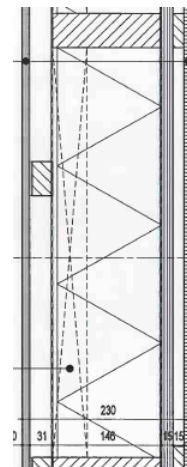
Figuur 3.3 – Situatietekening waarbij uitbreiding hoofdentree is gearceerd

De in 2004 uitgevoerde uitbreiding is modern en zorgt voor een goed herkenningspunt. Het uiterlijk valt op, maar dat komt niet alleen door het moderne uiterlijk maar ook door het grote contrast met het oorspronkelijke deel van de school. De entree van de gymzaal is in 2008 verbouwd, deze heeft dezelfde opbouw als de hoofdentree

3.2.1 Gevel

De opbouw van de gevel, van de buitenzijde naar de binnenzijde (links naar rechts op figuur 3.4) is als volgt:

- Trespa-meteon panelen;
- Houten regelwerk (28x44mm);
- Waterkerende folie;
- Houten stijl en regelwerk (46x146mm);
- Minerale wol 140mm;
- Damp-remmende folie;
- Multiplex 15mm;
- Gipsplaten op houten rachels.



Figuur 3.4 – Opbouw gevel hoofdentree

De R_c -waarde van de gevel is $4,19 \text{ m}^2\text{K/W}$ (zie bijlage 1.1).

3.3 Opbouw oorspronkelijk gedeelte

Bij de overige delen van de Openbare basisschool De Boomhut stamt de schil uit het bouwjaar 1960. De schil van die delen voldoet daarom ook aan de eisen uit die tijd, zoals de isolatiewaarden en ethisch gezien.

3.3.1 Gevel

De gevel is metselwerk met grote gevelopeningen, voornamelijk aan de zijde van de lokalen. Het zijn ongeïsoleerde spouwmuren met de volgende opbouw.

De gevel bestaat uit metselwerk waar veel gevelopeningen in zitten (zie figuur 3.5). De muren zijn opgebouwd uit spouwmuren zonder isolatie. De opbouw van de muur bestaat dus uit de volgende materialen:

- Buitenmuur, metselwerk, dikte 200 mm;
- Spouw, dikte 70 mm;
- Binnenmuur, metselwerk, dikte 100 mm

De R_c -waarde van de gevel is $0,62 \text{ m}^2\text{K/W}$, een waarde die niet meer voldoet aan de eisen van deze tijd.



Figuur 3.5 Gevelaanzicht oude deel

3.3.2 Dak

De opbouw van het platte dak is als volgt;

- Dakbedekking 1 laags APP;
- Afschotisolatie (15mm/m) ($RC=3,0$);
- Dampremmende folie;
- Stalen dakplaat;
- Stalen draagconstructie;
- Systeemplafond.

De R_c -waarde van het dak is $3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$, de dakbedekking en de stalen dakplaten zijn hierin niet meegenomen waar hebben een isolatiewaarde die verwaarloosbaar is. Isolatie waarde is overgenomen van bestektekening.

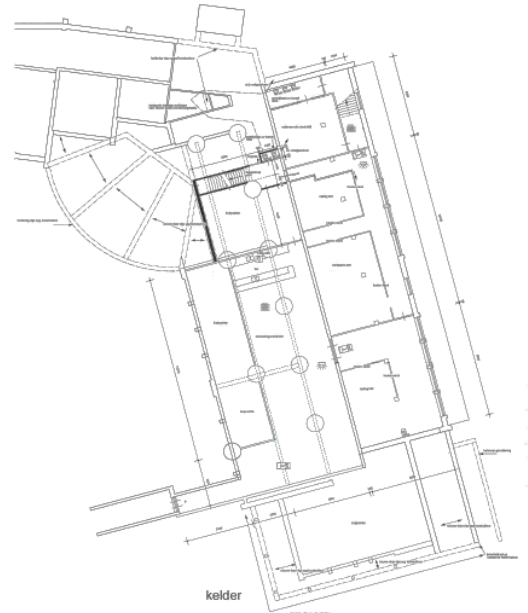
3.3.3 Vloer

De begane grondvloer is een ongeïsoleerde betonvloer (dikte 100 mm) met een cementdekvloer (dikte 30 mm). Het niet onderkelderde gedeelte is voorzien van een kruipruimte. De R_c -waarde van de begane grondvloer is $0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ (zie bijlage 1.2). Isolatie waarde is overgenomen van bestektekening.

De keldervloer is een geïsoleerde betonvloer met een R_c -waarde $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$, op afbeelding 3.5 is te zien welk deel onderkeldert is.

3.3.4 Glas en kozijnen

In het gehele gebouw zijn houten kozijnen met dubbelglas toegepast. Het glas heeft een U-waarde van $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Isolatie waarde is overgenomen van bestektekening.



Figuur 3.6 Plattegrond kelder

4 Programma van Eisen Frisse Scholen

Het Programma van Eisen Frisse Scholen kan als uitgangspunt gebruikt worden bij het bouwen van een nieuwe school of bij het verbouwen van een bestaande school. Opdrachtgevers (schoolbesturen en gemeenten) kunnen het Programma van Eisen Frisse scholen gebruiken om een laag energieverbruik en een gezond binnenklimaat te realiseren. Het Programma van Eisen Frisse Scholen is een versie uit april 2012. In 2012 verscheen namelijk een nieuwe uitgave van het bouwbesluit dit was de reden om het Programma van Eisen te herzien.

Het Programma van Eisen is zowel voor basisonderwijs als voortgezet onderwijs toepasbaar op standaard theorielokalen. In vaklokalen, praktijklokalen, collegezalen, speellokale, aula's, kantoren en spreekkamers zullen bepaalde eisen niet haalbaar zijn. Tijdens het onderzoek zal het uitgangspunt zijn om de hele school duurzaam te renoveren. Er zal daarom niet alleen gekeken worden naar de klaslokalen van De Boomhut maar ook naar de overige ruimten zoals: kantoren, toiletten en gymruimten.

Het Programma van Eisen Frisse Scholen is opgedeeld in vijf belangrijke thema's, namelijk; energiezuinig, luchtkwaliteit, thermisch comfort, visueel comfort en akoestisch comfort. In ieder thema zijn een aantal eisen terug te vinden, deze eisen zijn opgedeeld in drie klassen, namelijk; klasse C (acceptabel), klasse B (goed) en klasse A (zeer goed). Klasse C is gebaseerd op de huidige wet- en regelgeving.

Het doel van het Programma van Eisen Frisse Scholen is een school realiseren die binnen het budget zo gezond, comfortabel en energiezuinig mogelijk is. In het ambitieprofiel, dat te vinden is op de website van Frisse Scholen, kan de opdrachtgever per aspect een ambitie aankruisen, om zo te streven na een bepaald eindresultaat.

4.1 Programma van Eisen Frisse Scholen in het onderzoek

Het onderzoek naar de duurzame renovatie van De Boomhut zal voornamelijk betrekking hebben op het thema energie. Het uitgangspunt tijdens het onderzoek is binnen het thema energie op alle aspecten klasse A te scoren. De overige thema's worden niet uitgebreid onderzocht worden, maar worden ook niet verwaarloosd.

4.2 Energie

De energiezuinigheid van een gebouw wordt uitgedrukt in een energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Een lage EPC betekent een energiezuinig gebouw. In het bouwbesluit is een minimum eis gesteld aan de EPC-waarde, voor een onderwijsfunctie namelijk; 1.3. In het Programma van Eisen zijn de energieprestatie eisen in verschillende aspecten opgedeeld, namelijk:

- Isolatie van de gebouwschil;
- Energiezuinige ventilatie;
- Regeling ventilatie;
- Energiezuinige verwarming;
- Efficiënte opwekking en distributie van warmte;
- Regeling verwarming;
- Energiezuinige koeling;
- Energiezuinig verlichting.

4.2.1 Isolatie gebouwschil

In het Programma van Eisen Frisse scholen worden eisen gesteld aan de thermische isolatie van de gevel, begane grond en het dak. Isolatiewaarden worden uitgedrukt in een R_c -waarde, een R_c -waarde geeft de warmteweerstand van een constructie weer.

4.2.2 Energiezuinige ventilatie

Door te ventileren wordt warme lucht uit ruimten onttrokken, dit is ongunstig in periodes waarin gebruik wordt gemaakt van de verwarming. Door een ventilatiesysteem toe te passen met warmteterugwinning (WTW) wordt de warme lucht gebruikt om de schone lucht te verwarmen. De verse buitenlucht van buiten wordt op deze manier voorverwarmd, de luchtstromen komen niet met elkaar in aanraking waardoor er geen vervuilde lucht de ruimte wordt ingeblazen. De eis betreffende het toepassen van een ventilatiesysteem met WTW is alleen van toepassing op een ventilatiesysteem met mechanische toevoer.

4.2.3 Regeling ventilatie

Door in een ruimte alleen te ventileren op het moment dat het nodig is kan veel energie bespaard worden. In het Programma van Eisen worden een aantal mogelijkheden beschreven waarmee dit bereikt kan worden.

4.2.4 Energiezuinige verwarming

Voor een energiezuinig verwarmingssysteem is het belangrijk om de temperatuur van de afgiftesystemen zo laag mogelijk te houden. Bij een lagere aanvoertemperatuur kan het opwekkingsrendement van een stooktoestel sterk toenemen. Bij een warmtepomp is het van belang een aanvoertemperatuur te hanteren die lager is dan 35 graden Celsius is om het rendement zo gunstig mogelijk te maken.

4.2.5 Efficiënte opwekking en distributie van warmte

In het Programma van Eisen staat beschreven hoe op een efficiënte en duurzame manier warmte opgewekt, of distributie van warmte gerealiseerd kan worden.

4.2.6 Regeling verwarming

Energieverbruik kan evenals bij ventilatie beperkt worden door alleen te verwarmen op het moment dat dit noodzakelijk is. Goede regeling van de verwarming is ook van toegevoegde waarde betreffende het comfort. Het Programma van Eisen beschrijft op welke manier dit goed te regelen is.

4.2.7 Energiezuinige koeling

Wanneer gedacht wordt aan de koeling van een gebouw is het belangrijk om warmte buiten te houden en de warmteproductie binnen het gebouw te beperken. Wanneer gebouwkoeling toegepast wordt is het belangrijk om dit energiezuinig en efficiënt te doen, een energiezuinig koelsysteem is dan een vereiste.

4.2.8 Energiezuinige verlichting

Met betrekking tot verlichting dient eerst bekeken te worden hoe het daglicht optimaal gebruik kan worden en op deze momenten kunstlicht niet onnodig te laten branden. De lichtbronnen die toegepast worden dienen energiezuinig te zijn. Het Programma van Eisen beschrijft hoe bovenstaande eisen gerealiseerd kunnen worden.

4.3 Binnenluchtkwaliteit

Een goede binnenluchtkwaliteit is gezond voor leerlingen en docenten en bevorderlijk voor de prestaties. De eisen betreffende binnenluchtkwaliteit worden uitgedrukt in een CO₂-concentratie, CO₂-concentratie geeft de hoeveelheid luchtverversing en de luchtkwaliteit aan.

Hieronder een aantal uitgangspunten uit het Programma van Eisen Frisse Scholen die betrekking hebben tot de binnenluchtkwaliteit.

- Een bezettingsgraad van 1 leerling per 2 m²;
- Een CO₂-productie van gemiddeld 17 dm³/uur per persoon;
- Een ventilatie-effectiviteit ϵ_V van 1,0. Ventilatie-effectiviteit bepaald de doorspoeling van verse lucht door de ruimte;
- Een CO₂-buitenconcentratie van 400 ppm.

Voor een gezond binnenmilieu is het, buiten goede ventilatie, ook belangrijk om lokalen te voorzien van spui-ventilatievoorzieningen. In de zomer is het belangrijk om een raam open te kunnen zetten om zo passief te koelen. Het Programma van Eisen geeft daarom eisen met betrekking tot functionaliteit en capaciteit van spui-ventilatievoorzieningen.

Het Programma van Eisen stelt eisen aan de kwaliteit van de lucht waarmee de lokalen worden geventileerd, de beïnvloeding van de ventilatie per ruimte, de vrije hoogte in de lokalen en de toe te passen bouwmaterialen in een ruimte.

Tijdens het ontwerp en gebruik van een gebouw dient rekening gehouden te worden met de negatieve invloed van apparatuur op de luchtkwaliteit en schoonmaakbewust ontwerpen. Een schoon gebouw is namelijk belangrijk voor gezonde lucht. Het is belangrijk om te zorgen dat de school en het schoolplein vrijgehouden worden van tabaksrook. Verder geeft het Programma van Eisen richtlijnen voor het voorkomen van vieze luchten van toiletten, het vereenvoudigen van het schoonmaken van toiletten, het voorkomen van legionella op scholen en hoe om te gaan met asbest bij verbouwplannen.

4.4 Thermisch binnenklimaat

Bij Thermisch comfort wordt onderscheid gemaakt tussen passieve koeling en actieve mechanische koeling. Onder passieve koeling verstaat men het koelen door het openen van een raam of activering van bouwmassa zoals vloerkoeling of betonkernactivering.

Bij het toepassen van passieve koeling gelden adaptieve temperatureisen, bij adaptieve temperatureisen lopen de geëiste binnentemperaturen parallel op met de buitentemperatuur. De adaptieve eisen kunnen in de volgende situaties worden toegepast, wanneer:

- Er voldoende ramen open kunnen;
- Gebruikers de mogelijkheid hebben om hun kleding aan te passen op de binnentemperatuur;
- Er geen gebruik gemaakt wordt van mechanische koeling.

Actieve koeling is koeling met behulp van lucht bedoeld, zoals mechanische ventilatieroosters in het plafond.

Thermisch comfort is iets persoonlijks, ieder persoon heeft een mening over de temperatuur. Om klachten te voorkomen is individuele beïnvloeding per ruimte van de temperatuur belangrijk.

4.5 Visueel comfort

Visueel comfort is het comfort van licht in een ruimte. Licht wordt onderscheiden in twee groepen, namelijk: kunstlicht en daglicht. Visueel comfort wordt niet alleen bepaald door de juiste lichtsterkte maar ook door de gelijkmatigheid, verblinding en de lichtkleur.

Daglicht en uitzicht zijn van groot belang voor een comfortabele werkomgeving, het kan ook leiden tot besparing van energie. De eisen omtrent daglicht worden uitgedrukt in een daglichtfactor, een daglichtfactor is een verhouding tussen licht buiten en licht op een bepaald punt binnen.

Bij het formuleren van de eisen betreffende visueel comfort is het uitgangspunt bij een verlichtingssterkte buiten van 10.000 lux er geen kunstlicht noodzakelijk is. 10.000 lux is vergelijkbaar met een bewolkte dag buiten. Het Programma van Eisen eist per klasse een daglichtfactor, een daglichtfactor van drie procent betekent een gemiddelde verlichtingssterkte binnen van 300 lux.

Het Programma van Eisen stelt eisen aan zonwering die per ruimte bedient kan worden om klachten over visueel comfort te voorkomen.

4.6 Akoestisch comfort

Betreft geluid worden er in het Programma van Eisen Frisse Scholen eisen gesteld aan het geluid van installaties in het gebouw, de ruimte-akoestiek, de luchtgeluidisolatie en contactgeluid. In de verschillende klassen worden eisen gesteld aan het resulterende geluidsniveau van installaties in groepsruimtes. De nagalmtijd in een ruimte bepaalt de akoestiek van een ruimte daarom stelt het Programma van Eisen eisen aan de nagalmtijd in de groepsruimten.

Luchtgeluidisolatie heeft te maken met de ruimte die waarneembaar is in een naastgelegen ruimte. Het Programma van Eisen stelt hier eisen aan voor groepsruimten en kantoren waar niet versterkt wordt gesproken. De eisen gelden niet voor bijvoorbeeld muzieklokalen. Om te voldoen aan de eisen met betrekking tot contactgeluid dient men rekening te houden met de constructie en detaillering.

5 Renovatie naar Klasse A – Programma van Eisen Frisse Scholen

Zoals eerder beschreven zal er tijdens het onderzoek naar duurzaam renoveren van Openbare basisschool De Boomhut, voornamelijk rekening gehouden worden met de eisen die gesteld worden binnen het thema energie.

Het uitgangspunt is om binnen het thema energie op alle aspecten 'Klasse A – zeer goed' te scoren. Tijdens het onderzoek zal blijken of dit haalbaar is. Indien het niet haalbaar is om Klasse A te scoren zal toegelicht waarom niet. Een reden zou kunnen zijn dat het een renovatie betreft.

Hieronder zullen de eisen, waarmee rekening gehouden dient te worden tijdens het onderzoek, beknopt beschreven worden. Hoe wordt voldaan aan de verschillende eisen wordt in paragraaf 5.1 tot en met 5.6 beschreven worden waarin onderbouwde keuzes worden gemaakt om aan de gestelde eisen te voldoen.

Isolatie van de schil

- De gevel, de begane grondvloer en het dak hebben een R_c -waarde van minimaal 5,0 m^2K/W ;
- De beglazing heeft een U-waarde (warmtegeleiding) van maximaal 1,2 W/m^2K (HR++).

Energiezuinige ventilatie

- Bij gebalanceerde ventilatie dient warmteterugwinning met een rendement van minimaal 90% toegepast te worden.

Regeling ventilatie

- Er wordt volledige variabele volumeventilatie toegepast met traploos regelbare gelijkstroomventilatie-toren. De regeling is CO_2 -gestuurd.

Energiezuinige verwarming afgifte

- Het verwarmingssysteem heeft een aanvoertemperatuur van maximaal 35°C.

Energiezuinige verwarming opwekking en distributie

- Voor de opwekking van warmte dient gebruik gemaakt te worden van restwarmte en/of duurzame energie;
- CV-leidingen die niet door een verblijfsruimte lopen, zijn geïsoleerd.

Regeling verwarming

- De verwarming is voorzien van weersafhankelijke voorregeling van de aanvoertemperatuur;
- De verwarming kan per ruimte worden nageregeld;
- De naregeling bestaat minimaal uit thermostatische radiator-kranen.

Energiezuinige koeling

- De gebouwkoeling dient gebaseerd te zijn op een warmte-koude opslagsysteem;
- Op alle gevels behoudens de noordgevel dient buitenzonwering aanwezig te zijn;
- De productie van 'interne warmte' is maximaal 15W/ m^2 .

Energiezuinige verlichting

- In alle verblijfsruimte is aanwezigheidsdetectie. In de groepsruimten kan deze worden overruled;
- De verlichting is dimbaar.

Energieprestatie

- De Energieprestatiecoëfficiënt is minimaal 50% lager dan vereist volgens Bouwbesluit;
- Tref voorzieningen die energiebeheer mogelijk maken.

5.1 Isolatie van de schil

Het Programma van Eisen stelt als eis aan de isolatie van de schil dat de gevel, de vloer en het dak een R_c -waarde van minimaal 5,0 m^2K/W hebben. Er is een rapport opgesteld over de mogelijkheden voor het beperken van energieverbruik door het verbeteren van de isolatiewaarden (zie bijlage 2).

Na het onderzoeken van de verschillende mogelijkheden worden in dit hoofdstuk de keuzes gemaakt en onderbouwt op basis van verschillende beoordelingscriteria.

De uitkomsten uit de R_c -berekeningen (zie bijlage 1) zijn in de onderstaande vergeleken met de eisen uit het Programma van Eisen.

Onderdeel	Huidige R_c -waarde	Eis PvE klasse A	Vershil
Gevel (uitbreiding entree)	4,2 m^2K/W	5,0 m^2K/W	0,8 m^2K/W
Gevel (oorspronkelijke gevel)	0,6 m^2K/W	5,0 m^2K/W	4,4 m^2K/W
Vloer (begane grond)	0,3 m^2K/W	5,0 m^2K/W	4,7 m^2K/W
Vloer (kelder)	2,5 m^2K/W	Geen eis	
Dak	3,0 m^2K/W	5,0 m^2K/W	2,0 m^2K/W

Tabel 1 - Vergelijking huidige R_c -waarden met eis PvE Frisse Scholen

Het Programma van Eisen stelt ook eisen aan de U-waarde van de beglazing, namelijk maximaal 1,2 $W/(m^2.K)$. In de onderstaande tabel een vergelijking tussen de eis en de U-waarde in de huidige situatie.

Onderdeel	Huidige U-waarde	Eis frisse scholen klasse A	Vershil
Beglazing (dubbel glas)	2,8 $W/(m^2.K)$	1,2 $W/(m^2.K)$	1,6 $W/(m^2.K)$

Tabel 2 - Vergelijking huidige U-waarde met eis PvE Frisse Scholen

5.1.1 Vloer

In **bijlage 2.2** zijn de volgende toepassingen vergeleken voor het isoleren van de begane grondvloer ter plaatse van de kruipruimte:

- Thermokussens;
- Drowa chips;
- Isoschelpen;
- Belbeton;
- PS-renovatievloer.

Na vergelijking van bovenstaande toepassingen is gekozen voor het toepassen van Drowa chips voor het isoleren van de begane grondvloer te plaatse van de kruipruimte. De Drowa chips voldoen aan de eis van $5,0 \text{ m}^2\text{k/W}$, is goedkoper dan de overige toepassingen en scoort goed op de eigenschappen milieuvriendelijkheid en vochtgedrag.

De begane grondvloer wordt ter plaatse van de kelder geïsoleerd met een metal-stud plafond. De keldervloer heeft een isolatiewaarde van $2,5 \text{ m}^2\text{k/W}$, door de begane grondvloer te isoleren met het metal-stud plafond wordt er voldaan aan de eis van het Programma van Eisen Frisse Scholen.

5.1.2 Spouwmuur

In **bijlage 2.3** zijn de volgende toepassingen vergeleken voor het isoleren van de spouwmuur ter plaatse van de oorspronkelijke gevel:

- Knauf Supafil;
- Zilver Parel HR++;
- Polyurethaan.

Na vergelijking van bovenstaande toepassingen is gekozen voor het toepassen van Knauf Supafil voor isoleren van de begane grondvloer te plaatse van de oorspronkelijke gevels. Knauf Supafill heeft de hoogste isolatiewaarde, is goedkoper dan de overige toepassingen en scoort goed op de eigenschappen milieuvriendelijkheid, geluidisolatie, brandveiligheid en levensduur.

5.1.3 Oorspronkelijke gevel

In **bijlage 2.4** zijn de volgende toepassingen vergeleken voor het isoleren van de oorspronkelijke gevels, dit zijn gemetselde spouwmuren:

- Afwerken met pleisterwerk;
- Voorzetwand binnenzijde plaatsten;
- Voorzetgevel plaatsten.

Na vergelijking van bovenstaande toepassingen is gekozen voor het toepassen van buitengevelisolatie die wordt afgewerkt met pleisterwerk ter plaatse van de oorspronkelijke gevels. Deze toepassing voldoet qua isolatiewaarde, is iets duurder dan het plaatsen van een voorzetwand aan de binnenzijde maar scoort in de totaalscore beter omdat het gevelbeeld bij deze toepassing veranderd. Dit heeft de voorkeur omdat de gemetselde gevel een verouderde uitstraling geeft aan het gebouw.

Er wordt aan de buitenzijde van de gevel 100 mm polystyreen hardschuim isolatie bevestigd, deze wordt afgewerkt met een wapeningslaag, hechtmortel en siliconenpleisterwerk.

5.1.4 Gevel entree

In **bijlage 2.4** zijn de volgende toepassingen vergeleken voor het isoleren van de gevels van de entrees die in 2004 gebouwd zijn:

- Afwerken met pleisterwerk;
- Voorzetwand binnenzijde plaatsten;
- Voorzetgevel plaatsten.

Na vergelijking van bovenstaande toepassingen is gekozen voor het plaatsen van een voorzetwand aan de binnenzijde ter plaatse van de entrees. Deze toepassing is goedkoper dan de overige toepassingen, het gevelbeeld veranderd niet en de toepassing heeft een lange levensduur.

Er worden metal-studprofielen aan de binnenzijde van de buitenmuur bevestigd, hiertussen wordt glaswol geplaatst en dit wordt afgewerkt met gipsplaten.

5.1.5 Dak

In **bijlage 2.5** zijn de verschillende mogelijkheden voor het na isoleren van een plat dak beschreven, namelijk:

- Een warm dak;
- Een koud dak;
- Een omgekeerd dak.

In de situatie van De Boomhut betreft het stalen dakplaten die aan de bovenzijde geïsoleerd zijn en afgewerkt met een bitumineuze dakbedekking. Zoals beschreven in de bijlage is een koud dak geen opties vanwege de kans op vochtproblemen, een omgekeerd dak is geen optie omdat de stalen dakconstructie dan aangepast dient te worden omdat het gewicht flink zal toenemen. Voor het na isoleren van De Boomhut is gekozen voor een warm dak.

Bovenop de huidige dakbedekking zal een Polytop 2400 isolatieplaat van isobouw aangebracht worden, dit is een isolatieplaat die speciaal is ontwikkeld voor het renoveren van een dak. Deze isolatieplaat wordt afgewerkt met een EPDM dakbedekking.

5.1.6 Glas

In **bijlage 2.6** zijn twee glastypes vergeleken die voldoen aan de eis uit het Programma van Eisen Frisse Scholen, namelijk:

- HR++ glas
- Drielaags glas

In de huidige situatie is dubbelglas toegepast bij De Boomhut, dubbelglas heeft een U-waarde van 2,8 W/m²K. Vanuit het Programma van Eisen Frisse Scholen stelt als eis dat de U-waarde maximaal 1,2 W/m²K, hieraan voldoen HR++ glas en Drielaags glas zoals beschreven in de bijlage.

Er is gekozen om het dubbelglas te vervangen voor HR++ glas, dit voldoet namelijk aan de eis en is veel goedkoper dan 3 laags glas.

5.2 Ventilatie

Een eis vanuit het Programma van Eisen is het toepassen van een gebalanceerd ventilatiesysteem met minimaal 90 procent warmteterugwinning. Een gebalanceerd ventilatiesysteem zorgt ervoor dat de lucht in een ruimte continu ververst wordt, de hoeveelheid lucht die wordt afgezogen wordt ook ingeblazen. De lucht die gebruikt wordt is al op de gewenste temperatuur gebracht voordat deze de ruimte ingeblazen wordt.

Wanneer warmteterugwinning wordt toegepast bij een ventilatiesysteem houdt dat in dat de warmte uit de lucht die wordt afgevoerd wordt gebruikt om de schone lucht te verwarmen. Er wordt een warmtewisselaar gebruikt om alleen de warmte over te brengen en niet de vuile lucht.

De kosten van het ventilatiesysteem zijn berekend op basis van kengetallen van bouwkostenkompas.nl (IGG Bointon de Groot BV, 2013). Bouwkostenkompas.nl geeft kostenkengetallen voor installaties in gebouwen. In het hoofdstuk utiliteitsbouw – onderwijsfunctie is een tabel weergegeven voor basisscholen, de uitgangspunten die zijn gebruikt komen goed overeen met de eigenschappen van basisschool De Boomhut.

Voor de klimaatinstallatie in een basisschool dient voor een basispakket van 91 euro per vierkante meter gerekend te worden. Een basispakket betekend een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning. Verder is er nog een meerprijs opgenomen van 86 euro per vierkante meter voor CO₂-gestuurd gestuurde ventilatie en regeling van het klimaat per ruimte.

Tevens wordt geëist dat er volledige variabele volumeventilatie toegepast wordt met traploos regelbare gelijkstroomventilatoren, de regeling dient CO₂-gestuurd te zijn. Een variabel volumeventilatiesysteem is een systeem dat de temperatuur regelt door gekoelde of verwarmde lucht in de ruimte te blazen.

De kosten voor de regeling van de ventilatie vallen onder de kosten van de klimaatinstallatie.

5.3 Verwarming

Er dient gebruik gemaakt te worden van restwarmte en/of duurzame energie voor de verwarming voor de koeling van het gebouw wordt als eis gesteld dat deze gebaseerd moet zijn op Warmte Koude Opslagsysteem(WKO). De twee varianten waaruit gekozen kan worden is de WKO-systeem of een Bodemwarmtewisselaar (BWW). WKO is een open systeem waar grondwater wordt rondgepompt waar warmte/koude aan wordt onttrokken. Een BWW is een gesloten systeem wat kleinschalig toegepast kan worden.

Er wordt gekozen voor het toepassen van een BWW-systeem, de terugverdientijd ligt namelijk lager dan bij een WKO. Een WKO is bij grotere projecten rendabeler dan een BWW. De kosten voor een BWW-systeem voor Openbare basisschool De Boomhut bedragen 44.000 euro. Het BWW-systeem zorgt, in combinatie met de warmtepomp, voor warme lucht. Met deze warme lucht wordt via het gebalanceerde ventilatiesysteem de school verwarmd. De temperatuur dient per ruimte geregeld te kunnen worden.

Het verwarmingssysteem dient een aanvoertemperatuur te hebben van maximaal 35°C. Door het gebruik van het BWW-systeem komt de aanvoertemperatuur niet boven de gestelde 35°C uit.

De kosten voor een BWW-systeem zijn 44.000 euro (zie bijlage 3.3), een warmtepomp kost 3.898 euro en de overige kosten voor het systeem vallen onder de kosten voor het klimaatsysteem.

5.4 Koeling

Het Programma van Eisen stelt als eis dat de koeling van het gebouw is gebaseerd op een WKO-systeem. Voor de koeling wordt tevens gebruik gemaakt van het BWW-systeem zoals beschreven in paragraaf 5.3.

Voor de koeling van het gebouw stelt het Programma van Eisen als eis dat op alle gevels behoudens de noordgevel zonwering toegepast dient te worden. Voor De Boomhut wordt gekozen voor buitenzonwering, buitenzonwering namelijk effectiever omdat het de warmte buiten houdt. Voor een school zijn twee type zonweringen gangbaar, namelijk een uitvalscherm, dit scherm valt diagonaal naar beneden. Een andere optie is een screen, dit is een scherm dat horizontaal langs de raam naar beneden gaat. Wij kiezen voor het toepassen van screens omdat deze het meeste zonlicht tegen houden namelijk 70% tot 80% en het meest duurzaam zijn.

De kosten voor de koeling staan beschreven in paragraaf 5.3. De kosten voor het aanbrengen van nieuwe zonwering kost 175 euro per vierkante meter raamopening, dit komt neer op een totaal van 104.076 euro.

5.5 Verlichting

Om te voldoen aan Klasse A van het Programma van Eisen Frisse Scholen dient de verlichting aangepast te worden. Als eis wordt gesteld dat in iedere ruimte aanwezigheidsdetectie aanwezig is. Ook dient de verlichting dimbaar zijn zodat de verlichting aangepast kan worden op het daglicht.

Zoals beschreven in paragraaf '5.6 Energieprestatie' is het noodzakelijk om LED verlichting toe te passen om te voldoen aan de EPC-eis. Voor de kosten van het vervangen van de huidige verlichting is contact opgenomen met Lumeco light solutions. Lumeco light solutions. Zij adviseerde dat er voor scholen gerekend dient te worden op één armatuur per zeven vierkante meter de kosten van een armatuur zijn ongeveer 200 euro, de kosten voor aanwezigheidsdetectie zijn 250 euro per ruimte. De armaturen kunnen in het bestaande systeemplafond worden bevestigd, de huidige ruimten waar verlichting is geplaatst kan worden opgevuld met nieuwe systeemplafondplaten. De totale kosten voor het vervangen van de verlichting zijn 64.250 euro.

5.6 Energieprestatie

In het Programma van Eisen wordt een eis gesteld aan de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) van het gebouw. De eis is als volgt geformuleerd:

‘De energieprestatiecoëfficiënt is minimaal 50% lager dan vereist volgens Bouwbesluit.’

Het bouwbesluit stelt als eis voor een onderwijsfunctie een EPC van 1,3, dat betekent dat de EPC van De Boomhut maximaal 0,65 mag zijn. De EPC geeft de energetische efficiëntie van een gebouw weer. Het energieverbruik van een gebouw wordt bepaald door de isolatiewaarden van de schil, de toegepaste installaties en de eventuele opbrengsten uit duurzame opweksystemen.

De eerste stap naar een lage EPC is het aanpakken van de schil van het gebouw. Het warmteverlies van een gebouw beperken is een belangrijk onderdeel van de EPC-berekening. Het toepassen van energiezuinige installaties is ook van belang bij het behalen van een lage EPC.

De EPC berekening is gemaakt met het programma Uniec 2.0 van het Agentschap NL. De opbouw van het gehele gebouw is er in verwerkt, evenals de installaties die vereist zijn vanuit het Programma van Eisen Frisse Scholen. De benodigde aanpassingen ten aanzien van het Programma van Eisen Frisse Scholen zijn te lezen in de onderstaande paragrafen.

De EPC-berekening van Openbare basisschool De Boomhut (zie bijlage 4) voldoet na enkele aanpassingen aan de eis van 0,65. Na het invoeren van de gegevens zoals geëist vanuit het Programma van Eisen kwam de EPC-waarde uit op 1,06. Er werd voldaan aan de eis vanuit het bouwbesluit. Om te voldoen aan de eis van 0,65 diende aanpassingen gedaan te worden. De keuzes waren: het verbeteren van de isolatiewaarden van de gevels, de installaties verbeteren, of het toepassen van duurzame opweksystemen. Omdat de isolatiewaarden en installaties al optimaal uitgevoerd zijn is er gekozen voor het toepassen van duurzame opweksystemen om de EPC-waarde naar beneden te brengen. Verder is gekozen om LED verlichting toe te passen in de school, ook dit heeft een positief effect op de EPC.

Er is gekozen voor het toepassen van zonnepanelen om de EPC-waarde naar beneden brengen. In paragraaf 6.3 ‘Keuze duurzame opweksystemen’ staat beschreven welke opweksystemen er mogelijk zijn. De reden dat er tijdens de renovatie is gekozen voor zonnepanelen is, omdat dit op kleine schaal toegepast kan worden waardoor de exacte hoeveelheid bepaald kan worden voor het behalen van de EPC-eis. Een leverancier van zonnepanelen heeft een inschatting gemaakt van het dakoppervlak dat gebruikt kan worden voor zonnepanelen. Zonnepanneelaanbieders.nl bracht een adviesrapport uit (zie bijlage 3.1) waarin 38 ‘Suntech STP250-20Wd zonnepanelen’ geadviseerd worden, de panelen nemen een oppervlak van 68 m² in beslag nemen. De verwachte opbrengst van de van zonnepanelen is 8270 kWh en de kosten liggen tussen de € 17.418, - en € 19.252, - incl. BTW.

De terugverdientijd van de zonnepanelen ligt tussen de acht en negen jaar. Het toepassen van zonnepanelen zorgt dat de EPC-waarde daalt naar 0,65. Hiermee is de eis van het Programma van Eisen exact behaald.

5.7 Begroting renovatie

In de paragrafen 5.1 tot en met 5.6 staat beschreven welke keuzes zijn gemaakt om te voldoen aan Klasse A binnen het thema energie van het Programma van Eisen Frisse Scholen. In de begroting (zie bijlage 5) wordt een duidelijk overzicht gegeven van de investeringskosten. De begroting is als volgt opgebouwd:

- Isolatie toepassingen;
- Installaties;
- Duurzame opweksystemen;
- Staartkosten.

Voor de verschillende toepassingen zijn hoeveelhedenstaten opgesteld, deze hoeveelheden zijn vermenigvuldigd met de verzamelde eenheidsprijzen. Voor de klimaatinstallatie zijn kengetallen gebruikt zoals beschreven in paragraaf 5.2 'Ventilatie'. Voor de kosten van de duurzame opweksystemen zijn verschillende leveranciers benaderd, de leveranciers hebben adviesrapporten voor de situatie van De Boomhut opgesteld (zie bijlage 3).

De kosten voor de geveltoepassingen zijn veelal verkregen door contact op te nemen met aannemers en specialisten in het isoleren van gebouwen. Deze hebben ervaring in dit vakgebied en hebben informatie verstrekt over kosten voor het leveren en aanbrengen van de verschillende toepassingen.

Wat echter nog niet in de begroting is opgenomen en waar wel rekening mee moet worden gehouden tijdens de bouw zijn de kosten van diverse sloopwerkzaamheden. Hierbij zijn als voorbeelden te noemen: de huidige beglazing, de radiatoren en huidige installaties. Deze zullen tijdens de renovatie moeten worden gesloopt en er zal rekening mee moeten worden gehouden met de kosten hiervan.

Alle prijzen in de begroting zijn exclusief BTW. Het materiaal, levering en het aanbrengen zit bij de prijzen inbegrepen.

Voor de staartkosten zijn de volgende percentage aangehouden:

- Bouwplaats kosten N.B.
- Uitvoeringskosten 16%

De bouwplaats kosten is een percentage van wat de aannemer over de gehele investeringskosten. De bouwplaats kosten bevatten de volgende voorzieningen:

- Terreinwerk voor het gereedmaken van de bouwplaats.
- Afvalverwerking (containers)
- Nutsvoorzieningen voor de bouw
- Tijdelijke voorzieningen
- Toiletmogelijkheden
- Schoonmaakkosten
- Steigerwerk
- Eventuele precariokosten

De bouwplaats kosten worden bepaald door de aannemer die dit werk gaat uitvoeren. De kosten hiervoor zijn in deze fase van de renovatie moeilijk te bepalen. Een aannemer is hier in gespecialiseerd en kan hier een duidelijker beeld over geven.

De bedrijfskosten zijn de kosten voor de school voor het inhuren van de architect, aannemer, constructeur en installateurs. Deze bedrijfskosten zijn verkregen dankzij bouwkosten. Dankzij contact met deze partij is er een percentage vastgesteld. In dit percentage vallen de uitvoeringskosten (aannemer) de kosten voor de constructeur en installateur. Voor dit bedrag zal de renovatie uitgevoerd worden.

Totalen:

Investeringssom excl. Staartkosten : € 825.185,39

Uitvoeringskosten : € 132.029,66

Investeringssom excl. BTW : € 957.215,05

De investeringssom van deze renovatie is een bedrag wat als richtlijn gebruikt kan worden. In de realiteit kan dit verschillen door prijsstijgingen/dalingen en door het nog ontbreken van de bouwplaats kosten.

6 Van Klasse A naar Energieneutraal

In het vorige hoofdstuk is beschreven hoe Openbare basisschool De Boomhut duurzaam gerenoveerd kan worden waarbij wordt voldaan, binnen het thema energie, aan Klasse A van de het Programma van Eisen Frisse Scholen. In dit hoofdstuk wordt gekeken welke aanpassingen nog gedaan moeten worden om De Boomhut energieneutraal te maken.

6.1 Wat is energieneutraal bouwen?

Energieneutraal bouwen is de toekomst, de Europese richtlijn stelt als eis dat alle nieuwe gebouwen na 31 december 2020 energieneutraal moeten zijn. Voor overheidsgebouwen geldt deze regel vanaf 2018. 'Energieneutraal bouwen' is een begrip van de laatste tijd en nog in ontwikkeling waardoor er nog geen duidelijke definitie is. In het Infoblad 'Energieneutraal bouwen, definitie en ambitie' (Agentschap NL, 2013) wordt verwezen naar een studie van Platform Energietransitie Gebouwde Omgeving, zij hebben de volgende definitie geformuleerd:

“Een project is energieneutraal als er op jaarbasis geen netto import van fossiele of nucleaire brandstof van buiten de systeemgrens nodig is om het gebouw op te richten, te gebruiken en af te breken. Dit betekent dat het energiegebruik binnen de projectgrens gelijk is aan de hoeveelheid duurzame energie die binnen de projectgrens wordt opgewekt of die op basis van externe maatregelen aan het project mag worden toegerekend. Het energieverbruik dat voortkomt uit de oprichting en sloop van het gebouw wordt verrekend naar een jaarlijkse bijdrage op basis van de verwachte levensduur van het gebouw.”

Op het gebied van comfort, exploitatie en milieu heeft energieneutraal bouwen grote voordelen. Enkele voordelen toegelicht:

- Een gunstige invloed op het imago van het gebouw. Het geeft namelijk het goede voorbeeld naar de buitenwereld;
- Energieneutraal bouwen loopt vooruit op de eisen van de toekomst;
- De waarde van energieneutrale gebouwen blijft langer behouden;
- Energieneutraal bouwen zorgt voor lage energiekosten;
- Energieneutraal bouwen gaat in veel gevallen samen met een hoog comfort, door onder andere goede isolatie, kierdichting, koeling en verlichting.

Door het bepalen van het energieverbruik van De Boomhut wordt duidelijk hoeveel de toe te passen duurzame opweksystemen gezamenlijk op moeten wekken om de school energieneutraal te maken. Vervolgens kan bekeken worden welke opweksystemen toegepast kunnen worden en in welke hoeveelheden.

6.2 Verwacht energieverbruik

Openbare basisschool De Boomhut verbruikt momenteel 35.000 m³ gas en 67.000 kWh elektriciteit per jaar. Gemiddeld verbruikt een basisschool in Nederland 10 m³ gas per m², De Boomhut heeft een gebruiksoppervlak van 2544 m². Het gasverbruik van De Boomhut ligt bijna 10.000 m³ gas hoger dan het gemiddelde in Nederland. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik is 20 kWh per m², dat zou voor De Boomhut neerkomen op ongeveer 51.000 kWh. Het elektriciteitsverbruik van Openbare basisschool De Boomhut ligt echter 16.000 kWh per jaar hoger.

Het energieverbruik van Openbare basisschool De Boomhut ligt tussen de 30 en 40 procent hoger dan het gemiddelde verbruik van basisscholen in Nederland. Wanneer meegenomen wordt dat er op het gemiddelde nog 15-20% bespaard kan worden op gas en 30-40% bespaard kan worden op elektriciteit zijn er veel mogelijkheden om het besparen van energie op Openbare basisschool De Boomhut.

Na de aanpassingen, beschreven in hoofdstuk 5 'Renovatie naar Klasse A – Programma van Eisen Frisse Scholen', is het energieverbruik geminimaliseerd. Na het invullen van de EPC-berekening (zie bijlage 4), zoals beschreven in hoofdstuk 5.6, bepaald het EPC-programma Uniec 2.0 het verwachte energieverbruik van de gebouw gebonden installaties, dat komt neer op 98.027 kWh exclusief de opbrengsten van de zonnepanelen.

Na een inventarisatie van het overige elektriciteitsverbruik is een inschatting gemaakt van het verbruik. Onder het overig elektriciteitsverbruik valt het gebruik van computers, keukenapparatuur en een elektrische boiler. Het overige elektriciteitsverbruik is 20.000 kWh, het totale verwachte elektriciteitsverbruik van Openbare basisschool De Boomhut is 118.027 kWh.

Het elektriciteitsverbruik van de school ligt na de renovatie hoger dan voor de renovatie, dit is logisch te verklaren aangezien het gasverbruik van de school is teruggebracht naar nul. Alle installaties in het gebouw gebruiken na renovatie elektriciteit. De warmte en koude uit de bodem wordt bijvoorbeeld omgezet door een elektrische warmtepomp waar in de oude situatie gas werd gebruikt voor de Cv-ketel. Voor warm water in de pantry op de begane grond wordt een elektrische boiler toegepast.

6.3 Keuze duurzame opweksystemen

In paragraaf 5.6 'Energieprestatie' staat beschreven dat er zonnepanelen worden toegepast om te voldoen aan de EPC-eis gesteld in het Programma van Eisen Frisse Scholen Klasse A. In het rapport 'Duurzame opweksystemen' (zie bijlage 3) worden de verschillende mogelijke opweksystemen beschreven. Voor De Boomhut zal een keuze gemaakt moeten worden uit de opweksystemen om de school Energieneutraal te maken. Uit de inventarisatie van de opweksystemen is een keuze gemaakt welke systemen wel en niet toegepast zullen worden.

6.3.1 Niet toegepaste duurzame opweksystemen

Bio energie, om bio energie op een rendabele manier toe te passen is het belangrijk om de grondstof voor bio energie zelf te kunnen leveren. Wanneer de grondstof namelijk ingekocht moet worden is het verschil tussen de opbrengst en de kosten te klein.

Waterenergie, voor het opwekken van energie uit water is minimaal stromend water in de nabije omgeving van het gebouw nodig. Waterenergie wordt voornamelijk op grote schaal toegepast door elektriciteitscentrales.

6.3.2 Toegepaste duurzame opweksystemen

Aardwarmte, zoals in hoofdstuk 4 en 5 beschreven dient voor de opwekking van warmte gebruik gemaakt te worden van restwarmte of duurzame energie om te voldoen aan Klasse A van het Programma van Eisen Frisse Scholen. Gebouwkoeling, dat ook is geëist vanuit het Programma van Eisen Frisse Scholen, dient gebaseerd te zijn op een Warmtekoelopslag-systeem (WKO-systeem).

Voor De Boomhut is gekozen voor een bodemwarmtewisselaar-systeem, een klein WKO-systeem. Het verschil met een WKO-systeem is dat er bij een WKO-systeem grondwater wordt opgepompt uit de grond, bij een BWW-systeem wordt vloeistof rondgepompt dat verwarmt of gekoeld wordt in de bodem.

In de onderstaande tabel worden de kosten en de terugverdientijd van de WKO-systeem en een BWW systeem vergeleken. Voor een relatief klein project zoals De Boomhut is een BWW-systeem rendabeler (zie bijlage 3.4. en 3.5).

Toepassing	Kosten	Gem. besparing per jaar	Terugverdientijd
Warmte koude opslag	€ 78.000,-	€ 3.200,-	9-13 jaar
Bodemwarmtewisselaar	€ 86.000,-	€ 5.000,-	7-11 jaar

Tabel 3 - Exploitatiekosten aardwarmte-installaties

Zonne-energie, zoals beschreven in paragraaf '5.6 Energieprestatie' is er gekozen voor het toepassen van zonnepanelen om de EPC-waarde naar beneden te brengen. Wanneer er naar een bepaalde EPC-eis toegewerkt moet worden zijn zonnepanelen ideaal. De juiste hoeveelheid zonnepanelen kan gekozen worden voor het behalen van de eis. Om de EPC-eis van 0,65 te behalen, geëist vanuit het Programma van Eisen, is gekozen om 38 zonnepanelen te plaatsen (zie bijlage 3.2). Om De Boomhut energieneutraal te maken kunnen niet alleen zonnepanelen toegepast worden, omdat er te weinig oppervlakte voor is. Er is gekozen voor het toepassen van windturbines om De Boomhut energieneutraal te maken. Er zullen geen zonnepanelen toegepast worden. In onderstaande tabel is te zien wat de investeringskosten zijn voor 38 zonnepanelen

Toepassing	Kosten	Gem. besparing per jaar	Terugverdientijd
38 Zonnepanelen	€ 17.418,00 - € 19.252,00	€ 1902,00	8-9 jaar

Tabel 4 - Exploitatiekosten zonnepanelen en want de besparing is.

Windenergie, de totale energievraag van De Boomhut is ± 118.000 kWh, dit dient volledig opgewekt te door duurzame opweksystemen wanneer men de school energieneutraal wil maken. Er is gekozen om windturbines toe te passen om De Boomhut energieneutraal te maken, namelijk vier windturbines type 12 kW met een gemiddelde opbrengst van 31.500 kWh per jaar (zie bijlage 3.3). Wanneer er vier windturbine op het dak van de school worden geplaatst zal de totale opbrengst 126.000 kWh zijn, dit is ± 8000 kWh meer dan benodigd. Voor de kosten, opbrengsten en het terugverdienmodel van het toepassen van vier windturbines zie paragraaf 6.4 'Terugverdienmodel'.

Bij het toe passen van windturbines dient rekening gehouden te worden met slagschaduw op de gevels van omliggende gebouwen. Daarom is het van belang de windturbines aan de achterzijde van het gebouw te plaatsen om niet tegen problemen aan te lopen tijdens het aanvragen van de bouwvergunning. Slagschaduw is schaduw die veroorzaakt wordt door het draaien van de windturbine wat als hinderlijk kan worden ervaren.

Bij het toe passen van windturbines dient rekening gehouden te worden met slagschaduw op de gevels van omliggende gebouwen. Daarom is het van belang de windturbines aan de achterzijde

van het gebouw te plaatsen om niet tegen problemen aan te lopen tijdens het aanvragen van de bouwvergunning. Slagschaduw is schaduw die veroorzaakt wordt door het draaien van de windturbine wat als hinderlijk kan worden ervaren.

Wat bij het toepassen van windenergie onnauwkeurig is om in te schatten is het rendement. De leverancier van de windturbines heeft via de gemiddelde windsnelheid het rendement bepaald. Echter is de vraag of die gemiddelde windsnelheid op de plek van de school hetzelfde, lager of hoger zal liggen.

Naar aanleiding van een gesprek met expert in windenergie de heer J. Rikken kan er geconcludeerd worden dat de enige manier om dit zeker te weten is om de windsnelheid ten plaatse van de school te meten. Deze windsnelheid zal lange tijd gemeten moeten worden om zo tot een plausibele waarde te kunnen komen. Wegens gebrek aan tijd en technologie is dit niet toegepast in dit onderzoek.

De waarden die gegeven zijn door de leverancier zijn echter niet verwaarloosbaar. Tegen een gemiddelde windsnelheid die volgens de Klimaatatlas van het KNMI ook in Arnhem behaald wordt zal deze turbine 31.500 kWh opbrengen per jaar. Deze uitgangspunten zijn meegenomen in het onderzoek, maar deze waarden zouden kunnen verschillen met de realiteit.

7 Terugverdienmodellen

7.1 Terugverdienmodel Renovatie naar Klasse A PvE Frisse Scholen

In het terugverdienmodel Renovatie naar Klasse A PvE Frisse Scholen (zie bijlage 6.1) worden de volgende twee situaties met elkaar vergeleken;

- De Huidige situatie, een basisschool met een hoog energieverbruik, waar 35.000 m³ gas en 67.000 kWh elektriciteit per jaar verbruikt wordt;
- De situatie na de renovatie, waarbij een deel van het energieverbruik wordt opgewekt door zonnepanelen, waar het resterende energieverbruik 118.000 kWh per jaar is.

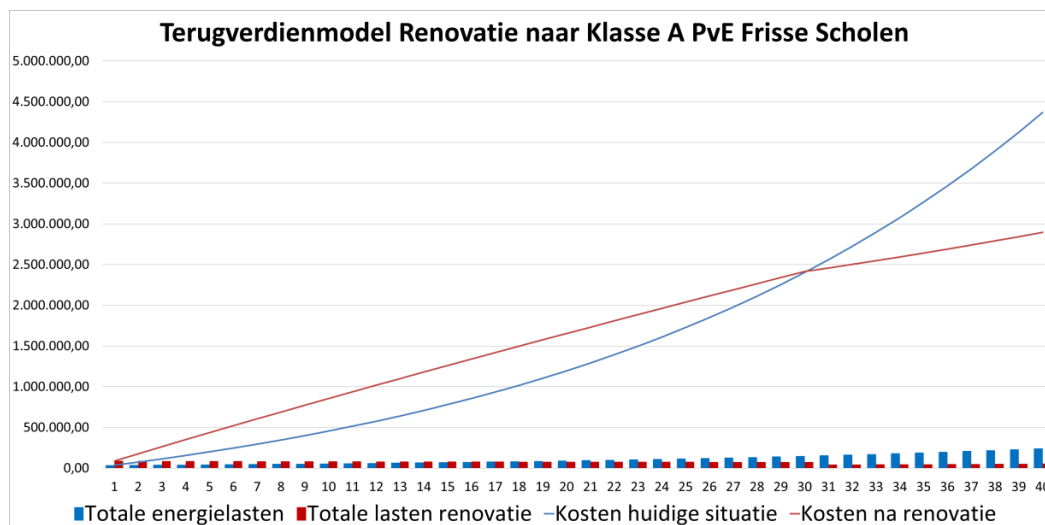
7.1.1 Uitgangspunten

- Prijs elektriciteit: € 0,17 per kWh (=huidige prijs OBS De Boomhut);
- Prijs gas: € 0,70 per m³ (=huidige prijs OBS De Boomhut);
- Totale investering renovatie: € 957.215,05 excl. BTW
- Verwachting stijging van de energiekosten per jaar, 5%;
- Afschrijvingsperiode lening: 30 jaar (lineaire afschrijving);
- Rentepercentage lening, 3,75%.

7.1.2 Resultaten

- Het terugverdienmoment ligt tussen jaar 30 en 31;
- De totale energielasten na 40 jaar in huidige situatie; € 4.366.259,52;
- De totale lasten na 40 jaar na renovatie (incl. investering); € 2.896.231,12;
- Verschil in lasten tussen huidige situatie en na renovatie na 40 jaar; € 1.470.028,40.

In het onderstaande terugverdienmodel zijn geen onderhoudskosten meegenomen. De jaarlijkse onderhoudskosten zijn in de huidige situatie en de situatie na de renovatie ongeveer gelijk, het betreft namelijk het zelfde gebouw met gelijke oppervlaktes. Echter wordt er door de renovatie bespaard op de grootonderhoud posten er is onvoldoende inzicht in de huidige staat van het onderhoud om daar redelijk aannames in te doen. Wanneer de onderhoudskosten mee worden genomen heeft dit een positieve uitwerking op de terugverdientijd, deze zal namelijk korter worden dan de huidige 30 jaar.



Grafiek 1 –Terugverdienmodel Renovatie naar Klasse A PvE Frisse Scholen

7.2 Terugverdienmodel Energieneutraal maken van OBS De Boomhut

In het terugverdienmodel Energieneutraal maken van OBS De Boomhut (zie bijlage 6.2) worden de volgende twee situaties met elkaar vergeleken;

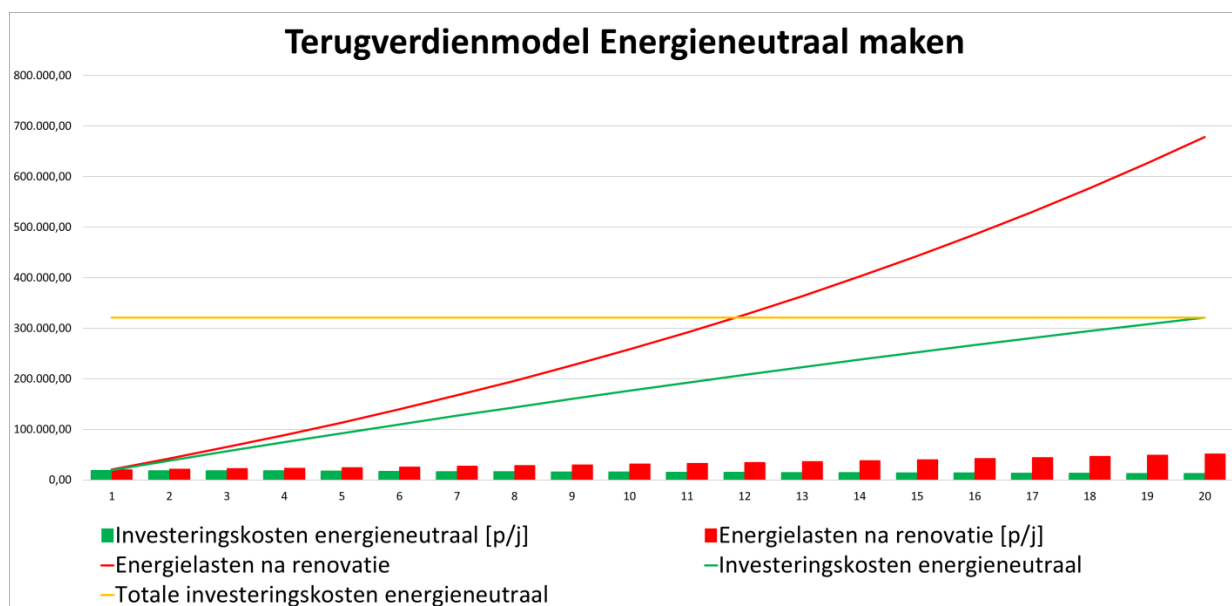
- De situatie na de renovatie, waarbij een deel van het energieverbruik wordt opgewekt door zonnepanelen, waar het resterende energieverbruik 118.000 kWh is;
- De situatie na de renovatie waarbij er in plaats van zonnepanelen windturbines toegepast worden, hierbij wordt de totale energievraag zelf opgewekt.

Voor het opstellen van het terugverdienmodel zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- Verwacht energieverbruik van de school 118.027 kWh;
- Prijs per kWh € 0,17 (dit is het bedrag wat De Boomhut momenteel betaald);
- Prijs voor het terug leveren van energie, € 0,07;
- Verwachting stijging van de energiekosten per jaar, 5%;
- Aantal toegepaste windturbines, 4;
- Investeringskosten per windturbine, € 48.000, -
- Onderhoudskosten per windturbine per jaar; € 700, -;
- Exploitatieperiode: 20 jaar, de windturbines hebben namelijk een gemiddelde levensduur van 20 jaar (lineaire afschrijving);
- Rentepercentage lening, 3,75%.

De volgende resultaten zijn uit het terugverdienmodel gekomen:

- Het terugverdienmoment ligt tussen jaar 11 en 12;
- De totale kosten voor de windturbines na 20 jaar, € 320.670,60;
- De totale energielasten na 20 jaar; € 678.284,98;
- De totale opbrengsten na 20 jaar; € 357.614,38.



Grafiek 2 – Terugverdienmodel Energieneutraal maken

8 Conclusie en discussie

In dit hoofdstuk worden de deelvragen en de hoofdvraag beantwoord aan de hand de resultaten uit het onderzoek. De antwoorden op de deelvragen leiden uiteindelijk naar beantwoording van de hoofdvraag. Na het beantwoorden van de hoofdvraag wordt in paragraaf 7.5 'Discussie' kort gereflecteerd worden op de resultaten van het onderzoek.

8.1 Gebouwanalyse

'Wat is de oorzaak van de hoge energiekosten van Openbare basisschool De Boomhut?'

Zoals in de literatuurstudie staat beschreven verbruikt een basisschool in Nederland gemiddeld 10 m³ gas en 20 kWh per m² per jaar. De Boomhut verbruikt 13,75 m³ gas en 26,34 kWh per m² per jaar. Er is een gebouwanalyse gemaakt om de oorzaak van de hoge energiekosten vast te stellen.

Uit de gebouwanalyse blijkt dat een groot deel van de isolatiewaarden van De Boomhut niet voldoen aan de eisen van deze tijd. Daardoor is er veel warmteverlies. In de onderstaande tabel zijn de isolatiewaarden van de verschillende onderdelen van de schil terug te vinden (voor berekeningen zie bijlage 1).

Onderdeel	R _c -waarde
Gevel hoofdentree	4,2 m ² K/W
Gevel oorspronkelijk deel	0,6 m ² K/W
Keldervloer	2,5 m ² K/W
Begane grondvloer	0,3 m ² K/W
Dak	3,0 m ² K/W

Tabel 5 – R_c-waarden huidige situatie

Een R_c-waarde van 3,5 m²K/W is tegenwoordig zeer gangbaar, het verbeteren van de isolatiewaarden is een belangrijke stap bij het duurzame renoveren van De Boomhut.

8.2 Renovatie naar Klasse A Programma van Eisen Frisse Scholen

'Welke aanpassingen dienen gedaan te worden om te voldoen aan klasse A van het thema energie in het 'Programma van Eisen Frisse Scholen'?''

Tijdens het onderzoek is het Programma van Eisen Frisse Scholen het uitgangspunt geweest voor de aanpassingen die geadviseerd worden voor de renovatie. Eerst is het Programma van Eisen geanalyseerd om vervolgens te bepalen welke aanpassingen gedaan dienen te worden om binnen het thema energie te voldoen aan Klasse A.

In hoofdstuk 5 'Renovatie naar Klasse A – Programma van Eis Frisse Scholen' staan de aanpassingen uitgebreid beschreven. Hieronder een opsomming van de belangrijkste aanpassingen:

- **Isolatie**, de isolatiewaarden van de schil worden verhoogd naar een R_c-waarde van minimaal 5,0 m²K/W. In hoofdstuk 7.1 'Isolatie van de schil' is te lezen welke aanpassingen worden gedaan om deze eis te halen;
- **Ventilatie**, er dient een gebalanceerd ventilatiesysteem toegepast te worden met 90% warmteterugwinning. Verder dient er volledige variabele volumeventilatie toegepast te

worden met traploos regelbare gelijkstroomventilatoren, de regeling dient CO₂-gestuurd te zijn;

- **Luchtverwarming en koeling**, met behulp van een bodemwarmtewisselaar in de bodem en een warmtepomp zal het gebouw gekoeld en verwarmd worden doormiddel van lucht. De warme of koude lucht wordt via het gebalanceerde ventilatiesysteem mechanisch toe- en afgevoerd;
- **Energiezuinige verlichting**, het Programma van Eisen Frisse Scholen stelt als eis dat de verlichting dimbaar moet zijn, dit wordt toegepast in combinatie met aanwezigheidsdetectie in de lokalen;
- **EPC-eis**, om te voldoen aan de eis die stelt dat de EPC-waarde 50% lager moet liggen dan de eis uit het bouwbesluit worden buiten de bovenstaande aanpassingen 40 zonnepanelen toegepast.

8.2.1 Kosten

‘Wat zijn de kosten die verbonden zijn aan het aanpassen van Openbare basisschool De Boomhut, waarbij wordt voldaan aan klasse A binnen het thema energie in het ‘Programma van Eisen Frisse Scholen’?’

De totale investeringskosten voor de renovatie naar Klasse A binnen het thema energie zijn € 957.215,05 exclusief BTW. Dit is een behoorlijke investering, echter wordt de school gerenoveerd naar de eisen van deze tijd waardoor de levensduur zal stijgen en er zal bespaard worden op onderhoudskosten.

Met de huidige energieprijzen zal ruim 15.000 euro bespaard worden op de energiekosten ten opzichte van de huidige situatie. In de huidige situatie wordt namelijk 35.000 m³ gas en 67.000 kWh elektriciteit per jaar verbruikt. Na de renovatie zal het elektriciteitsverbruik stijgen naar 118.000 kWh maar er zal geen gas meer gebruikt worden waarvan de kosten hoog zijn.

8.2.2 Terugverdientijd

Wanneer wordt uitgegaan van een stijging van 5% van de energieprijzen per jaar wordt de investering van ruim 950.000 euro voor de renovatie is 30 jaar terugverdiend (zie terugverdienmodel bijlage 6.1). Hierbij is het positieve effect op de kosten van het groot onderhoud nog niet meegenomen omdat er niet voldoende inzicht is in de huidige staat van het gebouw. De investering wordt dus binnen 30 jaar terugverdiend, dit is een redelijk termijn voor een dergelijke grote investering.

Wanneer de school gerenoveerd wordt kan de school nog minimaal 30 jaar gebruikt worden. Verder zijn er vele voordelen aan de renovatie zoals het binnenklimaat dat door de aanpassingen aan de schil en aan de installaties veel belachelijker wordt. Dit heeft een positief effect op de leerprestaties van leerlingen. Een ander voordeel is de positieve uitstraling van de school in de omgeving. Wanneer een school bezig is met duurzaamheid kan men hiermee een positief imago opbouwen.

8.3 OBS De Boomhut energieneutraal maken

‘Welke extra investering dient gedaan te worden om de gerenoveerde basisschool energieneutraal te maken?’

De investering die gedaan moeten worden om Openbare basisschool De Boomhut energieneutraal te maken is 192.000 euro, dit zijn de kosten voor vier 12 kW windturbines met een gemiddelde opbrengst van 31.500 kWh per windturbine per jaar. De onderhoudskosten van de windturbines is 2800 euro per jaar.

8.3.1 Terugverdientijd

‘Wat is de terugverdientijd van het energieneutraal renoveren van Openbare basisschool De Boomhut vergeleken met de verwachte stijgende energiekosten in de gerenoveerde fase?’

Om de terugverdientijd van de vier windturbines te bepalen is een terugverdienmodel opgesteld (zie bijlage 6.2). In het terugverdienmodel is het verwachte energieverbruik na de renovatie vergeleken met de investering voor het energieneutraal maken van De Boomhut. Waarbij is meegenomen dat de energiekosten de komende jaren 5% gaan stijgen.

De terugverdientijd van de vier windturbines ligt tussen de 11 en 12 jaar, investeren is daarom interessant omdat de verwachte levensduur van de windturbines 20 jaar is. Echter is het een grote extra investering waardoor ook gekozen kan worden om alleen te renoveren.

8.4 Hoofdvraag

‘Wat zijn de kosten om Openbare basisschool de Boomhut te renoveren waarbij wordt voldaan aan de Klasse A binnen het thema energie van het ‘Programma van Eisen Frisse Scholen’ en is het rendabel om extra te investering in het energieneutraal maken van Openbare basisschool de Boomhut?’

Openbare basisschool De Boomhut kan binnen het thema energie volledig gerenoveerd worden naar Klasse A van het Programma van Eisen Frisse Scholen. De kosten hiervoor bedragen € 957.215,05. Het resultaat is een energiezuinige school met een gezond binnenklimaat. Dit draagt bij aan de leer- en werkprestaties van leraren en leerlingen. De terugverdientijd van deze investering ligt binnen de 30 jaar.

De Boomhut kan energieneutraal gemaakt worden wanneer er € 192.000, - wordt geïnvesteerd in vier windturbines. De windturbines worden terugverdiend tussen jaar 11 en 12. De levensduur van de windturbines is 20 jaar. Er kan geconcludeerd worden dat de investering rendabel is. Uiteindelijk leveren de windturbines na 20 jaar een besparing van ongeveer € 350.000, - op. Hierbij zijn de verwachte stijgende energiekosten meegenomen.

9 Aanbevelingen

De informatie in dit rapport is voor Openbare basisschool De Boomhut een goede basis om te beslissen eventueel duurzaam te gaan renoveren. Voor De Boomhut is onderzocht welke aanpassingen gedaan moeten worden om te voldoen aan Klasse A van het Programma van Eisen Frisse Scholen.

Om te voldoen aan Klasse A dient ruim 950.000 euro geïnvesteerd te worden, de terugverdientijd van deze investering is 30 jaar. Er zijn echter meerdere voordelen te benoemen van deze investering. Wanneer een school bezig is met duurzaamheid heeft het een positieve uitwerking op het imago, de school kan ook aandacht besteden aan duurzaamheid in het onderwijs zoals beschreven in de literatuurstudie (Jansen & Merkus, 2013). De aanpassingen aan de schil en aan de installaties hebben een positief effect op het binnenklimaat van de school, dit heeft als effect dat de prestaties van zowel leerlingen als docent stijgen.

Voor het onderzoek is gekozen voor Klasse A van het Programma van Eisen Frisse Scholen. Het schoolbestuur kan ook de keuze maken om voor Klasse B of C te kiezen. De eisen in deze klassen liggen lager waardoor de investeringskosten ook lager zullen zijn. Hiervoor kan gekozen worden wanneer er bijvoorbeeld niet voldoende budget is voor Klasse A, de energiekosten dalen minder wanneer gekozen wordt voor een lagere Klasse. Een andere optie is om de aanpassingen gefaseerd uit te voeren over een aantal jaren. Iedere aanpassing heeft een positief effect en wanneer alle aanpassingen gedaan zijn kan gesteld worden dat er wordt voldaan aan Klasse A.

Er is een ook variant uitgewerkt om Openbare basisschool De Boomhut Energieneutraal te maken. Er dient dat ongeveer 200.000 euro geïnvesteerd te worden in vier windturbines, deze windturbines zorgen ervoor dat de resterende energievraag na de renovatie zelf opgewekt wordt. De terugverdientijd van de windturbines ligt tussen de 11 en 12 jaar.

Wanneer er budget vrijgemaakt kan worden om te investeren in duurzame opweksystemen is dit zeer rendabel. Er dient een expert ingeschakeld te worden om precies te onderzoeken welke opweksystemen mogelijk zijn om toe te passen bij De Boomhut. Een andere optie is het gehele platte dak van de school te benutten voor zonnepanelen, dit zal echt niet als effect hebben dat De Boomhut energieneutraal is. Het toepassen van duurzame opweksystemen heeft ook een positief effect op het imago van de school.

10 Discussie

Tijdens het onderzoek zijn gegevens gebruikt en aannames gedaan die in werkelijkheid positief of negatief kunnen afwijken. Voor de kosten van de renovatie is bouwkosten.nl gebruikt voor actuele bouwkosten. Verder is er gebruikt gemaakt van kengetallen en zijn er leveranciers benaderd. Wanneer het project uitgevoerd zal worden, zullen andere kosten gehanteerd worden. Toch denken we dat er een goede inschatting is gemaakt van de te verwachte investeringskosten.

Er zijn leveranciers benaderd voor de opbrengst van duurzame opweksystemen. Zij zullen in veel gevallen positieve waarden aanhouden. In het terugverdienmodel is een verwachte stijging van de energiekosten aangehouden van 5%. Er is niemand die kan voorspellen hoe de energieprijzen gaan stijgen. Echter zijn de afgelopen 10 jaar de energiekosten behoorlijk gestegen, op basis van deze stijging is de schatting van 5% bepaald.

De technische aanpassingen zijn niet bouwtechnisch uitgewerkt. Wanneer dit gedaan wordt kan het zijn dat er tegen bepaalde zaken aangelopen wordt. Er is bijvoorbeeld niet volledig uitgezocht hoeveel de benodigde ruimte is voor een klimaatinstallatie, zoals de benodigde hoogte voor luchtkanalen boven het systeemplafond.

In een vervolgonderzoek kan Openbare basisschool De Boomhut verder bouwtechnisch uitgewerkt worden. Hierbij kunnen de overige thema's in het Programma van Eisen Frisse Scholen meegenomen worden. De gegevens uit dit onderzoek zijn hierbij een goede basis.

11 Literatuurlijst

- Agentschap NL. (2012). *Infoblad energieneutrale scholen en kantoren*. Utrecht.
- Agentschap NL. (2013, april 23). *Info over het toepassen van een warmtepomp*. Opgehaald van Website van het Agentschap NL:
<http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/warmtepompen-en-geothermie>
- Agentschap NL. (2013, April 23). *Info over het toepassen van windmolens*. Opgehaald van Agentschap NL: <http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/windenergie-op-land-0>
- Agentschap NL. (2013, April 23). *Info over toepassen van zonnepanelen*. Opgehaald van Website van Agentschap NL: <http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/zonne-energie>
- Agentschap NL. (2013). *Infoblad Energieneutraal bouwen: definitie & ambitie*. Utrecht: Agentschap NL.
- Agentschap NL. (2013). Uniec 2.0. Utrecht, Utrecht, Nederland.
- Bouwkosten. (2013). *Info over actuele bouwkosten*. Opgehaald van Website van Bouwkosten: www.bouwkosten.nl
- Duurzame-energiebronnen. (2013). *Info over duurzame opweksystemen*. Opgehaald van Website van Duurzame-energiebronnen: www.duurzame-energiebronnen.nl
- Energieverbruiker. (2012). *Energieverbruiker*. Opgehaald van Website van Energieverbruik over de verschillende isolatiemogelijkheden: <http://www.energieverbruiker.nl/isolatie.html>
- EVM Glass. (2013). *Info over warmtegeleiding van glas*. Opgehaald van Website van EVM Glass: <http://evmglass.com/driedubbel-glas/>
- Hou het warm. (2012). *Hou het warm*. Opgehaald van Hou het warm, informatie over isolatiemogelijkheden: <http://www.houhetwarm.nl/isolatie/isolatie.html>
- IGG Bointon de Groot BV. (2013). *Kengetallenkompas installaties*.
- Isocomfor B.V. (sd). *Info over vloerisolatie*. Opgehaald van Website van Isocomfor B.V.: <http://isoleer-uw-vloer.nl/kosten.html>
- Jansen, B., & Merkus, J. (2013). *Literatuurstudie - Wat doen basisscholen in Nederland aan de bewustwording van duurzaamheid bij leerlingen*. Arnhem.
- Koenders, M. (2013). *Website over toepassen van een WKO*. Opgehaald van Website van Agentschap NL: www.wkotool.nl
- Kort, E. (2009). *EK bouwadvies*. Opgehaald van Website van EK bouwadvies, onderdeel: vervangen kozijnen: <http://www.ekbouwadvies.nl/bouwbesluit/energiezuinigheid/vervangenkozijnen.asp>
- KPD. (sd). *BouwCalc. Voorcalculatie Windows 6.3*.

Lucas Wind Energy. (2013). *Info over windmolen voor particulieren*. Opgehaald van Website van Lucas Wind Energy: <http://www.lucaswindenergy.nl/index.html>

Milieu Centraal. (sd). *Milieu Centraal*. Opgehaald van Milieu Centraal: isoleren van bodem en vloer: <http://www.milieucentraal.nl>

Ratering Isolaties. (sd). *Info over spouwmuurisolatie*. Opgehaald van Website van Ratering: <http://www.rateringisolaties.nl/userfiles/theorie-spouwmuurisolatie.pdf>

Renovatie totaal. (2012, Februari 20). *Info over de isolatiewaarden van de dakbedekking*. Opgehaald van Website van Renovatie totaal: <http://www.renovatietotaal.nl/artikel/bouwkosten/75/bouwkosten-228/228/>

SME Advies. (2011). *Factsheet energiegegevens basisscholen*. Utrecht.