

Haalbaarheidsstudie energiebesparende maatregelen voor basisschool De Sokkerwei, Castricum

Nulenergie haalbaar en betaalbaar

M.C.C. Lafleur
E. Sjoerdsma
N.C. Sijpheer

Verantwoording

Deze opdracht is uitgevoerd door ECN onder projectnummer 74904 in het kader van het Besluit Subsidies Energieprogramma's van NOVEM. Projectnummer bij NOVEM is 169.124.0027 en het aanvraagnummer aldaar is 19991857.

INHOUD

1.	DOELSTELLING	6
2.	PROJECTBESCHRIJVING	7
3.	UITGANGSPUNTEN VOOR DE REFERENTIESITUATIE	8
3.1	Thermostaat instelling	8
3.2	Ventilatie en infiltratie	9
3.3	Interne warmtelast	9
3.4	Zoninval	9
3.5	Berekend energiegebruik	9
3.5.1	Elektriciteit	10
3.5.2	Ruimteverwarming en koeling voor de referentiesituatie	10
3.5.3	Warm tapwater	11
3.6	Totaal energiegebruik voor de referentiesituatie	11
4	HAALBARE BESPARING OP ENERGIEGEBRUIK	12
4.1	Bouwkundige en installatietechnische maatregelen	12
4.1.1	Verlichten en ventileren	12
4.1.2	Hoog rendement warmteterugwinning uit ventilatielucht	12
4.1.3	Warmtepomp	13
4.1.4	Meet en regeltechniek	14
4.1.5	Overige systemen en installaties	14
4.2	Concept samenstellingen	14
4.2.1	Concept I: Optimale verlichting en ventilatoren	15
4.2.2	Concept II: Optimale verlichting en ventilatoren plus HR warmteterugwinning	15
4.2.3	Concept III: Optimale verlichting, ventilatoren, plus inzet aardwarmte	16
4.2.4	Concept IV: Inzet van een warmtepomp voor warmteterugwinning	16
4.3	Concept keuze	16
5	NAAR NULENERGIE	17
5.1	Zon	17
5.2	Wind	17
5.3	Biomassa	18
5.4	Nulenergie	18
6	CONCLUSIE	20

BIJLAGEN	22
----------	----

BIJLAGE 1: BOUWTEKENING EN ZONE INDELING

BIJLAGE 2: SCHETSEN + TOELICHTING OP INSTALLATIES

BIJLAGE 3: OVERZICHT VAN BEREKENDE RESULTATEN VAN CONCEPTEN

BIJLAGE 4: OVERZICHT VOOR CONCEPT KEUZE GEBASEERD OP

 GLOBALE KOSTENINDICATIE

BIJLAGE 5: UITDRAAI EPN BEREKENING

SAMENVATTING

Voor de Openbare Basisschool 'De Sokkerwei' te Castricum is de bouw van een nieuw schoolgebouw in voorbereiding. De ambitie bestaat voor dit schoolgebouw een netto nulenergie concept te realiseren. Deze studie heeft als doel de uitwerking van dit nul energieconcept in relatie tot de bredere doelstellingen van duurzaam bouwen en duurzaam onderwijs binnen het project.

In de referentiesituatie – waarbij de school wordt gebouwd en van installaties voorzien volgens de huidige normen – zal de jaarlijkse CO₂-emissie die met het energiegebruik in de school samenhangt ca. 24 ton bedragen. Ruimteverwarming, ventilatie en verlichting zijn hierbij de belangrijkste verbruiksposten. Het in deze studie voorgestelde nulenergie concept bestaat uit een combinatie van maatregelen die de energie-efficiency van de verwarming, ventilatie en verlichting verhogen, aangevuld met maatregelen om het restant aan nog benodigde energie met duurzame bronnen op te wekken. Daardoor wordt de genoemde CO₂-emissie tot nul teruggebracht. Het concept omvat de volgende maatregelen:

- Bouwkundig ontwerp waarmee transmissieverliezen zo veel mogelijk zijn vermeden door de gunstige oppervlakte/inhoud verhouding en hoge graad van isolatie ($R_c = 3,8$) en goede benutting van de ingestraalde zonnewarmte en zonlicht.
- Efficiënte armaturen, energiezuinige verlichting, daglichtafhankelijke schakelingen en efficiënte ventilatoren aangedreven door gelijkstroombmotoren, vormen de uitgangspunten voor elektriciteitsbesparing.
- Balansventilatie met hoogrendement warmteterugwinning door een kantelklep systeem.
- Geïntegreerd verwarmings- en ventilatiesysteem waarmee de ingeblazen ventilatielucht per lokaal wordt voorverwarmd door verwarmingselementen. Deze verwarmingselementen worden gevoed met water, opgewarmd door een conventionele gasgestookte ketel met hoog rendement.
- 145 m² zonnecellen voor de duurzame opwekking van de benodigde elektriciteit.
- Een ouderbijdrage van 60 gulden per leerling wordt geïnvesteerd bij een windcoöperatie waarmee de CO₂ uitstoot van de verbranding van aardgas wordt gecompenseerd. Wanneer het kind de school verlaat, wordt de 60 gulden, met dividend, uitgekeerd.

De totale meerkosten voor het realiseren van het concept ten opzichte van de referentiesituatie bedragen ca. 55.000 gulden. Deze meerkosten zijn te financieren uit de besparingen en de genoemde ouderbijdrage, plus een subsidie op de PV-installatie.

Hiermee is een uitvoerbaar concept ontworpen met een hoge nulenergie ambitie, dat geschikt is om nagevolgd te worden. Voorwaarde voor navolging is subsidiering van de PV-installatie. Voorts vergt de realisatie van het concept het uiterste van de architect om binnen een krap budget een hoge graad van isolatie te halen zonder bv. de natuurlijke lichttoetreding te frustreren. De inpassing van een gebalanceerd ventilatiesysteem met HR-warmteterugwinning vraagt veel passen en meten in de zin van ruimte en financiën.

1. DOELSTELLING

Voor de Openbare Basisschool 'De Sokkerwei' te Castricum is de bouw van een nieuw schoolgebouw in voorbereiding. De Sokkerwei wil een duurzame basisschool realiseren: "een school die in een duurzaam schoolgebouw, duurzaam basisonderwijs verzorgt". In februari 1999 is een discussienota 'Duurzame Basisschool' verschenen van de hand van IDEA (International Design and Environmental Activities) waarin de uitgangspunten van het project zijn uitgewerkt vanuit de principes van duurzame ontwikkeling. Voor het schoolgebouw wordt een netto nulenergie concept nagestreefd. Deze studie heeft de uitwerking tot doel van dit nulenergie concept in relatie tot de bredere doelstellingen van duurzaam bouwen en duurzaam onderwijs binnen het project.

Nulenergie moet nader worden toegelicht aangezien aan elke activiteit energie te pas komt. Nulenergie is een begrip waarmee bedoeld wordt dat op jaarbasis het volledige energiegebruik met duurzame energie gedekt wordt. Tekorten in de winter worden aangevuld met overschotten in de zomer. Hierdoor worden door het energiegebruik geen schadelijke emissies gevormd. De gehanteerde gangbare maatstaf daarvoor is dat er geen toename plaats vindt van de CO₂ concentratie in de atmosfeer door het energiegebruik van de school. In feite gaat het om het zo veel mogelijk vermijden van het gebruik van fossiele brandstoffen door efficiënt gebruik van energie, het gebruik maken van duurzame energiebronnen en om het compenseren van de gevolgen van het resterende, zo efficiënt mogelijke, gebruik van fossiele brandstoffen. Compensatie van de CO₂ emissie t.g.v. het gebruik van fossiele brandstoffen kan worden bereikt door het opwekken van een extra hoeveelheid duurzame energie waardoor per saldo de CO₂ balans van de school niet wordt verstoord.

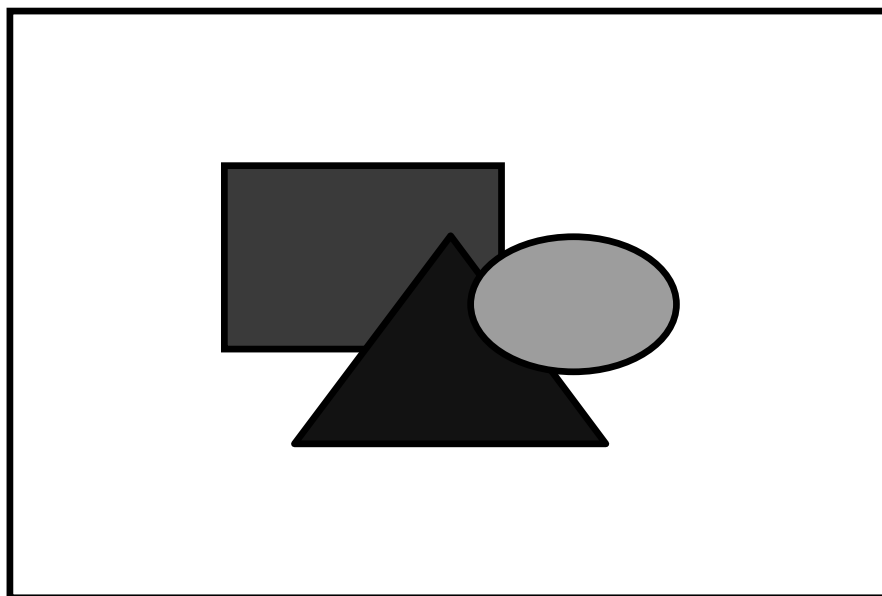
2. PROJECTBESCHRIJVING

In het gebouw waarin de basisschool zal worden gehuisvest zijn ook een dokterspraktijk en een aantal appartementen gepland. De dokterspraktijk bevindt zich op de begane grond in het westelijk deel van het gebouw. De appartementen bevinden zich op de eerste en tweede verdieping van het noordelijk deel van het gebouw. Ook zijn er op iedere verdieping nog twee klaslokalen gesitueerd. In de toekomst bestaat de mogelijkheid dat deze klaslokalen als appartementen dienst gaan doen.

Om installatietechnische en beheersmatige redenen wordt alleen de begane grond van de school beschouwd in deze studie¹. Deze bestaat uit 9 klaslokalen, 1 speellokaal, een ruimte voor naschoolse opvang en de gebruikelijke kantoor- en garderoberuimten. Bijlage 1 toont een plattegrond van het beschouwde deel. Figuur 1 toont een foto van de maquette van het gebouw. Het donkere dak van het lage (zuidelijke) deel van de school is optimaal georiënteerd voor benutting van zonne-energie (fotovoltaïsche cellen / zon thermisch). In het middelste deel van het dak (lage gedeelte) bevindt zich een glazen ring voor extra daglicht toetreding. Het hoge (noordelijke) dakdeel zal worden voorzien van begroeiing. Start van de bouw is gepland omstreeks oktober 2000, oplevering zou in juni volgend jaar plaats moeten vinden. Tabel 1 geeft een overzicht van de gevel, dak en glas aandelen van het beschouwde deel.

Tabel 1: Globale afmetingen van beschouwde gedeelte van het gebouw

Gevel oppervlak exclusief glas	280 m ²
Dak oppervlak exclusief glas	698 m ²
Vloer oppervlak	1567 m ²
Verticaal georiënteerd glas oppervlak (glas in gevel)	242 m ²
Verticaal georiënteerd glas percentage t.o.v. geveloppervlak incl. glas	46 %
Horizontaal georiënteerd glas oppervlak (glas in dak)	109 m ²
Verticaal georiënteerd glas percentage t.o.v. dakoppervlak incl. glas	14 %
Inhoud	5192 m ³



Figuur 1: Foto van de maquette van het Sokkerwei gebouw

¹ Dokterspraktijk en appartementen worden dus niet meegenomen in de berekeningen. Muren die grenzen aan deze ruimten worden verondersteld als interne muren zonder transmissie

3. UITGANGSPUNTEN VOOR DE REFERENTIESITUATIE

De referentiesituatie is gebruikt als uitgangspunt voor het bepalen van de energievraag wanneer gebruik gemaakt wordt van conventionele bouwmethoden. Er worden 2 berekeningen gedaan voor het bepalen van de warmtevraag. Eén om het statische en één om het dynamische warmteverlies te bepalen. Voor de dynamische berekening zijn gegevens zoals aanwezigheid van kinderen en personeel, wisselende meteorologische gegevens en de thermostaat instelling van belang. Effecten veroorzaakt door warmteaccumulerend vermogen van de gebouwmassa kunnen op deze manier worden benaderd. Tabel 2 geeft een globaal overzicht van de gehanteerde Rc-waarden en gebruikte bouwmaterialen. Tabel 3 toont de aannames omtrent aanwezigheid en benodigde luchthoeveelheden voor ventilatie in de verschillende zones. Bijlage 1 toont de indeling van de zones. Voor de ruimteverwarming in de referentiesituatie is gekozen voor een gas gestookte HR-installatie met een rendement van 90%. De isolatiewaarden voor gevels, daken, vloer en beglazing zijn gebaseerd op de eisen die voortkomen uit de minimaal vereiste wettelijke energieprestatie.

Tabel 2: Globale randwaarden voor de referentiesituatie

	<i>Rc-waarde [K.m²/W]</i>	<i>Globale samenstelling</i>
Buitenmuur	3,8	metselwerk/spouw/isolatie (12 cm steenwol) /binnenblad (kalkzandsteen)
Binnenmuur	nvt	(kalkzandsteen)
Dak	3,8	grond/bak/spouw/isolatie/beton
Vloer	3,4	beton/isolatie
	<i>U-waarde [W/(m².K)]</i>	<i>Zon toetredings factor</i>
Raam (Horizontaal en verticaal georiënteerd)	1,4 (glas 0,8 en kozijn 2,4)	0,6

Tabel 3: Globale randvoorwaarden voor de dynamische berekening

	Aanwezigheid	Aantal kinderen	Aantal volwassenen	Ventilatie debiet [m ³ /hr]
Zone 1	12:00 tot 13:30 15:30 tot 18:00	ca. 15	2	ca. 400
Zone 2	8:30 tot 12:00 13:30 tot 15:30	ca. 70	2	ca. 1.200
Zone 3	8:30 tot 12:00 13:30 tot 15:30	ca. 70	2	ca. 1.200
Zone 4	8:30 tot 12:00 13:30 tot 16:30	ca. 15	4	ca. 400
Zone 5	8:30 tot 12:00 13:30 tot 16:30	ca. 45	2	ca. 1.200
Zone 6	8:30 tot 12:00 13:30 tot 15:30	ca. 70	2	ca. 1.200

3.1 Thermostaat instelling

De thermostaat instelling voor zones 2, 3 en 6 bedraagt 20°C tussen 8:30 en 16:30. In Zone 4 en 5 worden ook kantoorwerkzaamheden verricht waardoor aangenomen is dat tot 16:30 een temperatuur van 20°C gewenst is. In zone 1 bevindt zich de naschoolse opvang, waardoor op

schooldagen tot 18:00 een temperatuur van 20°C gewenst is. Buiten deze tijden wordt er niet geventileerd en niet gestookt mits de temperatuur boven 15°C blijft.

3.2 Ventilatie en infiltratie

De voorgeschreven luchtverversing per leerling in een klaslokaal bedraagt 19,8 m³/hr. Het aantal kinderen op de school bedraagt ca. 270 (9 groepen van 30 kinderen). De benodigde luchthoeveelheid voor de kinderen bedraagt 270 x 19,8 m³/hr = 5346 m³/hr. Aanwezigheid van docenten en ondersteunend personeel vereist ook ca. 200 m³/hr. De totaal benodigde luchthoeveelheid wordt hierdoor gesteld op ca. 5.550 m³/hr. Dit is in de praktijk redelijk laag. Voor de berekening die verder in het rapport aan de orde komen, wordt uitgegaan van dit relatief lage getal om de winst van eventuele hoog rendement warmteterugwinning op een relatief terughoudende manier te benaderen. Er wordt alleen mechanisch geventileerd in de zones wanneer er kinderen of volwassenen aanwezig zijn. Er wordt geen warmteterugwinning uit ventilatielucht toegepast. De benodigde luchthoeveelheid wordt mechanisch uitgeblazen en vindt zijn weg op een natuurlijke manier naar binnen.

Aangenomen is dat, naast de mechanische ventilatie, de lucht ieder uur met ca. 20% van het gebouwvolume wordt verversd door infiltratie van (koude) buitenlucht.

3.3 Interne warmtelast

Een lerend kind is goed voor ca. 100 W waarvan ca. 30 W gebruikt wordt voor verdamping en ca. 70 W voor warmteproductie. Docenten en ondersteunend personeel zijn per stuk goed voor ca. 180 W, waarvan ca. 50 W verdamping en ca. 130 W warmte. De interne warmteproductie door kinderen en volwassenen in de school bedraagt ca. 270 x 70 W + 12 x 130 W = 20,5 kW. Voor verlichting is nodig ca. 10 W/m². Voor de gehele school betekent dat een geïnstalleerd vermogen van 1567 m² x 10 W/m² = 15,7 kW. Warmte, geproduceerd door apparatuur zoals kopieerapparaten en computers, is niet meegenomen, omdat deze marginaal is ten opzichte van personen en licht. De totale maximale interne warmtelast voor de school bedraagt ca. 36,2 kW.

3.4 Zoninval

De zon toetredings factor (ZTA) zoals aangegeven in Tabel 2, is een maat voor de hoeveelheid warmte die door een raam naar binnen treedt. Wanneer deze 1 is, betekent dit dat 100% van de zonnewarmte naar binnen treedt. De hoeveelheid zonnewarmte is afhankelijk van de intensiteit van de zonnestraling. Deze is natuurlijk weer afhankelijk van meteorologische omstandigheden. Voor de berekening van de warmtevraag is de invloed van overstekken en beschaduwning zo ver als mogelijk meegenomen.

3.5 Berekend energiegebruik

De schatting van het energiegebruik is in 3 delen opgesplitst: elektriciteit, warm tapwater en ruimteverwarming. Er wordt in de komende paragrafen aangegeven welke aannames zijn gedaan voor de schatting van het totale energiegebruik en wat de resultaten zijn van de berekeningen hiervoor. Het energiegebruik wordt uitgedrukt in gangbare primaire energie (aardgas) uitgaande van de waarden in Tabel 4:

Tabel 4: Rekenwaarden voor bepalen van primair energiegebruik

Verbrandingswaarde van aardgas	32·10 ⁶ joule/m ³ ²
Rendement van elektriciteitsopwekking in centrale ³	43%
CO ₂ productie door verbranding van aardgas	1,77 kg/m ³

² Groningen gas, onderste verbrandingswaarde

³ Gebaseerd op gegevens afkomstig uit 1998 ('Elektriciteit in Nederland 1998', publicatie van Sep en EnergieNed)

3.5.1 Elektriciteit

Het elektriciteitsgebruik voor de referentiesituatie is gebaseerd op verlichting en benodigd ventilatorvermogen. Gebruik door computers en andere apparatuur is marginaal ten opzichte van verlichting en ventilatoren, waardoor deze niet worden genoemd. Voor verlichting in de referentiesituatie is ca. 15,7 kW geïnstalleerd. Deze verlichting staat jaarlijks ca. 1300 uur aan. Dit is relatief weinig omdat de school wordt gebruikt tijdens de lichtste uren van de dag, en er vanuit is gegaan dat verlichting niet aan zal staan indien dit niet nodig is. Het elektriciteitsgebruik voor verlichting bedraagt dan $15,7 \text{ kW} \times 1.300 \text{ uur} = 20.410 \text{ kWh}$ per jaar. Wordt uitgegaan van standaard ventilatoren (voorovergebogen schoepen) aangedreven door motoren van 1,2 kW die 2400 uur draaien, dan wordt de jaarlijks benodigde energie voor ventilatoren $1,2 \text{ kW} \times 2400 \text{ uur} = 2.880 \text{ kWh}$. De totale elektriciteitsvraag in de referentiesituatie bedraagt ca. 23.290 kWh.

3.5.2 Ruimteverwarming en koeling voor de referentiesituatie

De statische warmteverliezen zijn berekend met het computerprogramma MATHCAD. De totale warmtebehoefte, rekening houdend met aanwezigheid van kinderen en personeel, wisselende meteorologische gegevens en gewenste thermostaat instelling, is uitgevoerd met het computerpakket TRNSYS. Hiermee is gedurende een standaard referentie jaar ieder uur de energiebalans berekend, op basis van meteorologische gegevens van het zogenaamde 'Test Referentie Jaar' van De Bilt. Als eerste zijn de statische warmteverliezen en de warmtebehoefte van de referentiesituatie bepaald. Daarna is gekeken naar de invloed van energiebesparende maatregelen. Dit komt in hoofdstuk 4 aan de orde. Tabel 5 geeft een overzicht van de statische warmteverliezen door gebouwschil, infiltratie en ventilatie zoals uitgerekend door MATHCAD. Het totale warmteverlies op een koude winterdag is berekend door het warmteverlies door transmissie, ventilatie en infiltratie op te tellen en te vermenigvuldigen met het temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Hier moet het warmteverlies door de vloer nog bij opgeteld worden. De temperatuur van de kruipruimte is gesteld op 12°C.

Tabel 5: Statische warmteverliezen in de referentiesituatie

	Warmteverlies
Transmissie	616 W/K
Ventilatie	1.890 W/K
Infiltratie	339 W/K
Vloer (Totaal verlies door vloer = 1.576 W)	197 W/K ⁴
Warmteverlies op koude winterdag (-10 °C)	87 kW

Energie afkomstig van de kinderen en het personeel bedraagt ca. 20,5 kW van verlichting ca. 15,7 kW en de ingestraalde warmte van de zon bedraagt in de winter gemiddeld ca. 5,5 kW. Op een extreem koude winterse schooldag betekent dit dat de kinderen en het personeel 24% van het warmteverlies compenseren, verlichting ca. 18 % en de ingestraalde zonnewarmte zo'n 6 % van de warmteverliezen compenseert. Om binnen een temperatuur van 20 °C te handhaven op deze koude winterse dag de moet de verwarmingsinstallatie dus nog 52% van 87 kW leveren, dit is 45 kW. Het piekvermogen van de verwarmingsinstallatie wordt niet gebaseerd op de 45 kW, maar op 87 kW. Wanneer een aanwarm toeslag van 20% wordt aangehouden, kan het piekvermogen van de installatie worden gesteld op ca. 110 kW. Dit is zo gekozen om in situaties wanneer de kinderen vrij zijn, maar er s'avonds wel activiteiten plaatsvinden (ouderavonden, cursussen), de school voldoende en snel te kunnen aanwarmen.

Tabel 6 toont de jaarlijkse warmtevraag uit resultaten van de dynamische berekening uitgevoerd met TRNSYS en het te leveren piekvermogen van de installatie, afgeleid uit voorgaande berekening.

⁴ K is hier betrokken op het temperatuurverschil tussen de begane grond en de kelder

Tabel 6: Warmtevraag voor de referentiesituatie

Te leveren piekvermogen	110 kW
Jaarlijkse warmtevraag	50.833 kWh

Het vermogen dat geleverd moet worden om het gebouw 's ochtends op temperatuur te brengen is sterk afhankelijk van de gebouw temperatuur voordat de verwarming aanslaat en het warmte accumulerend vermogen van het gebouw. Er kan worden gesteld dat in het stookseizoen kinderen en personeel ca. 15% van de tijd aanwezig zijn. Met deze aanname kan worden gesteld dat de interne warmteproductie gedurende het stookseizoen ca. 27.870 kWh, ofwel 3.135 m³ gas bespaart. Hieruit kan worden geconcludeerd dat *warmteproductie van de kinderen en het personeel de totale jaarlijkse warmtevraag voor ca. 55% kan dekken*. Helaas kan de interne warmteproductie in de zomer ook leiden tot een situatie waarin het binnenklimaat onprettig wordt bevonden. Gestreefd zou moeten worden naar een situatie waarin de koellast zo klein mogelijk wordt gehouden. Aangezien koeling geen vereiste is volgens de bouwnormen, wordt deze niet meegenomen in de totale energiebalans.

3.5.3 Warm tapwater

Het energiegebruik voor warm tapwater is voor de referentiesituatie en de besparende varianten gelijk gehouden. Bereiding van warm tapwater zal maar een zeer klein aandeel hebben in het totale energiegebruik. Alleen in de keuken van de naschoolse opvang en in de lerarenkamer zal warm tapwater gewenst zijn. Uitgangspunt voor de warm tapwater vraag is als volgt: Voor afwassen en schoonmaak is op schooldagen ca. 80 liter warm (70°C) water nodig. Over een jaar is benodigd, 80 liter x 42 weken x 5 dagen = 16.800 liter. Dit komt overeen met ca. 1.180 kWh/jr.

3.6 Totaal energiegebruik voor de referentiesituatie

Tabel 7 toont de totale jaarlijkse energievraag en CO₂ uitstoot voor de school. Hierin is uitgegaan van een gas gestookte HR-installatie met een rendement van 90% voor verwarming en warm tapwater. Elektrische energie voor verlichting en ventilatoren wordt onttrokken aan het net.

Tabel 7: Energiegebruik van de school in de referentiesituatie

	Vraag kWh	Primaire energie m ³ gas	Uitstoot van CO ₂ kg
Verlichting	23.290	6.094	10.786
Ventilatoren	2.880	753	1.334
Warm tapwater	1.180	148	261
Ruimteverwarming	50.833	6.354	11.247
Totaal	78.183	13.349	23.628

4 HAALBARE BESPARING OP ENERGIEGEBRUIK

Totaal worden 5 mogelijke concepten beschouwd die leiden tot energiebesparing, vermindering en vermijden van CO₂ uitstoot t.o.v. de referentiesituatie. Deze concepten zijn opgebouwd uit verschillende bouwkundige en installatietechnische maatregelen die hieronder worden toegelicht.

4.1 Bouwkundige en installatietechnische maatregelen

Bouwkundige maatregelen zijn al zo veel mogelijk in het ontwerp meegenomen. De oriëntatie van het gebouw is zo gekozen dat maximaal van zonnewarmte geprofiteerd kan worden. De glazen ring in het dak boven het gangdeel zorgt voor extra daglichttoetreding in het anders zeer donkere gangdeel. Hierdoor wordt bespaard op kunstverlichting. Ook is de keuze van ramen, kozijnen, isolatie en bouwmaterialen gebaseerd op duurzaam bouwen. Verder is gekeken naar de mogelijkheid om de benodigde ventilatielucht op een efficiënte manier de school in te blazen of af te voeren. Wanneer dit gedaan kan worden door een kanaal met een grote doorsnede, zal de aandrijving van de ventilatoren minder energie gebruiken doordat drukverliezen (en dus energieverliezen) worden gereduceerd. In de kelder van de school is een parkeergarage gepland. Deze ruimte kan deels worden benut om een kanaal met grote doorsnede aan te brengen. Dit kanaal kan tevens gebruikt worden voor leidingen voor tapwater, elektra en toiletten.

Vervolgens is gekeken welke maatregelen installatietechnisch nog genomen kunnen worden om de energievraag te reduceren en zo efficiënt mogelijk met energie om te gaan.

4.1.1 Verlichten en ventileren

Het geïnstalleerd vermogen voor verlichting kan verminderd worden door gebruik te maken van efficiënte verlichting. Een besparing van 25% op het geïnstalleerd vermogen (van 10 W/m² naar 7,5 W/m²) is haalbaar. Een daglichtafhankelijke regeling brengt de energievraag voor verlichting nog verder omlaag doordat het aantal branduren wordt teruggebracht. Bovendien zijn deze maatregelen in het algemeen binnen enkele jaren terugverdiend en dienen daarom zeker in het uiteindelijke concept te worden opgenomen.

Ventilatie vormt een belangrijke factor in de kwaliteit van het klimaat binnen de school. Om voldoende luchtverversing te garanderen, kan daarom het beste gekozen worden voor een mechanisch systeem om de lucht aan en/of af te voeren. Door de hoge benodigde luchthoeveelheid vormt het aandrijven van de ventilatoren een niet zonder meer te verwaarlozen aandeel in het totale elektriciteitsgebruik. Gebruik van efficiënte ventilatoren in combinatie met gelijkstroommotoren kan ook hier een flinke besparing opleveren. Wordt ook aanwezigheidsdetectie gekoppeld aan de benodigde luchthoeveelheid (aandrijving van ventilatoren in deellast laten draaien bij lage bezetting en uitzetten wanneer niemand meer aanwezig is), kan een besparing van 50% worden gehaald op het elektriciteitsgebruik voor het aandrijven van de ventilatoren.

4.1.2 Hoog rendement warmteterugwinning uit ventilatielucht

Zoals aangegeven in Tabel 5, is het warmteverlies door ventilatie de grootste post in de totale warmtebalans van het gebouw. Reden genoeg om te kijken naar de mogelijkheden om dit te reduceren. Door de koude aangezogen 'frisse' ventilatielucht op te warmen door de warme lucht die naar buiten wordt afgevoerd, hoeft de aangezogen lucht niet steeds opgewarmd te worden door het verwarmings-systeem. Deze vorm van warmteterugwinning wordt al zeer veel toegepast in de praktijk en blijkt een efficiënte manier van energie besparen. Zeker in een school dient te worden gerealiseerd dat de interne warmte, die o.a. door de kinderen en het personeel wordt geproduceerd, door warmteterugwinning toe te passen wordt hergebruikt. De warmte van de kinderen en het personeel wordt tijdens hun aanwezigheid in de school dan een belangrijke energiebron, waardoor de verwarmingsinstallatie over het algemeen alleen nodig zou zijn voor

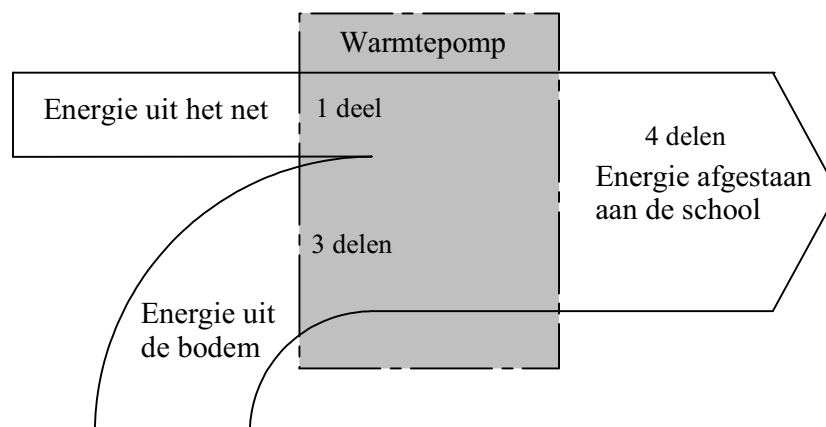
het aanwarmen van het gebouw. Over het algemeen vereisen deze systemen een inblaas- en een uitblaasventilator. Wanneer gekeken wordt naar de benodigde energie om voldoende te kunnen ventileren met een warmteterugwin systeem en de energie die door toepassen hiervan wordt bespaard, kan worden gesteld dat met één deel elektrische energie, minimaal 12 delen warmte kan worden teruggewonnen. Met andere woorden, de prestatiefactor (COP) van een warmteterugwinsysteem bedraagt minimaal 12. Wordt warmteterugwinning toegepast met een hoog rendement, bedraagt de COP ca. 20. Wordt een dergelijk systeem toegepast in het Sokkerwei concept, dan ziet het er als volgt uit:

Wanneer standaard ventilatoren en motoren worden toegepast, betekent dit een verdubbeling van de benodigde ventilator energie t.o.v. de referentie situatie waarin alleen mechanisch wordt afgezogen (van 2.880 kWh naar 5.760 kWh). Gebruik van efficiënte gelijkstroommotoren en toepassen van axiaal ventilatoren kan de energievraag voor ventilatie verlagen naar ca. 3.050 kWh.

Ook kan het toepassen van 2 "gekruste" warmteterugwin installaties winst opleveren met betrekking tot de koel- en warmtevraag. Het systeem dat verse lucht levert aan de zuidzijde ontrekt 'gebruikte' warme lucht uit de noordzijde, het ander systeem vice versa. Door op deze wijze de warmte van de gebruikte lucht over te dragen op de verse koude lucht wordt het klimaat binnen de school 'geëgaliseerd'. Ook zou het een extra besparing op kunnen leveren in het voor- en naseizoen. Wanneer namelijk op een zonnige voorjaarsdag de temperatuur in de zuidzijde van het gebouw stijgt en de temperatuur in de noordzijde laag is, zal in het normale geval aan de zuidzijde de ramen worden geopend en aan de noordzijde de verwarming worden aangezet. In feite zou de verwarming in de noordzijde niet aan hoeven te gaan wanneer de overtollige warmte van de zuidzijde naar de noordzijde kan worden overgebracht. Dit is exact wat het systeem met twee gekruiste warmteterugwin installaties doet. Wanneer toch nog actieve koeling is vereist, kan dit worden gedaan door water te vernevelen in de ventilatielucht. Doordat dit water zal gaan verdampen onttrekt het warmte aan de ventilatielucht (adiabatische koeling). Hiermee kan de binnentemperatuur ca. 2 à 3°C worden verlaagd.

4.1.3 Warmtepomp

Een warmtepompsysteem kan warmte van een relatief laag temperatuurniveau 'opkrikken' naar warmte met een bruikbaar temperatuurniveau. Het rendement van een warmtepomp wordt uitgedrukt in de Coëfficiënt Of Performance (COP). Met de huidige stand van techniek bedraagt deze ca. 4. Dit betekent, dat uit 1 deel elektrische energie uit het net, 4 delen warmte wordt afgestaan aan het gebouw. De overige 3 delen warmte worden onttrokken aan een duurzame bron. Figuur 2 illustreert de werking van een warmtepomp.



Figuur 2: Werking van een warmtepomp

Aangezien de elektriciteit opgewekt wordt met een rendement van ca. 40%, halveert de inzet van een warmtepomp het gasverbruik voor ruimteverwarming ongeveer. Als duurzame bron voor een warmtepomp in het Sokkerwei concept, komen aardwarmte en ventilatielucht in aanmerking. Wordt gekozen voor aardwarmte, dan verzorgt een bodem warmte-wisselaar voor

de uitwisseling van de warmte tussen warmtepomp en aarde. Deze bodem warmte-wisselaar kan tevens voorzien in koeling. De ongestoorde bodemtemperatuur bedraagt het gehele jaar omstreeks 11°C, wat voldoende laag is om bijvoorbeeld de ingeblazen lucht voor ventilatie enkele graden af te koelen. Hierdoor wordt flink bespaard t.o.v. bijvoorbeeld airconditioning. Wanneer er bijna geen grondwaterstromen aanwezig zijn, is het een vereiste om warmte terug te leveren aan de aarde. Dit is nodig omdat anders de onttrokken warmte niet wordt aangevuld wat op termijn kan leiden tot bevriezing van de grond rond de bodemwarmtewisselaars en verslechtering van het rendement van het systeem. Wanneer grondwaterstromen zorgen voor voldoende aanvoer van warmte in het stookseizoen, hoeft niet gedacht te worden aan terugleveren van warmte.

Ook kan ventilatielucht worden gebruikt als bron voor de warmtepomp. De interne warmteproductie heeft de lucht namelijk al aanzienlijk opgewarmd. De warmtepomp brengt deze warmte naar een hoger temperatuurniveau, zodat deze gebruikt kan worden voor het verwarmen van de aangezogen buitenlucht. Deze vorm van inzetten van een warmtepomp kan eigenlijk gezien worden als een vorm van warmteterugwinning. Bijlage 2 toont een vergelijking tussen de twee mogelijke vormen van warmteterugwinning en licht het systeem in detail toe. Opgemerkt dient te worden dat bij de inzet van een warmtepomp met als bron ventilatielucht, ook de volledige hoeveelheid energie voor bereiding van warm tapwater kan worden geleverd. Op extreem koude dagen wordt 'bijgesprongen' door een HR cv-installatie.

Voor beide warmtepompsystemen geldt dat de investering voor de installatie hoog is (wp in combinatie met bodemwarmtewisselaar ca. 3.000 gulden/kW, wp in combinatie met ventilatielucht ca. 1.500 gulden/kW).

4.1.4 Meet en regeltechniek

Gebruik maken van een goed meet- en regelsysteem van het binnenklimaat is zeer belangrijk. Door het meten van het binnenklimaat kan een optimale stookstrategie worden bepaald. Langzaam aanwarmen van het gebouw reduceert het piekvermogen wat kan leiden tot een kostenbesparing voor de installatie. Ook het registreren van de energievraag kan met een dergelijk systeem worden gedaan. In de berekeningen zijn de effecten van meet- en regelsystemen niet meegenomen.

4.1.5 Overige systemen en installaties

Ook zijn systemen overwogen die volledig op natuurlijke ventilatie zijn gebaseerd. De werking van deze systemen is afhankelijk van vormgeving van de aan en afvoer kanalen, vormgeving van de school en buitenklimaat. Om volledig op een dergelijk ventilatiesysteem te kunnen vertrouwen, is het van belang dat de architect het natuurlijk ventilatiesysteem in de vormgeving meeneemt. Het concept voor de vormgeving van het gebouw ligt in grote lijnen vast en lijkt niet geschikt om een acceptabel klimaat te creëren op basis van alleen natuurlijke ventilatie.

Andere systemen, die nog maar op zeer kleine schaal worden toegepast (Trombe muur, pv-thermisch), zijn ook niet overwogen. Belangrijk is dat de installatie van de school betrouwbaar moet zijn.

4.2 Concept samenstellingen

De algemene strategie om tot een optimaal ontwerp te komen bestaat uit het aflopen van de volgende volgorde:

- Het verminderen van de energievraag
- Het gebruiken van zoveel mogelijk duurzame energie
- Efficiënt met energie omgaan

Het eerste concept bestaat uit een pakket van maatregelen waarmee de benodigde verlichtings- en verwarmingsenergie wordt teruggebracht op basis van efficiënte armaturen, daglichtafhankelijke regelingen en aanwezigheidsdetectie. De warmte wordt geleverd door een gasgestookte HR cv-ketel. Er wordt geventileerd op basis van alleen afzuigventilatie.

Het tweede concept bestaat uit het minimaliseren van de energievraag door dezelfde maatregelen als in concept 1 en daarbij ook warmteterugwinning toe te passen met hoog rendement. De warmte wordt geleverd door een gasgestookte HR cv-ketel waarmee de ingeblazen ventilatielucht wordt naverwarmd.

Het derde concept bestaat uit efficiënte armaturen, daglichtafhankelijke regelingen en aanwezigheidsdetectie t.a.v. verlichting. Een elektrisch aangedreven warmtepomp in combinatie met een bodemwarmtewisselaar wordt ingezet om ca. 70% van de warmtevraag te dekken. De overige warmte wordt geleverd door een gasgestookte installatie.

In het laatste concept wordt ook een elektrisch aangedreven warmtepomp ingezet, maar deze ontrekt warmte aan de ventilatielucht. Ook hier geldt dat de overige warmte wordt geleverd door een gasgestookte HR cv-ketel. In bijlage 3 wordt voor alle concepten de totale energiebalans weergegeven.

4.2.1 Concept I: Optimale verlichting en ventilatoren

Door goede kierafdichting toe te passen is verondersteld dat de infiltratie verlaagd kan worden met 5 % ten opzichte van de referentiesituatie. De elektriciteitsvraag kan ook nog verder worden teruggebracht door gebruik te maken van efficiënte verlichtingssystemen. Een geïnstalleerd vermogen van 7,5 W/m² is haalbaar. Wanneer nu ook een daglicht afhankelijke regeling wordt toegepast, kan de totale elektriciteitsvraag voor verlichting teruggebracht worden van 23.290 kWh naar 11.600 kWh per jaar. Wanneer warmteterug-winning wordt toegepast, zijn minimaal 2 ventilatoren nodig, één voor aanvoer en één voor afvoer van de ventilatielucht. Worden standaard ventilatoren en motoren toegepast, betekent dit een verdubbeling van de benodigde ventilator energie t.o.v. de referentie situatie (van 2.880 kWh naar 5.760 kWh). Gebruik van efficiënte gelijkstroommotoren en toepassen van axiaal ventilatoren kan de energievraag voor ventilatie verlagen, waardoor een verdubbeling van energievraag voor ventilatie kan worden vermeden.

4.2.2 Concept II: Optimale verlichting en ventilatoren plus HR warmteterugwinning

Warmte terugwinning uit ventilatielucht met 90 % rendement kan in de praktijk worden gehaald door warmteregeneratie installaties. Samen met het optimaliseren van de gebouwschil kan dit leiden tot een besparing van het gasverbruik en CO₂ uitstoot van bijna 50 % t.o.v. de referentiesituatie. Tabel 8 toont de berekende waarden voor de warmtevraag in het geval van warmteterugwinning met hoog rendement en de referentiesituatie.

Tabel 8: Berekende warmtevraag bij toepassen van warmteterugwinning met hoog rendement

	Referentie situatie	Geoptimaliseerde gebouwschil en 90% wtw
Transmissie	616 W/K	616 W/K
Ventilatie	1.890 W/K	181 W/K
Infiltratie	339 W/K	339 W/K
Vloer	197 W/K ⁵	197 W/K
Warmteverlies op koude winterdag (-10 °C)	87 kW	36 kW
Te leveren piekvermogen	110 kW	45 kW
Jaarlijkse warmtevraag	50.833 kWh	30.833 kWh

Zoals vermeld in paragraaf 3.3, bedraagt de interne warmtelast door kinderen en personeel ca. 20.5 kW. Dit betekent dat wanneer warmteterugwinning wordt toegepast met een rendement van 90% *kinderen en personeel ca. 57% van het gevraagde vermogen leveren om de school op een extreem koude winterse dag warm te houden!*

⁵ K is hier betrokken op het temperatuurverschil tussen de begane grond en de kelder

4.2.3 Concept III: Optimale verlichting, ventilatoren, plus inzet aardwarmte

In dit concept levert een warmtepomp het grootste deel van de warmte. Deze warmte wordt onttrokken aan de aarde door een bodemwarmtewisselaar. De warmtepomp zou een piekvermogen moeten kunnen leveren van 15 kW. Er wordt geen warmteterugwinning uit ventilatielucht toegepast.

4.2.4 Concept IV: Inzet van een warmtepomp voor warmteterugwinning

Het totale energiegebruik in deze situatie is bijna gelijk aan die van het vorige concept. Het enige verschil is dat energievraag voor warm tapwater in dit concept ook door het warmtepompsysteem geleverd kan worden. Een bijkomstige mogelijkheid is om meerdere van deze warmtepompjes decentraal op te stellen. Dit zal wel betekenen dat de installatiekosten toenemen.

4.3 Concept keuze

Het overzicht in bijlage 3 en 4 geeft inzicht in het nut van gepleegde meerinvesteringen om de CO₂ uitstoot te reduceren. Belangrijk om te vermelden is dat gebruik is gemaakt van globale kostenindicaties. De uiteindelijke kosten van de aanschaf en het installeren van een installatie worden nog altijd bepaald door de installateur. Ook is voor alle concepten een EP berekening uitgevoerd. Belangrijk om te vermelden is dat deze EP berekening betrekking heeft op het gehele gebouw. De installatie concepten hebben alleen betrekking op het school gedeelte. De woningen en de dokterspraktijk zijn zo verondersteld dat deze precies voldoen aan de wettelijke energieprestatie (EPC woningen = 1,0 EPC dokterspraktijk = 1,8). De winst die wordt geboekt door de energiezuinige concepten voor de school worden op die manier aan het gehele gebouw toegerekend. Tabel 9 toont de resultaten van de TNSYS berekeningen m.b.t. de hoeveelheid vermeden CO₂, de meerkosten en de jaarlijkse hoeveelheid vermeden CO₂ per meer investering t.o.v. de referentie situatie van een concept. In de laatste kolom is de energieprestatie aangegeven welke de energieprestatienorm toekent aan de concepten. Hieruit valt af te lezen dat de energieprestatienorm het warmtepompconcept (concept IV) onterecht beter waardeert dan concept II en III.

Tabel 9: Energieprestatie en besparing t.o.v. de referentie situatie

	Vermeden CO ₂ ⁶ kg	Meerkosten gulden	kg CO ₂ /gulden	Energie prestatie volgens EPU ⁷
Concept I	5.415	15.000	0,36	0,89
Concept II	9.760	35.500	0,27	0,66
Concept III	9.168	165.000	0,06	0,70
Concept IV	9.295	90.000	0,10	0,63

Op basis van maximale CO₂ besparing per geïnvesteerde gulden, komen concept I en II als beste uit de bus. Het energiegebruik van concept II is het laagst. Concept II wordt daarom als uitgangspunt genomen voor het nulenergie concept. Dit betekent dat het totale elektriciteitsverbruik uitkomt op ca. 14.650 kWh en het totale gasverbruik voor ruimteverwarming ca. 4.002 m³. De totale CO₂ uitstoot wordt door concept II teruggebracht van 23.628 kg naar 13.868 kg, een besparing van 41% ten opzichte van de referentie.

De inzet van warmtepompen zijn uit oogpunt van CO₂ besparing en exploitatiekosten minder interessant voor toepassing in het Sokkerwei concept. De oorzaak hiervoor is dat de investering die moet worden gedaan te weinig oplevert uit oogpunt van energiebesparing. De blijkt uit de lage vermeden kg CO₂ per geïnvesteerde gulden voor de concepten waarin de warmtepomp is betrokken (concept , III en IV). Bijlage 5 toont de resultaten van alle EPN berekeningen.

⁶ Gebaseerd op resultaten van berekeningen met TRNSYS (Totale uitstoot referentie situatie is 23.628 kg CO₂)

⁷ De EP berekening heeft betrekking op het gehele gebouw

5 NAAR NULENERGIE

Na het nemen van voorgaande maatregelen blijft altijd een rest energievraag over. Indien de restvraag nog leidt tot uitstoot van CO₂, moet worden gecompenseerd om de balans op nul te brengen. Gestreefd wordt naar een situatie waarin de totaal benodigde energiehoeveelheid op een reële wijze duurzaam wordt opgewekt waardoor de netto CO₂ balans door het in gebruik nemen van de school niet wordt verstoord.

Hiervoor worden de volgende bronnen beschouwd:

- Zon
- Wind
- Biomassa

Wanneer de benodigde energie door verbranding van aardgas wordt opgewekt zal CO₂ uitstoot plaatsvinden. Om in deze situatie toch aan de definitie van nulenergie te voldoen zal de CO₂ uitstoot minstens gecompenseerd moeten worden door duurzame energieopwekking binnen, rond of op de school. Dit kan worden gedaan door bijvoorbeeld elektriciteitsopwekking door zonnecellen. Ook kan worden gedacht aan de inkoop van zogenaamde 'groene stroom' die bijvoorbeeld wordt gefinancierd door ouderparticipatie. Paragraaf 5.2 gaat hier dieper op in.

5.1 Zon

Een zonnecellen-installatie van de omvang die nodig is om het hele elektriciteitsgebruik van de school te dekken is, uitgaande van de in 2000 geldende subsidieregelingen, te duur om in de financiering van de school mee te nemen (op dit moment is een voorstel in behandeling waarin een subsidie wordt voorgesteld waarmee ca. 30% van de benodigde hoeveelheid zonnecellen kan worden bekostigd ingaande per 1-1-2001). Daarom is gezocht naar een manier van financiering waarin scholen en andere non-profit instellingen wel kunnen participeren. Deze vorm van participatie bestaat uit een gedefinieerde mate van elektriciteitsbesparing, waarbij het besparingsresultaat wordt gehonoreerd met een oppervlak zonnecellen. De eisen die aan het besparingspakket worden gesteld, is dat de gemiddelde terugverdientijd gelijk is aan de technische levensduur van de genomen maatregelen (budget neutraal). De subsidiërende instantie zou in die opzet voor de besparing van iedere 100 kWh/jr een vierkante meter zonnecellen beschikbaar kunnen stellen. Met een dergelijke regeling bereikt men participatie in natura, waarbij de subsidiegever het besparingsresultaat verdubbelt met de opbrengst van zonnecellen (1 m² PV levert ca. 100 kWh/jr). In het kader van het CO₂ reductie plan is deze praktische vorm van participatie meer waard dan een bijdrage in geld. Bovendien brengt het de juiste volgorde van handelen met zich mee: eerst bepalen van de energievraag, dan verbetering van de efficiency in het energiegebruik, daarna toepassing van duurzame energiebronnen.

Het elektriciteitsgebruik in de Sokkerwei-school wordt vrijwel gehalveerd wanneer concept II wordt toegepast. De bereikte besparing levert daarmee voldoende zonnecellen op om de resterende andere helft van het elektriciteitsgebruik mee op te wekken.

Als subsidie verlenende instantie wordt in de eerste plaats gedacht aan Provincie Noord-Holland, temeer daar de Sokkerwei-school door deze Provincie is voorgedragen voor de Nationale Toekomstprijs categorie non-profit. Hiervoor is een voorstel aan de Provincie in voorbereiding. Momenteel is bekend dat de Provincie het voorstel verder heeft uitgewerkt en dat navolging zal worden gerealiseerd.

5.2 Wind

Om het resterende "gat" in de CO₂ balans te dichten, kan ook worden gedacht aan CO₂ compensatie door middel van wind energie, waarbij voor iedere m³ gas ca. 4 kWh emissievrije elektriciteit moet worden geproduceerd. Aandelen windenergie kan men laten opwekken door b.v. een wind coöperatie, die aandelen uitgeeft. Deze investering zou in het bouwbudget kunnen

worden opgenomen. Maar ook kan gedacht worden aan ouderparticipatie, waarbij de ouders van de leerlingen voor de periode dat de kinderen naar de school gaan een aandeel kopen. Deze manier van financiering geeft een grote betrokkenheid van de ouders met de school en levert ongedwongen lesmateriaal in mondiaal denken en lokaal handelen.

5.3 Biomassa

Een andere oplossing is het gebruik van plantaardige olie, die binnenkort als (belastingvrije) autobrandstof beschikbaar komt. Deze olie, die door een raffinage proces ongeveer dezelfde eigenschappen krijgt als dieselbrandstof, kan in een conventionele olietank gestookt worden en is CO₂ neutraal vanwege de agrarische herkomst. De verwarmingsinstallatie kan bestaan uit een conventioneel systeem, zodat dit geen meerkosten met zich meebrengt.

In de plaats van een m³ aardgas is ca. een liter van deze olie nodig. De prijs ervan is anderhalf tot tweemaal zo hoog als die van huisbrandolie. Maar gezien het geringe jaarverbruik is dit toch een reële optie.

5.4 Nulenergie

Om tot een nulenergie concept te komen is gekeken naar verschillende mogelijkheden om de energievraag te dekken. Uitgangspunt hierbij is, zoals eerder gesteld: eenvoud. Concept II voldoet het meest als uitgangspunt voor het bereiken van de nulenergie doelstelling doordat het energiegebruik bij toepassen van dit concept het laagst is zonder dat dit relatief veel aan meerkosten met zich meebrengt. In Tabel 10 is aangegeven hoeveel elektriciteit in dit concept bespaard wordt t.o.v. de referentie situatie.

Tabel 10: Besparing op elektriciteitsverbruik volgens concept III

	<i>Referentie</i> kWh	<i>Nulenergie situatie</i> kWh	<i>Besparing</i> kWh
Verlichting	23.290	11.600	11.690
Ventilatoren voor WTW installatie	5.760	3.050	2.710
<i>Totaal</i>	<i>29.050</i>	<i>14.650</i>	<i>14.400</i>

Uitgaande van de in paragraaf 5.1 genoemde gewenste regeling, waarbij 100 kWh/jr besparing wordt gehonoreerd met 1 m² PV, zou 145 m² gefinancierd kunnen worden. Hiermee is bereikt dat de volledige elektriciteitsvraag voor verlichting en ventilatoren zonder uitstoot van CO₂ wordt gedekt!

Als uitgangspunt voor de nulenergie situatie (concept II) is gekozen voor 90% WTW. De resterende energievraag voor warm tapwater en ruimteverwarming bedraagt in dit geval ca. 32.013 kWh warmte, waarvoor ca. 4.000 m³ gas nodig is in een installatie met een rendement van 90 %. De hoeveelheid CO₂ die hierbij jaarlijks wordt geproduceerd bedraagt ca. 7.080 [kg]. Wanneer door windenergie deze hoeveelheid CO₂ zou moeten worden gecompenseerd, betekent dit dat jaarlijks ca. 4.000 m³ x 4 kWh/m³ = 16.000 kWh door wind zou moeten worden opgewekt. Windmolen coöperaties in de omgeving van Castricum geven aandelen uit van 100 gulden per stuk, die jaarlijks 100 kWh schone stroom opleveren plus windafhankelijke dividend waarvan de hoogte ongeveer gelijk is aan de bankrente (budget neutraal). Om 16.000 kWh windenergie te produceren moet dus 16.000 gulden worden geïnvesteerd. Dit kan worden opgebracht uit het bouwbudget indien de Nationale Toekomst Prijs gewonnen wordt. Ook kan gedacht worden aan ouderparticipatie waarbij de ouders van de leerlingen voor de periode dat de kinderen naar de school gaan een aandeel nemen. Bij een leerlingenaantal van 270 zou dat aandeel eenmalig ca. 60 gulden bedragen, wat na de schoolperiode weer wordt terugbetaald. Intussen ontvangt men dividend. Deze manier van financiering geeft een grote betrokkenheid van de ouders met de school en levert ongedwongen lesmateriaal in mondiaal denken en lokaal handelen.

De mogelijkheid om ook de hoeveelheid benodigde pv te laten subsidiëren door een ouderbijdrage, lijkt niet reëel. De benodigde hoeveelheid pv bedraagt ca. 145 m² wat ongeveer

neerkomt op 145.000 gulden. Een extra ouderbijdrage van 540 gulden zou nodig zijn om het totaal benodigde pv te realiseren! Subsidies kunnen dit bedrag waarschijnlijk wel omlaag brengen, maar het ouder aandeel lijkt onredelijk hoog (bij een subsidie van fl. 7,50 per wattpiek die is voorgesteld per 1-1-2001, bedraagt de benodigde ouderbijdrage ca. 380 gulden. Echter, deze fl. 7,50 staat nog ter discussie).

Een andere mogelijkheid is nog om ook het elektriciteitsaandeel te compenseren door windenergie in plaats van pv. Een investering van 14.650 kWh x 1 gulden/kWh = 14.650 gulden dekt het totale elektriciteits aandeel. Dit komt overeen met een ouderbijdrage van 54 gulden per leerling gedurende de leerperiode.

De mogelijkheid om te onderzoeken welke subsidieregelingen er mogelijk zijn voor het Sokkerwei project, is niet alleen voor pv nuttig, maar ook voor de investeringen voor bijvoorbeeld isolatie en warmteterugwin apparatuur.

6 CONCLUSIE

De Sokkerwei school is op twee manieren doorerekend op het energiegebruik:

- volgens de huidige normen
- volgens de nulenergie doelstelling

Met de huidige normen komt het gasverbruik voor verwarming uit op ca. 6.500 m³/jr. Het elektriciteitsgebruik voor verlichting en ventilatie bedraagt ca. 29.050 kWh/jr. In het meest efficiënte ontwerp zal het gasverbruik voor verwarming op ca. 4.000 m³/jr uitkomen bij een elektriciteitsgebruik van ca. 14.650 kWh/jr. In beide gevallen gaat het om hetzelfde gebouwontwerp. Het verschil schuilt voornamelijk in de aard van de verwarmingsinstallatie, het ventilatiesysteem met warmteterugwinning en de verlichtingsinstallatie.

Zoals aangegeven in Tabel 10, is de elektriciteitsbesparing t.o.v. de referentiesituatie voldoende groot om, indien voorgestelde regeling uit paragraaf 5.1 wordt gehonoreerd, de benodigde elektriciteit voor de school met PV op te wekken. Het elektriciteitsaandeel van het energiegebruik voldoet dan aan het predikaat nulenergie.

Voor de verwarming van de school en warm tapwater is fossiele brandstof nodig met de daaraan verbonden CO₂ uitstoot. Wordt gekozen voor een gasgestookte installatie met een rendement van 90%, bedraagt de hoeveelheid uitgestoten CO₂ in de referentie situatie ca. 11.500 kg/jr. In de nulenergie situatie is dit ca. 7.100 kg/jr. Deze CO₂ uitstoot is te compenseren wanneer per leerling in een aandeel wind wordt geïnvesteerd van ca. 65 gulden. Dit zou gefinancierd kunnen worden door de ouders. Wanneer hun kind de school verlaat, krijgen de ouders hun geld terug met de bijbehorende dividenduitkering.

Een andere mogelijkheid is om de school te verwarmen door te stoken op plantaardige olie of ethanol die binnenkort als belastingvrije brandstof beschikbaar komen. Verbranden van deze olie zorgt niet voor een verstoring van de CO₂ balans, waardoor stoken op deze olie voor verwarmen ook voldoet aan het predikaat nulenergie.

Om de warmtepomp in het spel te betrekken, is gekeken naar de opties om deze in te zetten met de bodem als bron (bodemwarmtewisselaar) en met ventilatielucht als bron. Opgemerkt kan worden, dat inzet van een warmtepomp in combinatie met een bodemwarmtewisselaar de mogelijkheid biedt de school te koelen. Door toepassen van het beoogde regeneratieve warmteterugwin systeem is dat eveneens mogelijk maar dan via verdampingskoeling. In beide gevallen kan de binnentemperatuur ca. 3°C omlaag worden gebracht, hetgeen juist voldoende is voor een aangenaam binnenklimaat tijdens de zomerperiode. Over het algemeen kan worden gesteld dat een warmtepomp geen goede optie is in het Sokkerwei concept, zeker niet wanneer gekeken wordt naar de COP van de warmtepomp t.o.v. de COP van regeneratieve warmteterugwin systeem die een factor 3 a 4 hoger is dan die van een warmtepomp systeem. De inzet van een elektrisch aangedreven warmtepomp voor verwarmen is niet reëel, omdat de investering die hier tegenover staat niet opweegt tegen de te halen besparing. De energievraag is immers al zover teruggedrongen dat het stookseizoen te kort is om de investering in de warmtepomp te kunnen verantwoorden.

Het uiteindelijke energieconcept van de school waarmee aan de nul-energiedoelstelling wordt voldaan, kan er als volgt uitzien:

- Bouwkundigontwerp waarmee transmissieverliezen zo veel mogelijk zijn vermeden door de gunstige oppervlakte/inhoud verhouding en hoge graad van isolatie ($R_c = 3,8$) en goede benutting van de ingestraalde zonnewarmte.
- Geïntegreerd verwarmings- en ventilatiesysteem waarmee de verse ingeblazen ventilatielucht per lokaal wordt voorverwarmd door verwarmingselementen. Deze

verwarmingselementen worden gevoed met water, opgewarmd door een conventionele gasgestookte ketel met hoog rendement.

- Balansventilatie met hoogrendement warmteterugwinning door een kantelklep systeem.
- 145 m² zonnecellen voor de duurzame opwekking van de benodigde elektriciteit.
- Een ouderbijdrage van 60 gulden per leerling dat wordt geïnvesteerd in een windcoöperatie waarmee de CO₂ uitstoot van de verbranding van aardgas wordt gecompenseerd. Wanneer het kind de school verlaat, wordt de 60 gulden, met dividend, uitgekeerd.
- Efficiënte armaturen, energiezuinige verlichting, daglichtafhankelijke schakelingen en efficiënte ventilatoren aangedreven door gelijkstroommotoren, vormen de uitgangspunten voor elektriciteitsbesparing.

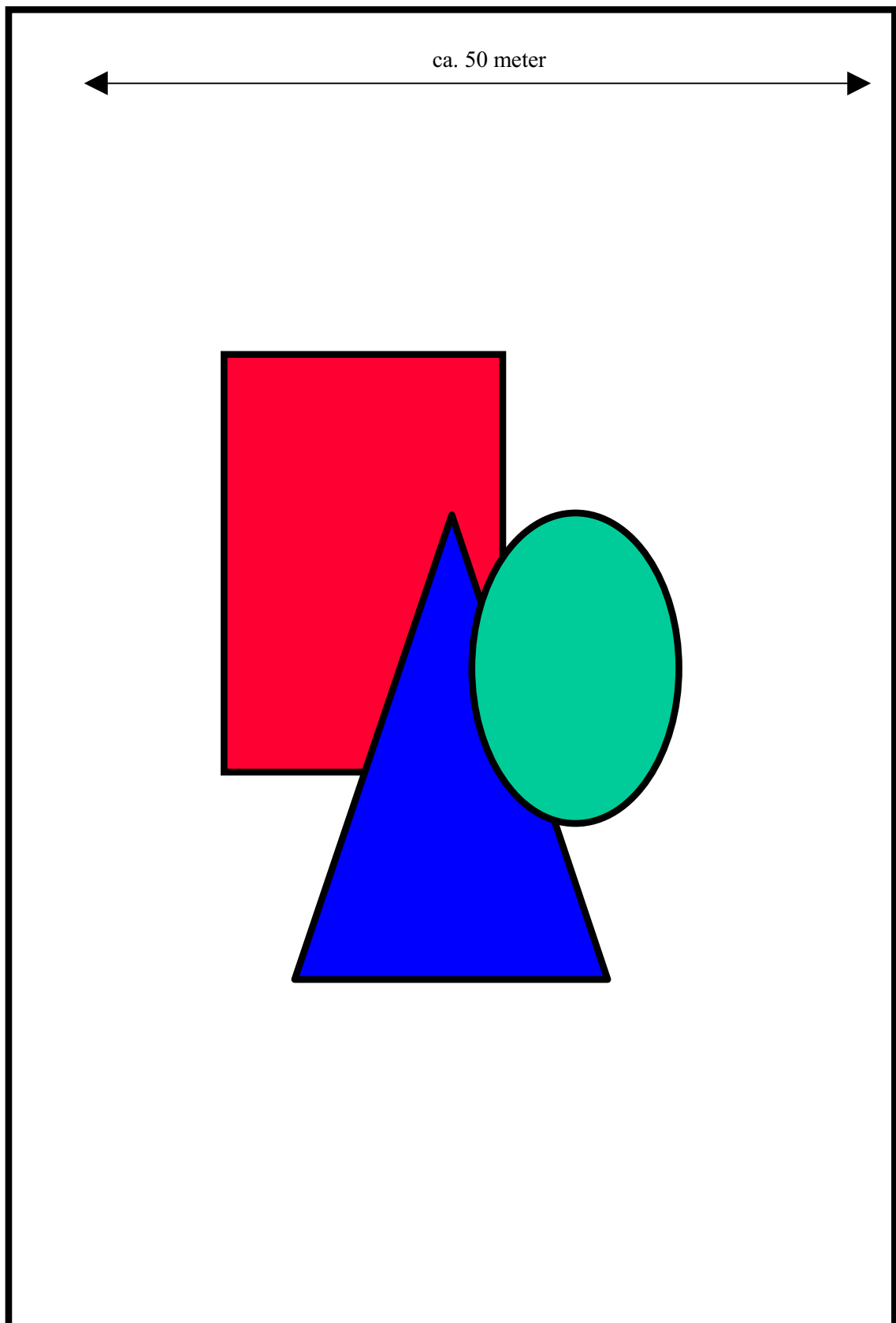
Het ziet er naar uit dat een nul-energie school gerealiseerd kan worden. Deze realisatie vergt echter het uiterste van de architecten om binnen een krap budget een hoge graad van isolatie te halen.

De inpassing van een gebalanceerd ventilatiesysteem met HR-warmte terugwinning vraagt veel passen en meten in de zin van ruimte en financiën. Voor de zonnecellen is hulp van buitenaf nodig. De compensatie van de resterende CO₂ emissie is door de genomen maatregelen op het gebied van energie-efficiency relatief eenvoudig geworden. Een, momenteel nog, dure warmtepomp installatie lijkt overbodig. De huidige stand van zaken overziende, lijkt er een uitvoerbaar concept voor te liggen, met de hoge nulenergie-ambitie, waarvan – zonnecellen daargelaten – verwacht mag worden dat het geschikt is voor navolging.

BIJLAGEN

- Bijlage 1: Bouwtekening en zone indeling
- Bijlage 2: Schetsen + toelichting op installaties
- Bijlage 3: Overzicht van berekende resultaten van concepten
- Bijlage 4: Overzicht voor concept keuze gebaseerd op globale kostenindicatie
- Bijlage 5: Uitdraai EPN berekeningen

BIJLAGE 1: BOUWTEKENING EN ZONE INDELING



BIJLAGE 2: SCHETSEN + TOELICHTING OP INSTALLATIES

Concept II: Geoptimaliseerde gebouwschil verlichting en ventilatoren met HR warmteterugwinning gestookt met een HR cv-ketel.

In dit concept kan de interne warmte voor 90% worden terug gewonnen door een regeneratief warmteterugwin systeem. Dit systeem warmt de koude aangezogen lucht van buiten op met de warme afgevoerde lucht. Aangezien dit wordt gedaan met een zeer hoog rendement zal de aangezogen ventilatielucht nooit kouder zijn dan ca. 16°C. Omdat ook de transmissieverliezen zijn gereduceerd, is maar zeer weinig additionele warmte nodig om de school op temperatuur te houden. De warmte wordt geleverd door een HR cv-installatie die de - toch al warme – ingeblazen ventilatielucht verder verwarmt. Onderstaand nomogram toont de verhouding tussen noodzakelijke 'bij stook energie' en terug gewonnen warmte door warmteterugwinning.

Concept III: Warmtepomp in combinatie met bodemwarmtewisselaar (aardwarmte)

Warmtepomp onttrekt warmte aan de bodem en waardeert deze warmte verder op naar een voldoende hoge temperatuur voor het lage temperatuur verwarmingssysteem (vloerverwarming). Tevens biedt de bodemwarmtewisselaar de mogelijkheid om in warme perioden de ventilatielucht enkele graden af te koelen met een minimale hoeveelheid benodigde energie. De conventionele HR cv-ketel springt bij op extreem koude dagen, wanneer de warmtepomp niet voldoende warmte kan leveren.

Concept IV: Geoptimaliseerde gebouwschil verlichting en ventilatoren met warmteterugwinning door een elektrisch aangedreven warmtepomp en een additionele HR cv-ketel.

Dit concept verschilt van concept III doordat hier alleen afzuig ventilatie wordt toegepast, een warmtepomp wordt ingezet met als bron de ventilatielucht en een additionele HR cv-ketel is geplaatst voor het aanwarmen van de school en het bij stoken op koude dagen. In dit concept wordt door de warmtepomp warmte onttrokken aan de ventilatielucht. Deze warmte wordt naar een hogere temperatuur gebracht en gebruikt voor het opwarmen van de ventilatielucht. Additionele verwarming van de ventilatielucht door een gasgestookte HR cv-ketel zal nodig zijn voor het aanwarmen van het gebouw en op koude dagen. Onderstaand nomogram toont de verhouding tussen noodzakelijke 'bij stook energie' en terug gewonnen warmte door de warmtepomp.

BIJLAGE 3:OVERZICHT VAN BEREKENDE RESULTATEN VAN CONCEPTEN

	Referentie situatie			Concept I: Geoptimaliseerde verlichting, ventilatoren en HR cv- ketel			Concept II: Geoptimaliseerde verlichting, ventilatoren en 90% wtw, HR cv- ketel			Concept III: Geoptimaliseerde verlichting, ventilatoren en 70% inzet van warmtepomp (aardwarmte), 30% HR cv-ketel			Concept IV: Geoptimaliseerde verlichting, ventilatoren en 70% inzet van warmtepomp (ventilatielucht), 30% HR cv-ketel		
	vraag kWh	primair m ³	CO ₂ kg	vraag kWh	primair m ³	CO ₂ kg	vraag kWh	primair m ³	CO ₂ kg	vraag kWh	primair m ³	CO ₂ kg	vraag kWh	primair m ³	CO ₂ kg
Verlichting	23290	6094	10786	11600	3035	5372	11600	3035	5372	11600	3035	5372	11600	3035	5372
Ventilatoren	2880	753	1334	2880	753	1334	3050	798	1412	2880	753	1334	2880	753	1334
Warm tapwater	1180	148	261	1180	148	261	1180	148	261	1180	148	261	1180	77	137
Warmtepomp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35583	2327	4119	35583	2327	4119
CV installatie	50833	6354	11247	50833	6354	11247	30833	3854	6822	15250	1906	3374	15250	1906	3374
Totaal	78183	13349	23628	66493	10290	18213	46663	7835	13868	66493	8169	14460	66493	8098	14333
Besparing t.o.v. referentie	-	-	-	11690	3059	5415	31520	5514	9760	11690	5180	9168	11690	5251	9295

BIJLAGE 4: OVERZICHT VOOR CONCEPT KEUZE GEBASEERD OP GLOBALE KOSTENINDICATIE

	Energie prestatie Volgens EPU	Verbeterde verlichting en efficiënte ventilatoren fl. 15.000	Afzuig- en toevoer ventilatie met HR wtw fl. 50.000	Alleen afzuigventilatie zonder wtw fl. 10.000	Wtw ⁸ door warmtepomp op ventilatielucht fl. 1.500 /kW	Warmtepomp (aardwarmte) fl. 3.000 /kW	HR cv-ketel fl. 300 /kW	Totale aanschaf kosten van concept	Jaarlijkse energie kosten (gas + elektra)	Jaarlijkse exploitatie kosten	Meer-investering t.o.v. referentie
Referentie	1,0	nee	nee	ja	nee	nee	ja (110 kW)	43.000	9.135	12.861	-
Concept I	0,89	ja	nee	ja	nee	nee	ja (110 kW)	58.000	6.856	11.882	15.000
Concept II	0,66	ja	ja	nee	nee	nee	ja (45 kW)	78.500	5.331	12.134	35.500
Concept III	0,70	ja	nee	ja	nee	ja (50 kW)	ja (110 kW)	208.000	6.729	27.755	165.000
Concept IV	0,6	ja	nee	ja	ja (50 kW) ⁹	nee	ja (110 kW)	133.000	11.203	12.360	90.000

Alle bedragen die worden genoemd in deze tabel zijn indicaties en vormen alleen een uitgangspunt voor het beoordelen van de concepten.

Aannames:

De extra kosten voor verbeterde isolatie wordt niet afgeschreven, aangezien dit een maatregel is voor de gehele levensduur van de school. Alle installatietechnische maatregelen zijn gebaseerd op een afschrijving van 15 jaar. Onderhoud aan de cv-installatie, ventilatie systeem (afzuig en toevoer met HR wtw) en energiezuinige verlichting en ventilatoren bedraagt jaarlijks 2% van de bruto investeringskosten. Jaarlijkse onderhoudskosten aan de warmtepomp systemen is geraamd op 4% van de bruto investeringskosten. De jaarlijkse kosten voor inkoop van energie is gebaseerd op een gasprijs van 60 ct/m³ en een elektrische kWh prijs van 20 ct/kWh (mix van dag en nacht tarief). Voor alle concepten wordt uitgegaan dat de benodigde elektriciteit wordt geleverd door het net.

⁸ WarmteTerugWinning

⁹ Thermisch vermogen wordt beperkt door de maximale hoeveelheid toegevoerde lucht

BIJLAGE 5: UITDRAAI EPN BEREKENING

