

Kengetallen voor na- isolatie utiliteitsbouw Vesta MAIS model



TNO 2023 P11550 – 4 december 2023

Kengetallen voor na-isolatie utiliteitsbouw Vesta MAIS model

Auteurs	H.W. Jonker J.M. Sipma
Rubricering rapport	TNO Publiek
Managementuittreksel	TNO Publiek
Aantal pagina's	62 (excl. voor- en achterblad)

Erratum versie 2 maart 2024: Update tabel 2.14 kierdichting pakket nieuwbouw moest aangevinkt zijn voor de bouwjaarklassen voor 2013.

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2023 TNO

Samenvatting

Update kengetallen investeringskosten en energiebesparing na-isolatie Vesta MAIS model

Dit is een onderzoek naar kengetallen voor de investeringskosten en energiebesparing van na-isolatie in de utiliteitsbouw, dat is uitgevoerd voor PBL, ten behoeve van het Vesta MAIS model. Het betreft een update van de vorige kengetallen, met een prijspeil uit 2016, en een update van de methodiek.

Het Vesta MAIS model is een ruimtelijk model dat inzicht geeft in de potentiële en kosten van de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. De kengetallen bestaan uit de investeringskosten en energiebesparing voor na-isolatie van de gebouwschil in de bestaande utiliteitsbouw. Het betreft na-isolatie van de gevel, vloer, dak, ramen en kierdichting.

Uitgangssituatie op basis van invoergegevens energielabeldatabase

De uitgangssituatie voorafgaand aan na-isolatie is bepaald met de invoergegevens van de energielabels van 80 duizend utiliteitsgebouwen in Nederland. Hierbij is onderscheid gemaakt naar vijf bouwjaarklassen, gebaseerd op overeenkomende energetische kwaliteit van de gebouwen veroorzaakt door veranderingen in het Bouwbesluit. Er is niet gedifferentieerd naar gebruiksfunctie.

Doelsituatie voor drie ambitieniveaus

Bij de doelsituatie na uitvoering van na-isolatie maken we onderscheid naar drie maatregelpakketten met een verschillend ambitieniveau, namelijk een klein, groot en nieuwbouw pakket. Deze pakketten passen bij verschillende warmtetechnieken met verschillende temperatuurniveaus in het Vesta MAIS model. Het kleine pakket sluit aan op de in de praktijk meest genomen maatregelen volgens het Panteia onderzoek. De database met invoergegevens energielabels is gebruikt om het grote maatregelpakket in kaart te brengen. Daarin zijn de renovaties na 2015, die resulteren in energielabel A geanalyseerd. Het nieuwbouwpakket sluit aan op de huidige Bouwbesluit 2021 eisen voor grootschalige renovatie, naar nieuwbouwniveau.

Investeringskosten na-isolatie op basis van RVO kostendatabase

De investeringskosten zijn bepaald met de RVO kostendatabase. Daarbij is een weging gemaakt tussen verschillende materialen voor na-isolatie en verschillende uitgangssituaties. Deze zijn met de database 'Invoergegevens energielabels', monitoringsonderzoek en expert inzichten zo veel mogelijk afgestemd op praktijksituaties. Het betreft de kosten voor het uitvoeren van verduurzamingsmaatregelen op een zelfstandig moment. Ook is de werkelijke geometrie van de utiliteitsbouw gebruikt voor het bepalen van de investeringskosten. Deze geometrie van ieder gebouw en verblijfsobject is te vinden in de Verrijkte BAG. PBL kan de aangeleverde data van TNO verwerken tot een inputbestand voor het Vesta MAIS model.

Energiebesparing ingeschat op basis van gemiddeld energieverbruik naar labelklasse

De energiebesparing bestaat uit de verminderde ruimteverwarming door verbeterde isolatie, de besparing in ruimtekoeling is niet meegenomen. De besparing in ruimteverwarming is uitgedrukt in aardgasbesparing, per gebruiksfunctie, door een koppeling te maken tussen een energielabel en de maatregelpakketten. Hiervoor zijn kengetallen voor het gemiddelde

energieverbruik per gebruiksfunctie naar energielabel uit de Verrijkte BAG (Sipma, 2023) gebruikt. Door het energielabel en het bouwjaar te vergelijken is getracht rekening te houden met eerder uitgevoerde renovaties.

Ook is een aantal gebruiksfuncties in de Verrijkte BAG verder opgesplitst. Dit betrof gebruiksfuncties waarvan de vraag voor warmte afwijkt binnen de gebruiksfunctie, en wanneer sprake kan zijn van een bron van restwarmte. Dit resulteerde in de gebruiksfuncties zwembad, sauna en koelhallen en datacentra. Daarvan zijn de energieverbruiken verzameld en is verder gespecificeerd waar deze gebouwen zich bevinden in Nederland. Deze uitbreiding wordt eveneens toegevoegd aan de Verrijkte BAG. Deze data worden door PBL niet gebruikt omdat dit een modelaanpassing in het Vesta MAIS model zou vragen.

Kengetallen over na-isolatie zijn toegevoegd aan Verrijkte BAG bestand

De investeringskosten en energiebesparing zijn door TNO toegevoegd aan de Verrijkte BAG voor ieder gebouw in Nederland. PBL kan de aangeleverde data van TNO verwerken tot een inputbestand voor het Vesta MAIS model. In deze inputfile is voor investeringskosten gecorrigeerd voor gebruiksfunctie en vier oppervlaktegrootteklassen.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Inhoudsopgave.....	5
Afkortingen.....	6
1 Inleiding.....	7
2 Maatregelpakketten.....	9
2.1 Aanpak.....	9
2.2 Uitgangssituatie.....	10
2.3 Doelsituatie.....	18
2.4 Maatregelpakketten.....	23
3 Energiebesparing.....	25
3.1 Verschillende methodes energiebesparing.....	25
3.2 Energieverbruik.....	26
3.3 Specificering gebruiksfuncties.....	28
3.4 Onderzoeksbependingen.....	28
4 Investeringskosten.....	30
4.1 Methode.....	30
4.2 Ramen.....	31
4.3 Gevels.....	33
4.4 Daken.....	35
4.5 Vloeren.....	36
4.6 Kierdichting.....	37
4.7 Geometrie.....	37
4.8 Verwerking kengetallen.....	39
4.9 Voorbeeldberekening voor referentiegebouw.....	41
4.10 Onderzoeksbependingen.....	43
5 Aanbevelingen.....	45
Referenties.....	46
Bijlagen	
Bijlage A: Analyse uitgangssituatie warmteweerstanden	49
Bijlage B: Analyse renovaties all-electric en zon-PV	52
Bijlage C: Kostenkengetallen RVO	53
Bijlage D: Verklarende factoren voor visuele afwijkingen investeringskosten	59

Afkortingen

Afkorting	Omschrijving
BVO	Bruto vloeroppervlak
GO	Gebruiksoppervlak
NGO	Netto geveloppervlak
OG	Open geveloppervlak
NDO	Netto dakoppervlak
GGO	Gesloten geveloppervlak
WTW	warmteterugwinning
BAG	Basisregistratie adressen en gebouwen
EPS	Expanded Polystyrene (geëxpandeerd polystyreen)
PS	Polystyreen
PIR	Polyisocyanuraat
EI score	Energie Index score
FORF	Forfaitaire
HR	Hoog rendement

1 Inleiding

Aanleiding

PBL heeft TNO gevraagd een update te maken van de kengetallen voor het energieverbruik (aardgas en elektriciteit) en de investeringskosten van na-isolatie bij utiliteitsgebouwen voor haar Vesta MAIS model. Vesta MAIS is een ruimtelijk model dat inzicht geeft in de potentiële en kosten van de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. De huidige kengetallen¹ in Vesta MAIS voor het energieverbruik zijn gebaseerd op onderzoek van ECN (Jeffrey Sipma) en bewerkt voor het Vesta MAIS-invoerbestand door CE Delft (2015). De kengetallen van de investeringskosten van na-isolatie in bestaande utiliteitsgebouwen zijn opgesteld door Brink (2020), met prijspeil 2016, mede naar aanleiding van TNO aanbevelingen (Niessink 2019). We bespreken in de inleiding eerst deze aanbevelingen die door Brink niet allemaal konden worden verwerkt, omdat deze sturing geven aan de methode. Na een beschrijving van de methode eindigt deze inleiding met een leeswijzer bij dit rapport.

Aanbevelingen uit eerder onderzoek

In het vorige onderzoek van Brink (2020) zijn de investeringskosten bepaald aan de hand van de huidige situatie en twee schillabel pakketten voor referentiegebouwen. Hierbij werd naar een R_c waarde geïsoleerd van ongeveer 3,5 of 5. De investeringskosten werden bepaald aan de hand van referentiegebouwen per gebruiksfunctie. Aanbevelingen en mogelijke aanpassingen op deze methodiek zijn destijds verzameld door Niessink (2019).

Eén van de belangrijkste aanbevelingen over de keuze van de maatregelpakketten was; houd rekening met renovaties. Doordat de uitgangssituatie is gebaseerd op het bouwjaar kon niet gecorrigeerd worden voor eerder uitgevoerde renovaties. Daarnaast werd aanbevolen kritisch te kijken naar het isoleren van de gehele schil, aangezien het warmteverlies niet uniform is voor alle bouwdelen. Hiermee wordt bedoeld dat er prioritering kan zijn tussen de bouwdelen bij na-isoleren, op basis van het warmteverlies dat optreedt in de bouwdelen. Tot slot werd gesteld dat het verstandig is warmteverstanden over te nemen uit het Bouwbesluit, in plaats van uit te gaan van dezelfde isolatieniveaus voor alle bouwdelen.

De laatste twee aanbevelingen leiden tot het differentiëren van isolatieniveaus per bouwdeel en suggereren om niet per definitie alle bouwdelen aan te pakken in een maatregelpakket. Doordat de databeschikbaarheid is toegenomen kan er in de Verrijkte BAG worden nagegaan of een bouwdeel aanwezig is in een gebouw. Ook is geanalyseerd wat de meest voorkomende isolatiewaarden zijn per bouwjaarklasse. Echter is het op gebouwniveau niet bekend of een gebouw al gerenoveerd is. Wel is voor een deel van de gebouwen het huidige energielabel bekend. Er zal geen maatregelpakket worden toegepast wanneer dit niet tot een verbetering van het energielabel leidt. Op deze manier is op een versimpelde manier rekening gehouden met renovatie.

Tot slot heeft Niessink (2019) aanbevelingen gedaan over de kengetallen voor de energiebesparing en investeringskosten. Er werd aangeraden om onderzoek te doen naar de invloed van de grootteklasse van gebouwen op de investeringen en energiebesparing. Als laatste werd opgemerkt dat matig verwarmde gebouwen gering effect ondervinden van

¹ Kengetallen geven een indicatie van de kosten voor het nemen van energiebesparende maatregelen.

isolatiemaatregelen. Over het effect van schaalvoordelen op investeringskosten is geen data beschikbaar, en daarom is dit niet meegenomen. Kengetallen over energiebesparing zijn gedifferentieerd naar grootteklassen met informatie uit de Verrijkte BAG.

Methode

In dit rapport onderzoeken we welke maatregelpakketten voor na-isolatie van utiliteitsgebouwen onderdeel zouden moeten zijn van het Vesta MAIS model. Vesta MAIS is een technisch-economisch rekenmodel dat is ontwikkeld om inzicht te krijgen in de mogelijke transitiepaden van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving op de langere termijn. Daarom zijn de maatregelpakketten afgestemd op verschillende verwarmingstechnieken waaronder warmtenetten met drie verschillende temperaturniveaus in warmtelevering. Het Bouwbesluit, dat voorschriften geeft bij nieuwbouw, verbouw en renovatie van gebouwen, geeft een goede leidraad voor de uitgangssituatie, horend bij een bouwjaarklasse. Het streven is om de maatregelpakketten voor na-isolatie af te stemmen op praktijksituaties door de in de praktijk meest genomen maatregelen op te nemen.

De investeringskosten in isolatiemaatregelen worden bepaald aan de hand van de RVO database 'Kostenkengetallen' (RVO, 2023). De totale investeringskosten zijn afhankelijk van de grootte en geometrie van een gebouw en van de uitgangssituatie.

Daarbij is gekeken of het mogelijk is om de maatregelpakketten te koppelen aan een energielabel. We maken gebruik van een database met invoergegevens op basis waarvan de energielabels zijn bepaald, in dit rapport wordt hiernaar verwezen als Database 'invoergegevens energielabels'. Deze data zijn afkomstig uit de inijkingsstudie van energielabels door W/E adviseurs (Nuiten, 2020a). De database bevat de gegevens van 92 duizend verblijfsobjecten met een energielabel uit de periode 2016 t/m 2020. De energiebesparing van verschillende maatregelpakketten kan vervolgens worden bepaald door het verschil in energieverbruik van gebouwen met een verschillend energielabel te bepalen.

Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 bepalen we de maatregelpakketten voor na-isolatie aan de hand van de analyse van de uitgangssituatie en de doelsituatie in de praktijk. In Hoofdstuk 3 bepalen we de energiebesparing die met de maatregelpakketten kan worden gerealiseerd. In Hoofdstuk 4 bepalen we de investeringskosten van deze maatregelpakketten. Aan het einde van Hoofdstuk 3 en 4 worden de aannames en -beperkingen in het onderzoek besproken. Het rapport wordt afgesloten met een opsomming van aanbevelingen.

2 Maatregelpakketten

In dit hoofdstuk adviseren we over de samenstelling van verschillende maatregelpakketten voor na-isolatie van utiliteitsgebouwen. Met de maatregelen uit het pakket wordt de isolatiewaarde van een gebouw of verblijfsobject verbeterd van de uitgangssituatie naar de doelsituatie. Eerst beschrijven we in paragraaf 2.1 de aanpak, vervolgens in paragraaf 2.2 de resultaten voor de uitgangssituatie en in paragraaf 2.3 de resultaten voor de doelsituatie. In paragraaf 2.4 geven we een overzicht van de maatregelpakketten.

2.1 Aanpak

Het streven is om de maatregelpakketten voor na-isolatie af te stemmen op praktijksituaties door de in de praktijk meest genomen maatregelen op te nemen. Daarbij is gekeken of het mogelijk is om de maatregelpakketten te koppelen aan een energielabel. Dit impliceert het vinden van een warmteweerstand per bouwdeel dat veel voorkomt bij een bepaald energielabel. De thermische warmteweerstand wordt voor gevels, daken en vloeren uitgedrukt in R_c [$m^2 K/W$] en voor ramen (glas mét kozijn) in U_w -waarde [W/m^2K]. De R_c -waarde wordt berekend door de dikte van een isolatiemateriaal te delen door de warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal (λ). Bij de U_w -waarde is het net andersom. Daar wordt de warmtegeleidingscoëfficiënt gedeeld door de dikte van het materiaal.

Database invoergegevens labeldatabase

We maken daarbij gebruik van de achterliggende invoergegevens van de berekening van de energielabels. Deze data zijn afkomstig uit de inijkingsstudie van energielabels uitgevoerd en beschikbaar gesteld door W/E adviseurs. Voor de inijking is een analyse gedaan naar de validiteit. Daarbij zijn objecten met labels die voor 2015 zijn afgegeven, vanwege veranderde methodiek, niet meegenomen. Ook zijn andere validiteitschecks, zoals van de validiteit van de EI (Energie-intensiteit) score, uitgevoerd. Zie het rapport Nuiten (2020) voor een uitgebreide beschrijving van de validiteitschecks. De peildatum is 31 december 2020. De dataset telt 92 duizend ‘valide’ verblijfsobjecten en bevat gegevens over de warmteweerstand van gevels, ramen, dak, vloer en de verhouding tussen het raamoppervlak en het dichte geveloppervlak.

In de database hebben we per verblijfsobject de ongewogen gemiddelde R_c - en U_w -waarden van de vloer, gevel, dak en ramen bepaald. Het ongewogen gemiddelde betekent dat dit bepaald is door elk object even zwaar mee te laten wegen. Daarnaast is een variabele toegevoegd voor een indeling in bouwjaarklassen en een variabele voor een all-electric situatie bij de combinatie van geen gasverbruik en een elektrische warmtepomp als preferent verwarmingssysteem. Om de uitgangssituatie en doelsituatie los van elkaar te analyseren wordt een onderscheid gemaakt tussen ‘gerenoveerd vanaf 2015’ en ‘niet gerenoveerd of gerenoveerd voor 2015’. Deze variabele wordt bepaald met het renovatiejaar welke terug te vinden is in de database.

Filteren extreme waarden

Doordat de Database 'invoergegevens energielabels' handmatig wordt gevuld kunnen er fouten voorkomen in de data. Bijvoorbeeld doordat een punt door een komma is vervangen, of andersom. Daarom worden twee filters toegepast voor extreme waarden. Allereerst is een R_c - of U_w -waarde van 0 niet reëel. Daarom worden deze vervangen door een lege cel. Ook een R_c waarde van hoger dan 10 wordt onwaarschijnlijk geacht. In deze gevallen is de R_c -waarde ook vervangen door een lege cel.

Analyse uitgangssituatie

De uitgangssituatie is geanalyseerd door de database te filteren voor 'niet gerenoveerd of gerenoveerd voor 2015'. Hiermee zijn de recent gerenoveerde panden niet meegenomen in de analyse. Deze recent gerenoveerde panden maken namelijk juist deel uit van de doelsituatie. Met verschillende analyses is gekeken welke indicatoren de uitgangssituatie het best representeren. De relevante indicatoren die beschikbaar zijn in de Verrijkte BAG zijn bouwjaar en energielabel. Om te bepalen welke indicator het meest geschikt is, wordt de relatie tussen bouwjaar of energielabel en de thermische isolatie vergeleken. Dit is geëvalueerd door voor het bouwjaar en het energielabel de spreiding, verdeling, modus en gemiddelde van de isolatiewaarden te vergelijken. Met behulp van frequentie figuren is bepaald welke isolatiewaarden veel voorkomen.

Analyse doelsituatie

Daarna worden de doelsituaties gedefinieerd. Hiervoor zijn verschillende verwarmingstechnieken en het daarvoor benodigd isolatieniveau zoveel mogelijk op elkaar afgestemd. Ook is getracht aan te sluiten bij de renovatiestandaard, echter, deze is alleen uitgedrukt in een energielabel, namelijk 'A+++ of 'A++' afhankelijk van de gebruiksfunctie, en niet in een isolatieniveau (RVO, 2023). Verder is gezocht naar praktijksituaties voor meest voorkomende maatregelen bij schilverbetering. Er is onderzocht welk bouwdeel het meest wordt aangepakt en naar welk isolatieniveau dit wordt gebracht. Daarvoor zijn literatuur, de Database 'invoergegevens energielabels', het Bouwbesluit en expertinzichten gebruikt om de verschillende doelsituaties te bepalen. De Database 'invoergegevens energielabels' wordt gebruikt om het grote maatregelpakket in kaart te brengen. Daarin zijn de renovaties na 2015 geanalyseerd. Naar aanleiding van de wijzigingen in het Bouwbesluit in 2015, is dit als relevant renovatiejaar genomen. Het nieuwbouwpakket sluit aan op de huidige Bouwbesluit 2021 eisen voor grootschalige renovatie, naar nieuwbouwniveau. Het kleine pakket sluit aan op de in de praktijk meest genomen maatregelen

Maatregelpakketten

Op basis van de analyse van de doelsituaties is gekozen voor een klein, groot en nieuwbouw maatregelpakket. Een maatregelpakket omvat de investeringskosten per pakket per uitgangssituatie. Om later tot de energiebesparing te komen is ook een *geschat* energielabel bepaald voor ieder maatregelpakket.

2.2 Uitgangssituatie

Voor de uitgangssituatie is gezocht naar de in de praktijk toegepaste isolatiewaarden. Het Bouwbesluit is hierbij een belangrijk startpunt. Het Bouwbesluit wordt eerst beschreven en daarna worden de gebruiksfuncties vergeleken. Vervolgens wordt een uitgebreide analyse van de Database 'invoergegevens energielabels' gepresenteerd en aan de hand daarvan wordt een classificatie van bouwjaar en isolatiekwaliteit bepaald. Deze wordt aan het eind van de paragraaf gepresenteerd.

Bouwbesluit

In het Bouwbesluit worden eisen gesteld aan o.a. de thermische kwaliteit van nieuwbouw, renovatie en verbouw. Deze eisen zijn door de jaren heen steeds hoger geworden, zoals te zien is in [Tabel 2.1](#). In het Bouwbesluit zijn drie kwaliteitseisen te vinden. Voor de uitgangssituatie is het nieuwbouwniveau relevant. Verder is er het niveau voor verbouw en het rechtens verkregen niveau. Bij verbouw gelden de eisen bij veranderen of vergroten van een bouwwerk (BZK, Bouwbesluit 2012). Bij een renovatie die meer dan 25% van het oppervlakte van de gebouwschil betreft en wanneer er sprake is van een integrale gebouwschil gelden de nieuwbouweisen. In [Tabel 2.1](#) is te zien dat tussen 2015 en 2021 een kleine verhoging van isolatiewaarden heeft plaatsgevonden. Dit komt door een veranderde rekenmethodiek en dit is dus in principe geen verhoogd voorschrift.

Tabel 2.1: Overzicht warmteweerstand voorschriften voor nieuwbouw en verbouw sinds 1992

	Dak (Rc)	Gevel (Rc)	Vloer (Rc)	Ramen (Uw)	Bron
Voor 1992	Geen eisen				
Bouwbesluit 1992 Nieuwbouw	Minimale eis voor totale schil 2,5				van Kuijeren, 2021
Bouwbesluit 2003 Nieuwbouw	2,5			4,2	Bouwbesluit online 2003 afdeling 5.1 (en 5.2)
Bouwbesluit 2003 Verbouw	1,3*			Geen	Bouwbesluit online 2003 afdeling 5.6
Bouwbesluit 2012 Nieuwbouw	3,5	3,5	3,5	Ten hoogste 1,65	duurzaamstaal, n.d.
Bouwbesluit 2012 Nieuwbouw Update 2015	6,0	4,5	3,5	Gemiddeld 1,65 ² . Ten hoogste 2,2.	duurzaamstaal, n.d.
Bouwbesluit 2012 Nieuwbouw Update 2021	6,3	4,7	3,7	Gemiddeld: 1,65. Ten hoogste: 2,2	Bouwbesluit online 2012 afdeling 5.3
Bouwbesluit 2012 Gedeeltelijk vernieuwen, veranderen, vergroten Update 2021	Rechtens verkregen niveau en niet lager dan 1,4				Bouwbesluit online 2012 afdeling 5.6.1
Bouwbesluit 2012 Vernieuwen of vervangen van isolatielagen Update 2021	2,1	1,4	2,6	2,2	Bouwbesluit online 2012 afdeling 5.6.2

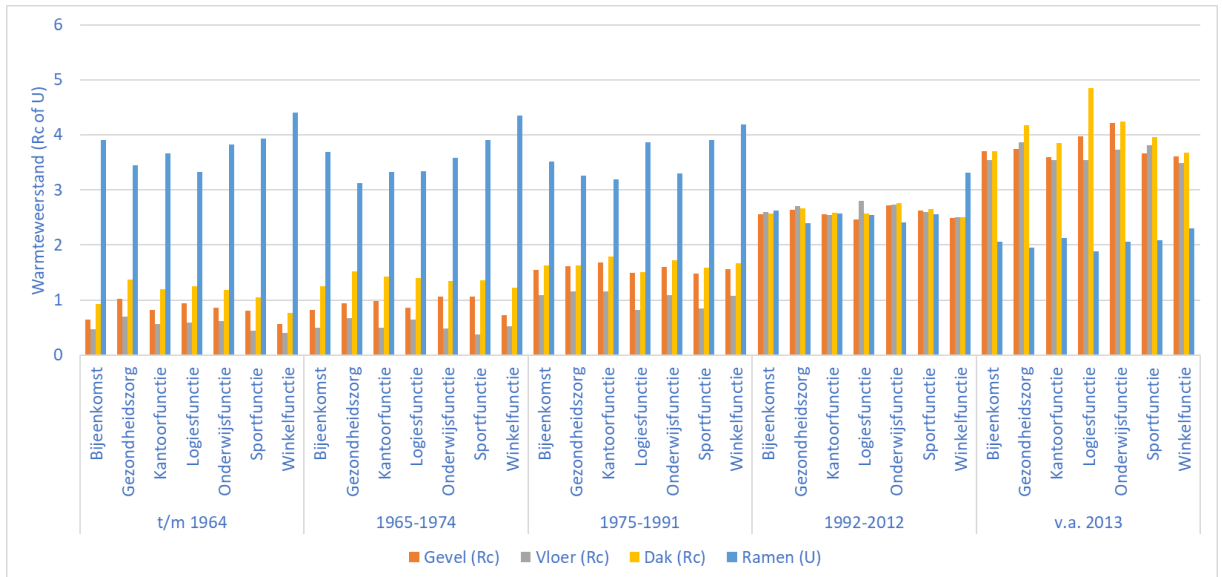
*Niet meer dan 1,2 Rc lager dan nieuwbouw.

Verskil gebruiksfuncties

We hebben gekeken of er grote verschillen in isolatie zijn tussen verblijfsobjecten met een verschillende gebruiksfunctie. Uit de data blijkt dat de gemiddelde isolatiegraad van de verschillende gebruiksfuncties vergelijkbaar is. Een hogere bouwjaarklasse leidt stapsgewijs tot een betere isolatiewaarde. Vooral in de bouwjaarklasse ‘1992 t/m 2012’ is een duidelijke toename te zien. Dit wordt veroorzaakt door de introductie van het Bouwbesluit. Ook voor de bouwjaarklasse ‘v.a. 2013’ is dit te zien, ook hier is een direct verband met het Bouwbesluit

² Dit is een versoepeling t.o.v. 2012.

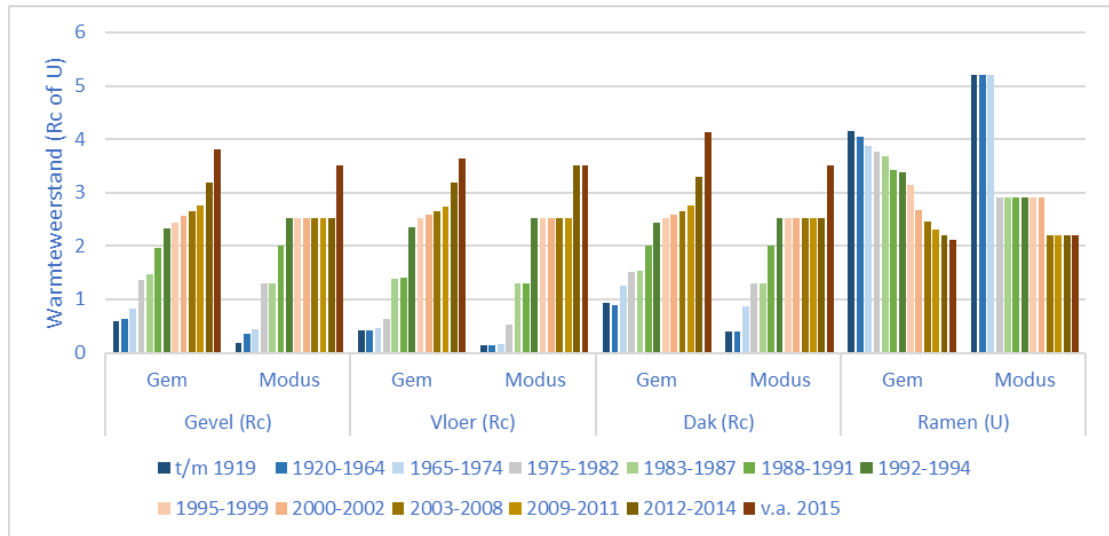
aannemelijk. Er zijn wel verschillen tussen de gebruiksfuncties op te merken. Zo hebben winkels in alle bouwjaarklassen de slechtste raamisolatie waarde, maar het verschil met de andere gebruiksfuncties is niet groot. De andere gebruiksfuncties hebben redelijk overeenkomende waarden. Daarom zal de utiliteitsbouw als geheel worden geanalyseerd. In **Figuur 2.1** zijn de verschillen gevisualiseerd.



Figuur 2.1 Ongewogen gemiddelde isolatiewaarden van verschillende bouwdelen naar gebruiksfunctie (Nuiten, 2020) bewerking TNO

Uitgebreide analyse uitgangssituatie

Voor de uitgangssituatie worden de verblijfsobjecten met als kenmerk ‘niet gerenoveerd of gerenoveerd voor 2015’ van de database geanalyseerd, wat een aantal van ruim 90 duizend verblijfsobjecten oplevert. De analyse van de uitgangssituatie is uitgevoerd zowel naar energielabel als naar bouwjaarklasse. Hierbij zijn verschillende analyses uitgevoerd (met/zonder ruimtekoeling, wel/geen PV panelen, type warmte installatie). De classificatie bouwjaarklasse liet de beste relatie met warmteweerstand zien en is weergegeven in de Appendix van deze notitie. Daarin is terug te vinden dat voor de bouwdelen dak en vloer er per bouwjaarklasse een duidelijk dominante R_c waarde te herkennen is per bouwjaarcategorie. Voor ramen is dit voor één bouwjaarklasse niet eenduidig. In **Figuur 2.2** is te zien is dat voor meerdere bouwjaarklassen een vergelijkbaar gemiddelde en dezelfde modus gevonden wordt. Het is mogelijk om de resultaten verder te groeperen en te vereenvoudigen hetgeen in een later stadium van het onderzoek de stap naar investeringskosten vergemakkelijkt.



Figuur 2.2: Het gemiddelde en de modus van de warmteweerstand per bouwdeel voor de bouwjaarklassen van verblijfsobjecten met als kenmerk ‘niet gerenoveerd of gerenoveerd voor 2015’ (Nuiten, 2020) bewerking TNO

Classificeren resultaten

Aan de hand van de resultaten uit de stap hierboven worden de resultaten samengevoegd en vereenvoudigd. Hierbij wordt telkens afgewogen of de gemiddelde en modus overeenkomen voor alle bouwdelen binnen de bouwjaarklasse. Het Bouwbesluit is hierbij een goede leidraad. Ook voor isolatie kunnen niveaus per bouwdeel worden geclassificeerd, wat ook in een later stadium van het onderzoek de stap naar investeringskosten vergemakkelijkt.

Bouwjaarklasse

De eerdere bouwjaarklassen worden verder samengevoegd. Daarin is steeds gekeken wat de meerwaarde van verder opdelen is. Het bouwdeel gevel is het startpunt, daarna is ook voor de bouwdelen dak en vloer gekeken of deze bouwjaarklassen tot een eenduidig beeld leiden in isolatieklassen. Dit levert de bouwjaarklassen in [Tabel 2.2](#) op.

Tabel 2.2: Bouwjaarklassen categorisering

Bouwjaarklasse	Opmerkingen per bouwdeel bij indeling bouwjaarklassen
t/m 1964	Gevel: voor 1964 opsplitsen bij 1900 of 1919 leidt tot een grotere groep zonder spouw. Maar niet overtuigend. Daarbij liggen het gemiddelde en de modus (0,58 en 0,63) zo dicht bij elkaar dat onderscheid weinig toevoegt.
1965-1974	Dak: als aparte bouwjaarklasse vanwege dakisolatie. ‘1965-1974’ hogere dakisolatie waarde (gem 1,25 vs 0,9 bij ‘0-1965’).
1975-1991	
1992-2012	Vloer: vergeleken of het ingevoerde Bouwbesluit van 1992 ook vertragend effect had en het verschil kon verklaren in vloer. Dit lijkt niet het geval.
V.a. 2013	Het Bouwbesluit is ingegaan in 2012 maar laat een vertragend effect zien in toegepaste isolatie. Bij het kiezen voor vanaf 2013 is er een duidelijke overgang te zien.

Classificatie isolatieniveau per bouwdeel

Om te bepalen welk isolatieniveau past bij welke type isolatie en welke uitgangssituatie, wordt een classificatie toegepast. De classificatie voor gevel, dak en vloer is gebaseerd op RVO kostenkengetallen (RVO, 2023) en voor ramen op de NTA 8800 database voor U-waarden (VABI, 2020). In [Tabel 2.3](#) tot en met [Tabel 2.6](#) is de opdeling toegelicht. Waar nodig is een tussenstap ingevoegd, bijvoorbeeld omdat de modus eerder niet voorkwam. Toelichting classificaties per bouwdeel.

Tabel 2.3: Classificatie gevel isolatie

Grenswaardes	Klasse	Opmerkingen en bronnen
$0 < R_c < 0,4$	1. Geen spouw	
$0,4 \leq R_c < 1,3$	2. Ongeïsoleerde spouw	Verhoogd van 0,35 (RVO kostenkengetallen) naar 0,4 (Milieucentraal)
$1,3 \leq R_c < 2,5$	3. Matig	RVO kostenkengetallen
$2,5 \leq R_c < 3,5$	4. Goed	RVO kostenkengetallen
$3,5 \leq R_c < 4,5$	5. Zeer goed	Bouwbesluit 2012
$R_c \geq 4,5$	6. Uitstekend	Bouwbesluit 2015

Tabel 2.4: Classificatie dak isolatie

Grenswaardes	Klasse	Opmerkingen en bronnen
$0 < R_c < 1,3$	1. Ongeïsoleerd	RVO kostenkengetallen. Typisch 0,22.
$1,3 \leq R_c < 2,5$	2. Matig	Verlaagd van 1,4 (RVO) naar 1,3. Want 1,3 kwam veel voor o.b.v. modus. Geeft veel verschil in resultaat bouwjaar 1975-1991. Verschil wellicht te wijten aan rekenmethodiek Bouwbesluit
$2,5 \leq R_c < 3,5$	3. Goed	RVO kostenkengetallen
$3,5 \leq R_c < 6,0$	4. Zeer goed	Bouwbesluit 2012
$R_c \geq 6,0$	5. Uitstekend	Bouwbesluit 2015

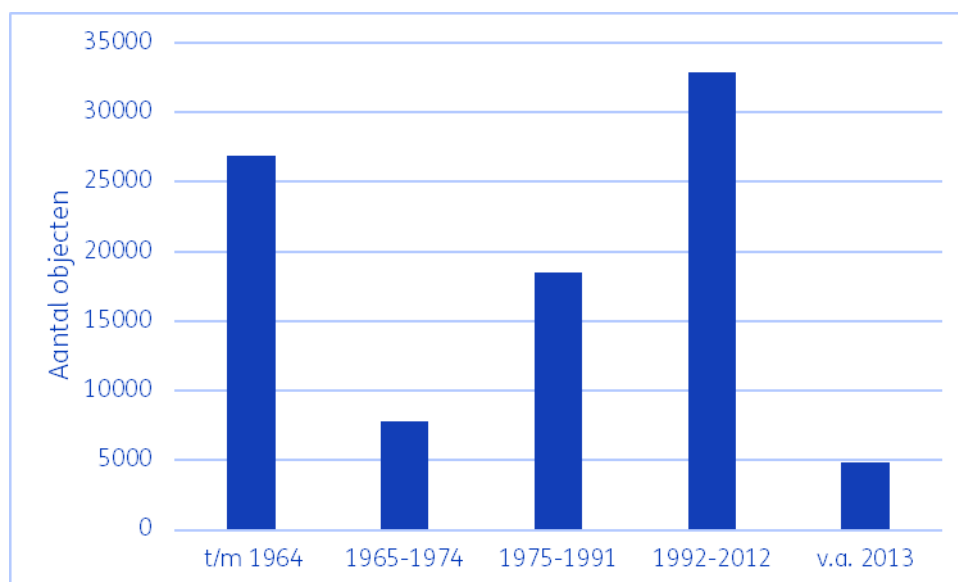
Tabel 2.5: Classificatie vloer isolatie

Grenswaardes	Klasse	Opmerkingen en bronnen
$0 < R_c < 1,3$	1. Ongeïsoleerd	RVO kostenkengetallen. Typisch $R_c=0,15$. Ook slechte isolatie, $R_c < 1,3$ valt hieronder.
$1,3 \leq R_c < 2,5$	2. Matig	Passend bij bouwjaarcategorie 1983 t/m 1992 volgens ISSO 75.1 (2020)
$2,5 \leq R_c < 3,5$	3. Goed	RVO kostenkengetallen
$R_c \geq 3,5$	4. Zeer goed	Bouwbesluit 2012

Tabel 2.6: Classificatie ramen

Grenswaarde	Glastype	Klasse	Opmerkingen en bronnen
$0 < U_w < 1,4$	Triple HR	4. Zeer goed	NTA8800 (o.b.v. houten of kunststof kozijn)
$1,4 \leq U_w < 2,3$	HR/HR+/HR++	3. Goed	NTA8800 (o.b.v. houten of kunststof kozijn)
$2,3 \leq U_w < 2,9$	Standaard dubbelglas of voorzetglas	2. Matig	NTA8800 (o.b.v. houten of kunststof kozijn)
$U_w \geq 2,9$	Enkelglas	1. Ongeïsoleerd	NTA8800 (o.b.v. houten of kunststof kozijn). Typische waarde enkelglas is 5,1.

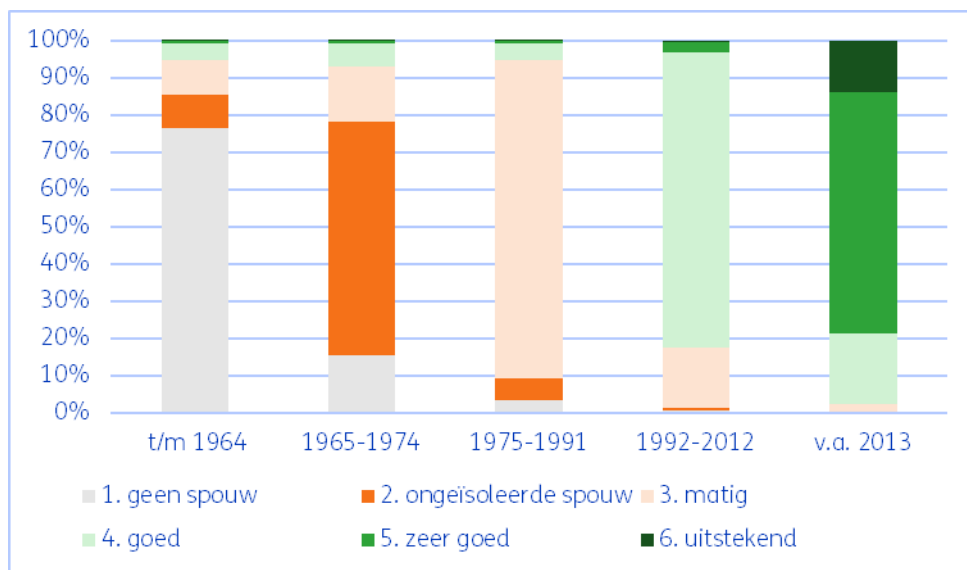
Het aantal verblijfsobjecten in de database is verschillend voor verschillende bouwjaarklassen. In [Figuur 2.3](#) is te zien dat de bouwjaarklasse ‘t/m 1964’ en ‘1992-2012’ het meeste voorkomen. Onder de klassen ‘v.a. 2013’ vallen het kleinste aantal objecten.



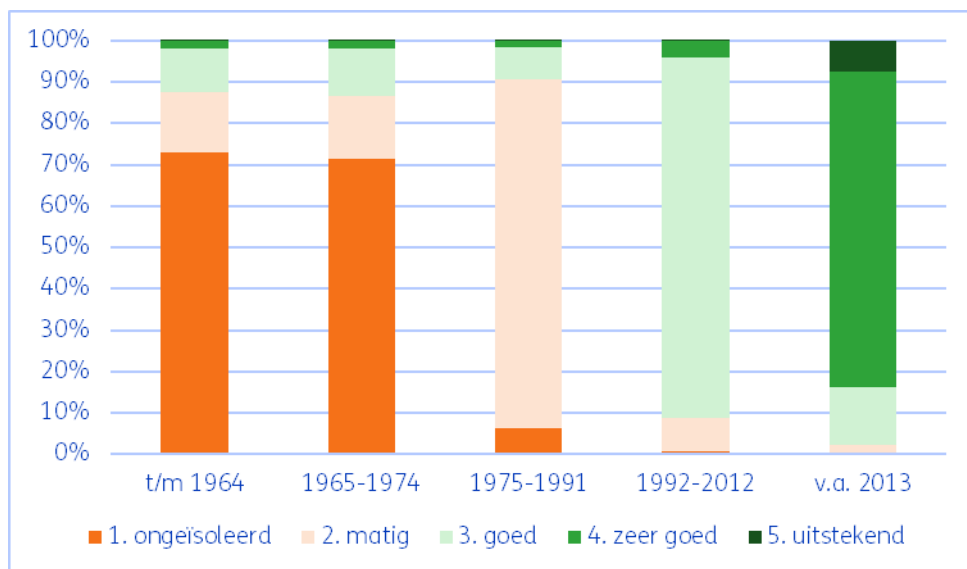
Figuur 2.3: Frequentiefiguur voor de bouwjaarklassen (Nuiten, 2020) bewerking TNO

Met de nieuwe bouwjaarklassen en isolatieklassen kunnen de resultaten per bouwdeel opnieuw bepaald worden, zie

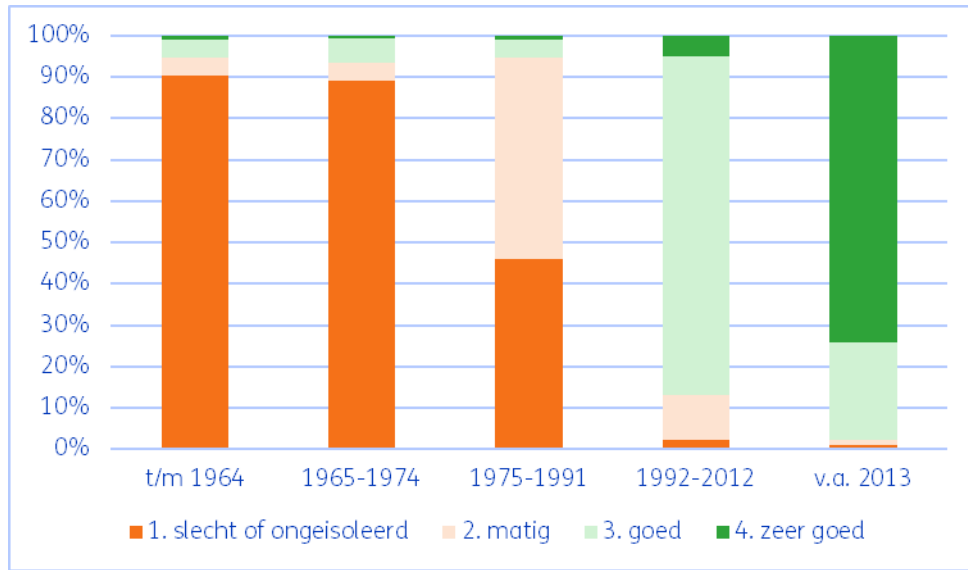
[Figuur 2.4](#) t/m [Figuur 2.7](#). Deze hergroepering geeft alleen voor bouwdeel vloer, bouwjaarklasse ‘1975-1991’ een gemengd beeld van ongeïsoleerd en matig geïsoleerd. Ook bij ramen is diversiteit te herkennen bij de bouwjaarklasse ‘1992-2012’. Voor de andere bouwdeelen en bouwjaarklasse zijn duidelijke dominante isolatieklassen te vinden voor de bouwjaarklassen.



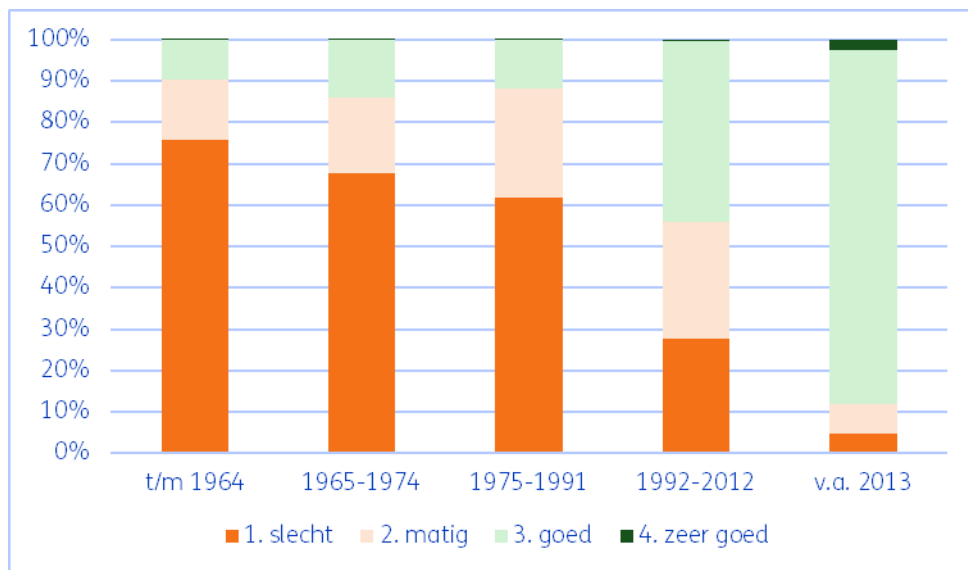
Figuur 2.4: Verdeling isolatieniveau voor gevels per bouwjaarklasse (Nuiten, 2020) bewerking TNO



Figuur 2.5: Verdeling isolatieniveaus voor daken per bouwjaarklasse (Nuiten, 2020) bewerking TNO



Figuur 2.6: Verdeling isolatieniveaus voor vloeren per bouwjaarklasse (Nuiten, 2020) bewerking TNO



Figuur 2.7: Verdeling isolatieniveaus voor ramen per bouwjaarklasse (Nuiten, 2020) bewerking TNO

Kierdichting

Kierdichting wordt toegepast bij de oudere gebouwen. Dit voorkomt warmteverlies. Kierdichting wordt toegepast ter plaatse van de gevel en het dak en zijn daarom alleen van toepassing op het grote en nieuwbouwpakket.

Uitgangssituatie isolatieniveau per bouwdeel per bouwjaarklasse

Om voor de uitgangssituatie tot één isolatieniveau per bouwdeel en bouwjaarklasse te komen is een afweging gemaakt tussen de modus en het gemiddelde. Beide hebben voor- en nadelen. In de meeste gevallen geeft de modus bij de bouwjaarclassen een duidelijk dominante isolatieklasse. Alleen voor het bouwdeel vloer voor bouwjaarklasse ‘1975-1991’

en ramen in bouwjaarklasse ‘1992-2012’ zijn er meerdere veel voorkomende isolatieklassen. Een nadeel van de modus is dat het niet de variëteit dekt die voor sommige bouwdeelen is opgemerkt. Wanneer we voor het *gemiddelde* per bouwjaarklasse zouden kiezen, wordt deze variëteit erkend, doordat het geen klassen uitsluit. Een nadeel van een keuze voor het gemiddelde is dat deze waarden niet herkenbaar kunnen zijn voor de sector, waardoor gemiddeldes moeten worden afgerond naar een in de praktijk toegepaste waarde om tot de uitgangssituatie te komen. In beide situaties moeten aannames gemaakt worden om de praktijksituatie te schetsen. Doordat de modus voor ‘slechts’ twee bouwjaarklasse niet eenduidig is, is gekozen voor de modus. In [Tabel 2.7](#), zijn de resultaten per bouwjaarklasse te zien.

Tabel 2.7: Uitgangssituatie isolatieniveau per bouwdeel per bouwjaarklasse

Bouwjaarklasse	Dak (R_c)	Gevel (R_c)	Vloer (R_c)	Ramen (U_w)	Kierdichting
t/m 1964	Ongeïsoleerd	Geen spouw	Ongeïsoleerd	Enkelglas	Niet aanwezig
1965-1974	Ongeïsoleerd	Ongeïsoleerd spouw	Ongeïsoleerd	Enkelglas	Niet aanwezig
1975-1991	Matig	Matig	Matig*	Enkelglas	Niet aanwezig
1992-2012	Goed	Goed	Goed	HR/HR+/HR++*	Niet aanwezig
v.a. 2013	Zeer goed	Zeer goed	Zeer goed	HR/HR+/HR++	Aanwezig

* Deze bouwjaarklasse heeft geen overtuigende modus

2.3 Doelsituatie

De doelsituatie wordt op basis van de verwarmingstemperatuurniveaus, de renovatiestandaard, de literatuur, het Bouwbesluit en de Database ‘invoergegevens energielabels’ samengesteld. Hierbij zijn drie verschillende doelsituaties geformuleerd, welke hieronder afzonderlijk zijn beschreven.

Temperatuurniveaus

Het Vesta MAIS model wordt mogelijk gebruikt voor een actualisatie van de Startanalyse aardgasvrije buurten. Daarbij is het van belang dat een object geschikt gemaakt kan worden voor het verwarmen met verschillende opties. In de literatuur worden verschillende definities gehanteerd voor hoge temperatuur (HT), midden temperatuur (MT) en lage temperatuur (LT) warmtelevering. In dit onderzoek wordt gewerkt met de aflevertemperaturen 70, 50 en 30°C. Dit is de temperatuur waarop de warmte het huis binnenkomt (ECW, n.d.). Vanwege de verschillende definities van warmteniveaus is in Vesta MAIS model gekozen voor het definiëren aan de hand van temperatuurniveaus.

Aan de hand van de Database ‘invoergegevens energielabels’ en in de literatuur is gezocht naar bouwkundige eisen bij verschillende aanvoertemperaturen die in het Vesta MAIS model gebruikt worden. In de dataset is geen duidelijk verband gevonden tussen een elektrische warmtepomp en betere isolatiewaarden. Dit kan te maken hebben met afhankelijkheid van de gebruiksfuncties en het feit dat er bij utiliteitsbouw vaak meerdere verwarmingsinstallaties aanwezig zijn in één object. Behalve de isolatiegraad is al gebleken

dat vooral het vermogen van de radiatoren een belangrijke factor is in de LT-geschiktheid van een gebouw (Milieucentraal, n.d.; Pothof, Vreeken & Meerkerk, 2022). Voor de utiliteitsbouw is alleen een theoretisch onderzoek beschikbaar waarin het isolatieniveau wordt gekoppeld aan een type installatie. Daarom zijn ook de bouwkundige eisen voor woningen weergegeven in [Tabel 2.8](#). In deze tabel is ook weergegeven welke aflevert temperatuur past bij welk type verwarmingsinstallatie. Dit resulteert in drie verschillende aflevert temperatuurniveaus. Een aanbeveling is om ook voor de utiliteitsbouw meer praktijkonderzoek te doen naar verwarmingsniveaus en bouwkundige eisen.

Tabel 2.8: Temperatuurniveaus voor woning- en utiliteitsbouw

Aflever temperatuur (°C)	Typische installatie (DGMR, 2020)	Bouwkundige eisen woningen	Bouwkundige eisen u-bouw
70	- Warmtenet, - cv-ketel, - hybride warmtepomp	- Geen (Duurzaam Bouwloket; Pothof, Vreeken & Meerkerk, 2022)	
50	- Warmtenet, luchtlucht warmtepomp, hybride warmtepomp	- Gemiddeld goede isolatie en HR++ glas. Vergelijkbaar met bouwjaar vanaf 2000 of vanaf 1992 ($R_c \geq 2,5$) met genoeg radiatorcapaciteit (Milieucentraal, n.d.)	- Rc vloer 3,7; - gevel 1,4; - dak 3,7; - infiltratie: FORF ramen $U_w 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (HR++) (DGMR, 2020)
30*	- Warmtenet *met een opwaardering, zoals (booster) warmtepomp, - bodembron warmtepomp	- Vanaf "label A" bij booster warmtepomp - Vanaf "label B" bij warmtepomp (ECW, 2020)	- Rc vloer 3,7; gevel 4,7; - dak 6,3; - infiltratie: > 2010; - ramen $U_w 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (HR++) (DGMR, 2020)

Klein maatregelpakket

In de literatuur en met behulp van consultatie van experts is gezocht of er vaak kleine maatregelen genomen worden die minder dan 25% van de gebouwschil betreffen. Het kleine maatregelpakket is gebaseerd op het monitoringsonderzoek renovaties van Panteia (RVO, 2021). Onder de onderzochte gebruiksfuncties vallen onderwijs, kantoren, zorginstellingen en bedrijfshallen. Aan de hand van (telefonische) enquêtes werd gevraagd naar de energiebesparende maatregelen die zijn genomen. Daaruit is naar voren gekomen dat in ramen in 43% van de gevallen dubbel glas wordt geplaatst en in 31% HR++ glas (idem). Ook is gevraagd naar welke isolatie is toegepast. Hieruit blijkt dat vooral bij een plat dak isolatie geplaatst is of vervangen. Daarna bij hellend dak, buitengevel en binnenwand. Ook is uitgevraagd wat voor type isolatiemaatregel genomen is. Dit is vooral isolatie van een nieuw deel van het gebouw. Daarna her-isolatie, oftewel het vervangen van bestaande isolatie.

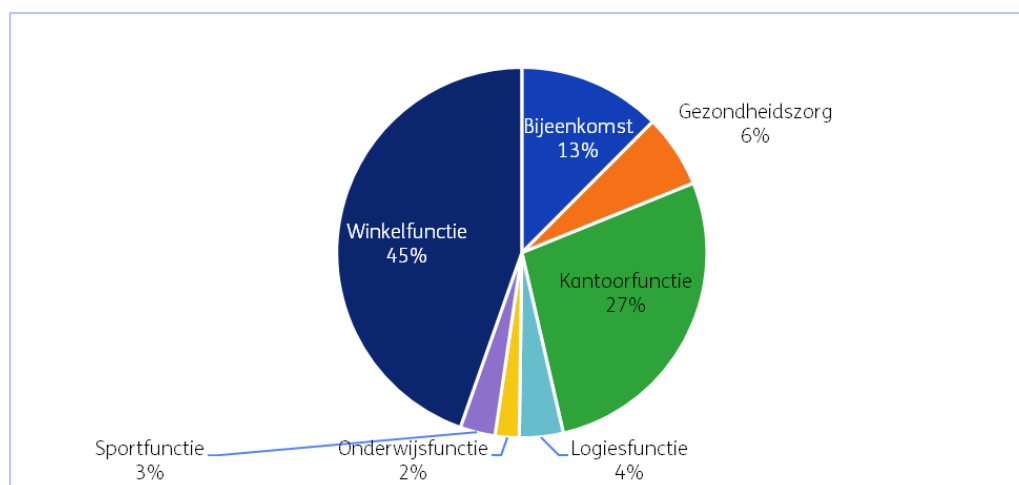
Tabel 2.9: Klein maatregelpakket

	Dak	Gevel	Vloer	Ramen	Kierdichting
Kwalitatieve omschrijving	Zeer goed	n.v.t.	n.v.t.	HR++	Niet aanwezig
Omgerekende Rc/U _w waarde	3,7			1,8	
Aanname	Veelal plat dak			Deels kozijnen vervangen	

Groot maatregelpakket

Om de doelsituatie van het grote maatregelpakket te kwantificeren is allereerst gekeken of een ‘renovatie vanaf 2015’ daadwerkelijk tot een verbetering leidt in de schil, volgens de gegevens in de database. In de energielabelmethodiek wordt gesproken van een renovatie als 90% van de buitenschil van de woning wordt gerenoveerd of na-geïsoleerd, exclusief de begane grondvloer (VABI, 2016). De categorie ‘Renovatie vanaf 2015’ omvat slechts 2% van de database, dit zijn 1.570 objecten.

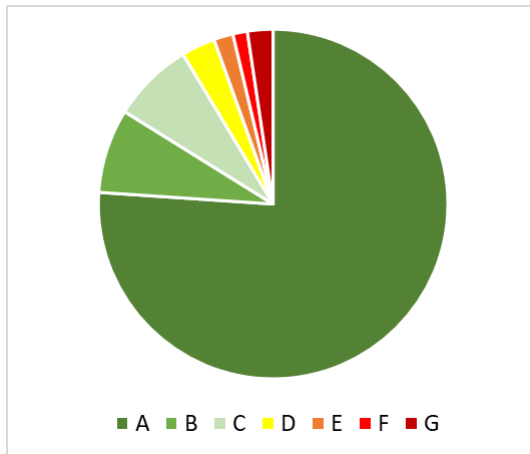
In de figuren hieronder is het aandeel gebruiksfuncties in het totaal aantal renovaties te zien. De verhouding naar gebruiksfuncties is redelijk vergelijkbaar gebleven in de hele sample t.o.v. van de gerenoveerde objecten.



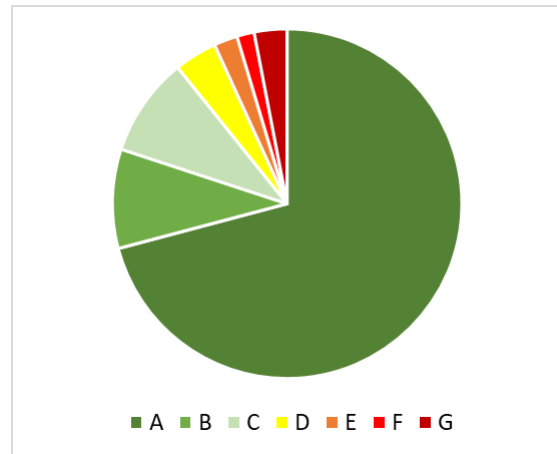
Figuur 2.8: Renovaties vanaf 2015 naar gebruiksfunctie (Nuiten, 2020) bewerking TNO

De renovaties in de database zijn in de meeste gevallen renovaties die uitkomen op label A. Zoals te zien is in [Figuur 2.9](#). In [Figuur 2.10](#) is weergegeven hoe de labelverdeling is voor de renovaties als ‘all-electric’ en objecten met zon-PV zijn uitgesloten. Ook dan is label A het dominante label.

Omdat het al een kleine sample betreft is besloten dat alleen de renovaties naar label A representatief genoeg zijn. Het beeld dat er vooral gerenoveerd wordt naar label A wordt ook bevestigd door andere experts in het veld. Ook is daarom besloten alle verwarmingstypes en zowel wel als geen zonne-energie mee te nemen.

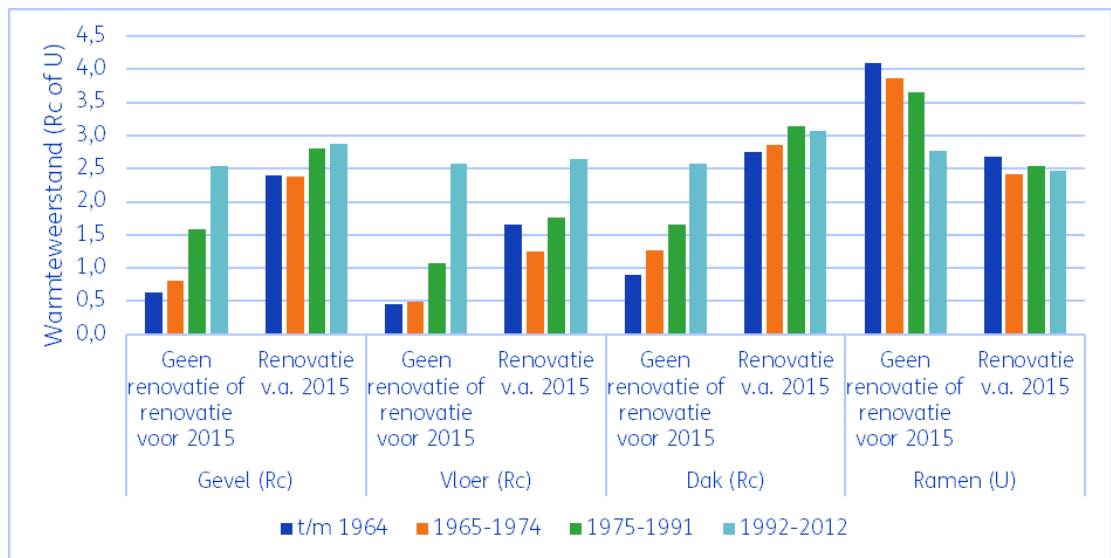


Figuur 2.9: Renovaties vanaf 2015 naar energielabel (Nuiten, 2020) bewerking TNO



Figuur 2.10: Renovaties vanaf 2015 in database, exclusief objecten met PV panelen en/of all-electric (Nuiten, 2020) bewerking TNO

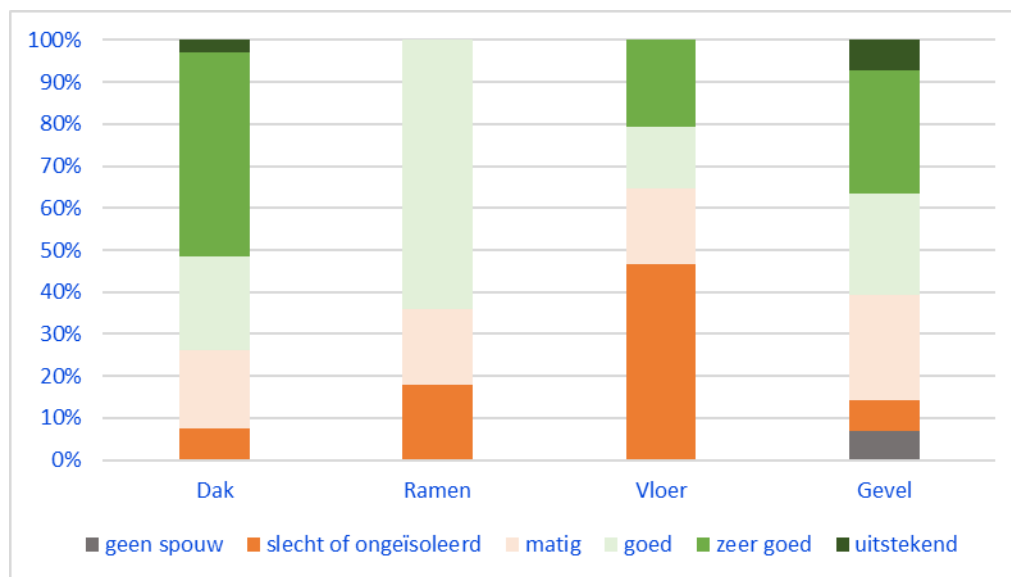
Per bouwdeel en per bouwjaarklasse in de uitgangssituatie is vergeleken of er een duidelijk verschil is in gemiddelde isolatiewaarde tussen de categorieën ‘Geen renovatie of renovatie voor 2015’ en ‘Renovatie vanaf 2015’. In **Figuur 2.11** is te zien welk effect er per bouwdeel is te zien van de renovaties vanaf 2015. Alleen bij de bouwjaarklassen ‘1992-2012’ is geen duidelijk betere isolatiewaarde te observeren.



Figuur 2.11: Gemiddelde warmteweerstand voor uitgangssituatie en gerenoveerd naar bouwjaarklasse (N>30) (Nuiten, 2020) bewerking TNO

Isolatie niveau groot maatregelpakket

In de figuur en tabel hieronder is te zien welke isolatieklassen veel voorkomen bij de objecten in de categorieën ‘vanaf 2015 gerenoveerd naar label A’. Bij de gevel is een mix van verschillende klassen te vinden. In de bijlage Analyse renovaties all-electric en zon PV is deze verdeling ook voor alleen de gefilterde renovaties zonder ‘all-electric’ en zon PV te vinden. Daaruit blijkt dat de verdeling vrijwel identiek is aan de gehele sample die valt onder de categorie ‘Renovatie vanaf 2015’.



Figuur 2.12: Verdeling isolatieklassen van bouwdelen van renovaties na 2015 naar energielabel A (Nuiten, 2020) bewerking TNO

Uit deze resultaten blijkt dat bij renovaties vooral het dak, de gevel en de ramen worden na-geïsoleerd. De vloer wordt in meer dan de helft van de gevallen niet na-geïsoleerd. Op basis van deze resultaten is het grote maatregelpakket samengesteld (zie [Tabel 2.10](#)). Vanwege de grootschaligheid van dit maatregelpakket is kierdichting ook meegenomen.

Tabel 2.10: Uitgangspunten van isolatieniveaus van bouwdelen van het groot maatregelpakket op basis van veel voorkomende maatregelen van renovaties vanaf 2015 naar label A

	Dak	Gevel	Vloer	Ramen	Kierdichting
Kwalitatieve omschrijving	Zeer goed	Zeer goed ³	n.v.t.	HR++	Aanwezig
Omgerekende Rc/U _w waarde	3,7	3,7*		1,8	
Aanname	Veelal plat dak	Na-isolatie spouw, binnen, buitenzijde		Deels kozijnen vervangen	

Nieuwbouw maatregelpakket

Bij een renovatie waarbij meer dan 25% van de schil wordt gerenoveerd moet het nieuwbouwniveau worden behaald (Bouwbesluit online, 2021). Afhankelijk van het gebruikstype komt een renovatie naar nieuwbouwniveau tot energielabel A++ tot A++++ (Menkveld & Sipma, 2022). Ook kierdichting wordt toegepast bij dit maatregelpakket.

³ Dit bouwdeel heeft geen overtuigende modus

Tabel 2.11: Uitgangspunten van het isolatieniveau en type maatregel van het maatregelpakket nieuwbouw (Bouwbesluit 2012, afdeling 5.3)

Kwalitatieve omschrijving	Uitstekend	Uitstekend	Zeer goed	HR++ i.c.m. tripleglas	Aanwezig
Bouwbesluit 2012 Nieuwbouw Update 2021	6,3	4,7	3,7	Ten hoogste: 2,2 Gemiddeld: 1,65	
Aanname	Veelal plat dak	Na-isolatie spouw, binnen, buitenzijde	Vloerisolatie onderzijde	Deels kozijnen vervangen	

2.4 Maatregelpakketten

Een overzicht van de drie maatregelpakketten is weergegeven in [Tabel 2.12](#).

Opmerking rekenmethodiek: Per januari 2021 is de rekenmethodiek van de NTA 8800 voor het bepalen van de Rc waarde van een bouwdeel aangepast, waardoor er kleine verschillen optreden in Rc waarden van circa 0,2 W/m²K. Dit leidt ertoe dat bijvoorbeeld een Rc-waarde van 3,5 volgens de oude methodiek gelijk is aan een Rc-waarde van 3,7 in de nieuwe methodiek. In de Database ‘invoergegevens energielabels’ is de oude methodiek gehanteerd maar in de RVO kostenkengetallen de nieuwe methodiek. Voor de doelsituatie wordt daarom de nieuwe methodiek gehanteerd.

Tabel 2.12: Overzicht van uitgangspunten van isolatieniveaus van de maatregelpakketten

Pakket	Dak R _c (niveau)	Gevel R _c (niveau)	Vloer R _c (niveau)	Ramen U _w (niveau)	Kierdichting
Klein	3,7 (zeer goed)			1,8 (HR++)	
Groot	3,7 (zeer goed)	3,7 (zeer goed)		1,8 (HR++)	Ja
Nieuwbouw	6,3 (uitstekend)	4,7 (uitstekend)	3,7 (zeer goed)	1,65 (HR++ i.c.m. tripleglas)	Ja

De combinatie van de uitgangssituatie en doelsituatie leidt tot de volgende tabel, waarin is aangegeven voor welke bouwjaarklasse een maatregel vereist is. In deze tabel is bouwjaarklasse het uitgangspunt. Bij de bouwjaarklasse horen per bouwdeel Rc- en U_w-waardes. Wanneer bijvoorbeeld een gebouw in de bouwjaarklasse ‘1975 – 1991’ een sprong naar label A maakt, dan moeten het dak, gevel en ramen worden na-geïsoleerd. De sprong die gemaakt moet worden per bouwdeel kan bepaald worden met de tabellen met de uitgangs- en doelsituatie. De vloer hoeft niet te worden na-geïsoleerd.

Tabel 2.13: Overzicht dat aangeeft welke maatregelen vereist zijn bij een combinatie van bouwjaarklasse en maatregelpakket. Een kruisje betekent geen na-isolatie voor het bouwdeel. Een vinkje betekent wel na-isolatie voor het bouwdeel.

Maatregelpakket	Bouwjaarklasse	Dak	Gevel	Vloer	Raam	Kierdichting
Klein	t/m 1964	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klein	1965-1974	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klein	1975-1991	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klein	1992-2012	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klein	v.a. 2013	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Groot	t/m 1964	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Groot	1965-1974	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Groot	1975-1991	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Groot	1992-2012	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Groot	v.a. 2013	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nieuwbouw	t/m 1964	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nieuwbouw	1965-1974	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nieuwbouw	1975-1991	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nieuwbouw	1992-2012	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nieuwbouw	v.a. 2013	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3 Energiebesparing

Door een gebouw na te isoleren treedt er minder warmteverlies op in de winter. Deze besparing van energie leidt tot een lagere energie-intensiteit van een gebouw. Voor dit onderzoek is alleen gekeken naar energiebesparing voor ruimteverwarming. Dit is een incompleet beeld, aangezien in de zomer betere isolatie ook leidt tot een lager elektriciteitsverbruik voor ruimtekoeling. Over deze energiesparing is niet genoeg bekend om dit te kunnen kwantificeren in dit onderzoek. Voor de kwantificatie van energiebesparing voor ruimteverwarming zijn verschillende methodes vergeleken.

Er is weinig praktisch onderzoek beschikbaar over de energiebesparing door isolatiemaatregelen in de utiliteitsbouw. Onderzoek voor woningen naar energiebesparende maatregelen laten uiteenlopende resultaten zien (van den Brom, Meijer & Visscher, 2019). Een belangrijke factor is de kwantificatie van een 'performance gap' of operationele inefficiëntie, wat te wijten is aan suboptimaal gebruik van de (verwarmings)installatie (Menkveld et al., 2020). Dit wordt veroorzaakt door verkeerde inregeling en niet optimaal functionerende onderdelen. Verschillende methodes zijn overwogen en vergeleken in de volgende paragraaf. Daaruit blijkt dat de optimale methode niet bestaat. Om toch rekening te houden met de heterogeniteit van de utiliteitsbouw, is gekozen voor de methode die gebruik maakt van het in de praktijk gemeten verbruik per energielabel.

3.1 Verschillende methodes energiebesparing

Allereerst de theoretische besparing bepaald met de energielabel software, deze wordt berekend met een labelsoftware (Cornelius & van Kampen, 2019). Het nadeel daarvan is dat de software vaak een overschatting maakt van het aardgasverbruik.

Een tweede methode bepaalt de procentuele besparing aan de hand van praktijkinzichten met transmissieverliezen (Menkveld et al., 2020; PBL, 2023). Deze methode heeft als voordeel dat het de besparing bouwdeelafhankelijk maakt. Ook wordt er rekening gehouden met operationele inefficiency. Een nadeel is dat het warmteverlies in deze methode sterk afhankelijk is van het ventilatiesysteem, waarvan de doelsituatie geen vast gegeven is in dit onderzoek. Ook moet er een tapwater correctie worden uitgevoerd, waarvan de gegevens niet beschikbaar zijn per gebruiksfunctie.

Een derde methode is het vergelijken van het gemeten (ook wel, werkelijk) energieverbruik per bouwjaarklasse. Dit geeft inzicht in de verhouding tussen schilkwaliteit en aardgasverbruik. Het CBS (2023) heeft voor kantoren het gemeten energieverbruik uitgesplitst naar bouwjaarklasse. Echter is deze data alleen voor kantoren beschikbaar, waardoor de energiebesparing van andere gebruiksfuncties niet te bepalen is.

Een vierde methode is het vergelijken van het gemiddelde gemeten energieverbruik naar energielabel aan de hand van de gebruiksfunctie en grootteklasse. Het voordeel is dat deze methode corrigeert voor de heterogeniteit in het energieverbruik van verschillende gebruiksfuncties en grootteklasse. Een nadeel van deze methode is dat de energielabels niet per definitie een weergave zijn van de schilkwaliteit van een gebouw. Een beter energielabel

kan immers op verschillende manieren behaald worden, denk aan installeren van zonnepanelen. Ook is de koppeling tussen energielabels en maatregelpakketten arbitrair. Een mogelijke oplossing is het gebruik van de labelsoftware, waarmee het energielabel bepaalt kan worden. Echter bleek het te tijdsintensief om alle gebruiksfuncties, bouwjaarklasse en maatregelpakketten in te voeren in de software. Deze methode is uiteindelijk toegepast.

3.2 Energieverbruik

Uitgangssituatie

De energetische kengetallen zijn rechtstreeks uit de rapportage van Verrijkte BAG overgenomen (Sipma, 2023). Paragraaf 6.3 in de rapportage van Verrijkte BAG verwoordt waar de kengetallen voor kantoren vandaan komen. In deze rapportage wordt in Paragraaf 5.3 ook vermeld hoe de voorraad van een indicatief energielabel worden voorzien wanneer geen energielabel bekend is. Hiervoor zijn bouwjaarclassen gekoppeld aan een energielabel. In dezelfde paragraaf toont Tabel 28 de betreffende kengetallen. In Bijlage E van de rapportage Verrijkte BAG wordt hetzelfde gedaan voor de overige gebruiksfuncties.

De gaskengetallen voor de kantoorfunctie zijn in [Tabel 3.1](#) ter illustratie overgenomen. In de laatste kolom is voor deze studie het gewogen gemiddelde gegeven, op basis van de voorraadgegevens in Verrijkte BAG (gewogen naar m² go).

Tabel 3.1 De gaskengetallen voor de kantoorfunctie (Sipma, 2023)

#	Gebruiksfunctie	Label	Gaskental m ³ /m ²				
			<500 m ²	500 m ² -1000m ²	1000 m ² -5000 m ²	>5000 m ²	gem
			M ³ /m ²	M ³ /m ²	M ³ /m ²	M ³ /m ²	M ³ /m ²
1	f2kantoor	G	14.3	12.5	11.1	10.5	11.8
2	f2kantoor	F	12.8	11.5	10.1	9.9	10.5
3	f2kantoor	E	10.8	9.8	9.8	9.4	10.5
4	f2kantoor	D	10.3	9.1	8.8	8.6	8.9
5	f2kantoor	C	9.3	8.7	8.5	8.2	8.4
6	f2kantoor	B	7.8	7.6	8.1	7.7	7.9
7	f2kantoor	A	7.7	7.4	8.3	7.6	7.8
8	f2kantoor	A+	7.5	7.1	8.3	7.3	7.6
9	f2kantoor	A2+	7.0	7.1	7.8	7.1	7.3
10	f2kantoor	A3+	6.2	6.2	7.0	6.1	6.3
11	f2kantoor	A4+	5.9	5.3	5.8	5.1	5.4
12	f2kantoor	A5+	5.6	4.3	5.4	4.8	5.0
		gemiddeld	11.3	9.6	8.8	7.9	8.6

Voorgaande kengetallen betreffen het totaal verbruik. In het Vesta MAIS model is ook informatie aanwezig over het gasverbruik voor warmtapwaterbereiding en het elektriciteitsverbruik voor ruimtekoeling. Besloten is deze aspecten binnen Vesta MAIS te behouden; voor de oorsprong van deze informatie wordt verwezen naar de documentatie van Vesta MAIS.

- Door nu het gasverbruik voor warmtapwater van de aangeleverde gaskengetallen af te trekken, verwachten we de voor Vesta MAIS benodigde 'energievraag naar ruimteverwarming' te hebben bepaald.

- Door nu het elektriciteitsverbruik voor ruimtekoeling van de aangeleverde elektriciteitskenngetallen af te trekken, verwachten we de voor Vesta MAIS benodigde ‘overige elektriciteitsverbruik van de gebouwen, voor functies anders dan verwarming, ventilatie, koken, warm tapwater en koeling’ te hebben bepaald. Denk hierbij aan het elektriciteitsverbruik voor verlichting, computers, koelkasten, etc.

Het is een aanbeveling het in Vesta Mais aanwezige verbruik voor warmtapwaterbereiding en koeling te evalueren.

Doelsituatie

Het energieverbruik in de doelsituatie is bepaald door een inschatting te maken van het bereikte energielabel na het toepassen van het maatregelpakket. Daarvoor is gebruik gemaakt van de energielabeldatabase en het Bouwbesluit.

Voor het *kleine* pakket moest een grove inschatting worden gemaakt door de bouwdelen te vergelijken met de Bouwbesluiteisen. Daarvoor zijn de figuren uit de analyse van de uitgangssituatie gebruikt (paragraaf 2.2). Hieruit blijkt dat de isolatiewaardes van dak en ramen het meest overeenkomen in de bouwjaarklasse ‘1992-2012’. Omdat voor de andere bouwdelen geen eisen zijn gesteld is het pakket gekoppeld aan het Bouwbesluit uit 1992. Uit de tabel ‘indicatief energielabel’ in Sipma (2023) blijkt dat dit bouwjaar het meest overeenkomt met energielabel D. Daarom is dit als doellabel gekozen. Hierbij moet worden opgemerkt dat het geen doel is om te renoveren tot energielabel D. Dit pakket is wel meegenomen in de analyse omdat het in de praktijk gangbare en praktisch uitvoerbare maatregelen weergeeft. Door naast isolatiemaatregelen ook aanpassingen aan de verlichting en andere installaties te nemen kan een label beter dan D behaald worden. In dit onderzoek is dat echter buiten beschouwing gelaten.

Voor het *grote* pakket is het doellabel gebaseerd op de analyse van de invoergegevens energielabeldatabase. Hieruit bleek dat deze renovaties samengaan met een label A. Doordat hierbij de renovaties zijn geanalyseerd is het een zekerheid dat schil verbeteringen zijn uitgevoerd. In de praktijk zullen ook vervanging van installaties hebben bijgedragen aan het bereiken van label A.

De behaalde isolatiegraden uit het *nieuwbouwpakket* zijn gebaseerd op de Bouwbesluiteisen uit 2015. Bij dit bouwjaar past het energielabel A++, zoals volgt uit de tabel ‘indicatief energielabel’ van Sipma (2023). Ook in dit geval zal het gaan om een combinatie van de installaties en isolatie. Een overzicht van de doellabels is weergegeven in [Tabel 3.2](#).

Tabel 3.2: Doellabel per maatregelpakket

	klein	groot	nieuwbouw
Doellabel	D	A	A++

NB: Dit onderzoek is geen garantie dat het label uit de bovenstaande tabel bereikt wordt, het is slechts een inschatting.

Energiebesparing

De energiebesparing na een maatregelpakket wordt bepaald door de aardgasintensiteit te vergelijken in de uitgangssituatie en doelsituatie. Waarbij de aardgasintensiteiten zijn bepaald met het energielabel, gebruiksfunctie en grootteklasse. PBL verwerkt deze data zelf tijdens een laatste stap voor een specifieke inputfile voor Vesta MAIS model. De informatie over het energielabel op pandniveau gaat daarbij verloren. Het is een aanbeveling om dit in een volgende versie wel mee te nemen.

3.3 Specificering gebruiksfuncties

Vele energetische modellen gericht op de utiliteitsbouw maken gebruik van de 11 vbo-gebruiksfunctie zoals omschreven in de BAG. Dit geldt ook voor Vesta MAIS, maar op het moment ook voor Verrijkte BAG. Bijvoorbeeld, een basisschool en universiteit vallen beide onder de BAG gebruiksfunctie onderwijs. Omdat hierdoor sub-functies met zeer verschillende energie intensiteiten worden samengevoegd is in dit onderzoek gekeken welke energiefuncties verder uit te splitsen zijn. Hierbij is meegenomen in welke mate de vraag voor warmte afwijkt binnen de gebruiksfunctie, of dat er sprake kan zijn van een bron van restwarmte.

De dataverzameling van deze extra gebruiksfuncties is tweedelig. Allereerst moet worden geïdentificeerd waar deze objecten zich bevinden in Nederland. Daarbij moet naast het adres, het oppervlakte en de BAG-ID worden verzameld. Alleen objecten met minimaal 50 m² vloeroppervlak zijn meegenomen. VMN media, een bedrijf gespecialiseerd in website scraping, heeft deze gegevens verzameld. De tweede stap is het verzamelen van energiegegevens uit openbaar beschikbare data en eerder onderzoek van TNO. Hierbij is meest recent beschikbare data gebruikt, zie [Tabel 3.3](#). Deze data worden toegevoegd aan de Verrijkte BAG. In het Vesta MAIS model konden deze gegevens uiteindelijk niet worden toegevoegd, omdat daarvoor een modeluitbreiding nodig was. Het is **aanbevolen** om dit in toekomstige modellen voor de warmtetransitie wel op te nemen.

Tabel 3.3. Energieverbruik detaillering gebruiksfuncties

	elektriciteits- verbruik [kWh//m ²]	gasverbruik [m ³ /m ²]	Ref. jaar	bron
Zaalsporten en zwembad	109,9	25,5	2018	CBS,2023
Zwembad alleen binnenbaden	147	41	2018	CBS,2023
Sauna	143	34	2015	Sipma & Rietkerk, 2016
Datacenter	2003	10	2015	Sipma & Rietkerk, 2016
Groothandel met koeling	131	13	2015	Sipma & Rietkerk, 2016
Groothandel zonder koeling	42	10	2015	Sipma & Rietkerk, 2016
Groothandel gekoeld	113,6	3,1	2019	CBS,2023
Groothandel vorstvrij	2,7	28,6	2019	CBS,2023
Groothandel verwarmd	3,9	36	2019	CBS,2023

3.4 Onderzoeksbependingen

De kengetallen van energiebesparing per maatregelpakket en per gebruiksfuncties zijn gebaseerd op verschillende aannames. Deze aannames zijn gedaan om tot de kengetallen

te komen die een Nederlands gemiddelde weerspiegelen. De belangrijkste aannames en de implicaties daarvan worden besproken.

Allereerst is er weinig inzicht in de werkelijke energiebesparing die wordt gerealiseerd door verduurzamingsmaatregelen in de utiliteitsbouw. Daarom is gewerkt met de methode waarbij de maatregelpakketten zijn gekoppeld aan energielabels. Het voordeel van deze methode is dat deze werkt met kengetallen op basis van het gemeten energieverbruik, terwijl met theoretische berekeningen de besparingen vaak overschat worden. Het nadeel is dat het bereikte energielabel een grove inschatting is. In de praktijk zal dit afwijken.

Ten tweede zijn de energiekenngetallen slechts representatief voor een Nederlands gemiddelde. Het is bekend dat rondom dit gemiddelde een spreiding zit. Hiermee zijn de verbruiken voor een grotere populatie representatief, maar niet op individueel niveau. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de interpretatie van de kengetallen. Ten derde zijn de energiekenngetallen uit 2019. Recentere cijfers zijn niet beschikbaar bij het CBS. Tussen 2019 en 2023 heeft onder andere de coronapandemie en een energiecrisis zich afgespeeld. Het is aannemelijk dat dit invloed heeft op het energieverbruik in de utiliteitsbouw en daarmee de behaalde energiebesparing.

Ten vierde is het type ventilatiesysteem niet meegenomen. In eerdere studies is het type ventilatie en toepassing van warmterugwinning een belangrijke factor in het warmteverlies (Menkveld et al., 2020). Ook is het toepassen van ventilatie niet meegenomen in het maatregelpakket, terwijl dit veelal samen zal gaan met een renovatie.

Een laatste versimpeling is het inzicht in renovaties. Hier is in beperkte mate rekening mee gehouden door alleen een maatregelpakket toe te passen wanneer dit tot een verbetering van het energielabel leidt. Het energielabel geeft een indicatie van een renovatie, maar kan ook verbeterd zijn door installaties. Doordat het niet bekend is waar het betere energielabel door wordt veroorzaakt, kan dit tot een misplaatste aanname leiden voor renovatie.

Een **aanbeveling** is dan ook om meer onderzoek te doen met gemeten energiebesparing met voor en na situaties of gebruik te maken van *digital twins*⁴, specifiek in de utiliteitsbouw.

⁴ Een digital twin is een virtuele kopie van een gebouw. Hiermee kunnen de effecten van renovatie worden doorgerekend

4 Investeringskosten

In dit hoofdstuk bespreken we het bepalen van kengetallen voor investeringskosten. Eerst bespreken we de methode (paragraaf 4.1), daarna de investeringskosten voor na-isolatie van ramen (paragraaf 4.2), gevels (paragraaf 4.3), daken (paragraaf 4.4), vloeren (paragraaf 4.5) en kierdichting (paragraaf 4.6). De investeringskosten worden gegeven per vierkante meter na-isolatie. Om de kosten per gebouw te berekenen is inzicht nodig in de geometrie (paragraaf 4.7). TNO doet aanbevelingen voor modelimplementatie (paragraaf 4.8) en geeft een voorbeeldberekening (paragraaf 4.9). We eindigen dit hoofdstuk met een discussie over de beperkingen van dit onderzoek en de invloed op de resultaten (paragraaf 4.10).

4.1 Methode

De investeringskosten voor de verduurzamingsmaatregelen van bouwdeelen zijn gebaseerd op de RVO kostenkengetallen die zijn opgesteld door Arcadis (peildatum mei 2023). De kostenkengetallen zijn geselecteerd aan de hand van de uitgangs- en doelsituatie, uitgedrukt in R_c - of U_w -waardes, en het materiaalgebruik. De kosten zijn afgestemd op de utiliteitsbouw en zijn van toepassing op het nemen van één maatregel of enkele gelijktijdige maatregelen (RVO, 2023). De bouwkosten bestaan uit directe en indirecte bouwkosten. De directe bouwkosten omvatten het loon, materiaal en materieel. De directe bouwkosten kunnen met een vast opslagpercentage worden omgezet naar de totale investeringskosten per eenheid bouwdeel. In alle gevallen wordt uitgegaan van een 'zelfstandig' moment. Dit betekent dat de investering wordt toegepast op een 'op zichzelf staand' moment, waarbij geen rekening gehouden wordt met kosten die toch al gemaakt zouden worden 'tijdens een vervangmoment'. De opslag voor een zelfstandig moment bestaat uit algemene uitvoeringskosten, algemene kosten, en winst en risico. Hiervoor wordt een opslag van 23,7% gehanteerd (Peppelman, Peek & La Vos, 2022). De kosten zijn exclusief btw.

Niet alle uitgangs- en doelsituatiecombinaties uit de maatregelpakketten zijn terug te vinden in de kostenkengetallen. In die gevallen waarvoor geen kengetallen beschikbaar zijn is een bewerking uitgevoerd. Allereerst, wanneer de (isolatie)materiaalkosten een groot onderdeel zijn van de bouwkosten, namelijk meer dan 20%, is een correctie uitgevoerd waarbij de materiaalkosten geschaald zijn naar de juiste isolatiedikte. Een tweede type bewerking is uitgevoerd in het geval dat de materiaalkosten slechts een klein deel uitmaken van de totale kosten. Dan is aangenomen dat de investeringskosten gelijk zijn aan de kosten voor een situatie met afwijkende uitgangs- of doelsituaties. Een derde type bewerking wordt gebruikt wanneer de isolatietoename overeenkomt (ΔR_c), maar de uitgangs- en doelsituatie anders zijn. Hierbij is aangenomen dat, onafhankelijk van de uitgangssituatie, de kosten vergelijkbaar zullen zijn. Per bouwdeel is steeds uitgelegd welke bewerking gemaakt is.

4.2 Ramen

In de maatregelpakketten is vastgesteld welk raamtype bij welk pakket hoort. Afhankelijk van de staat, sterkte en soort van het kozijn moet deze ook vervangen worden wanneer het raam vervangen wordt (Regionaalenergieloket, n.d.). Vanwege het grote verschil in kosten tussen wel of geen kozijnvervanging, is de verdeling van het isolatieniveau voor ramen per bouwjaarklasse in [Figuur 2.7](#) gebruikt om een weging te maken voor de uitgangssituaties. Hierbij is aangenomen dat bij een uitgangssituatie van enkelglas het kozijn ook vervangen wordt, omdat het niet sterk genoeg is voor HR++ glas. Zo is dat bijvoorbeeld het geval voor 76% van de gebouwen in de bouwjaarklasse 't/m 1964', zie Tabel 4.1. In het geval van standaard dubbelglas en verbetering naar HR++ glas wordt ervanuit gegaan dat alleen het glas vervangen moet worden. Bij de vervanging van elk type glas naar triple glas wordt altijd uitgegaan van kozijnvervanging (RVO, 2023). Wanneer reeds HR ($U_w < 2,3$) glas geplaatst is, wordt dit niet vervangen door HR++ glas. In de bouwjaarklasse 'v.a. 2013' komt volgens de database nog enkelglas en standaard dubbelglas voor. Omdat dit onwaarschijnlijk wordt geacht in de praktijk is aangenomen dat het raam altijd HR of beter is in deze bouwjaarklasse.

Tabel 4.1. Aandeel van type glas naar bouwjaarklasse (o.b.v. Figuur 8)

	Enkelglas	Standaard dubbelglas	HR/HR+/HR++	Triple
t/m 1964	76%	15%	10%	-
1965 t/m 1974	68%	18%	14%	-
1975 t/m 1991	62%	26%	12%	-
1992 t/m 2012	28%	28%	44%	-
v.a. 2013	-	-	98% ⁵	2%

Wanneer een kozijn wordt vervangen is aangenomen dat in de helft van de gevallen hout wordt toegepast en in de andere helft aluminium. De kosten van kunststof kozijnen zijn niet beschikbaar en kunnen daarom niet worden meegenomen. In [Tabel 4.2](#) zijn de aandelen van houten kozijn vervangen, aluminium kozijn vervangen en alleen glas vervangen per bouwjaarklasse weergegeven.

Tabel 4.2. Weging raam voor maatregelenpakket groot en klein naar maatregelcode en bouwjaarklasse

Maatregelcode	t/m 1964	1965 t/m 1974	1975 t/m 1991	1992 t/m 2012
342: Houten kozijn, incl. HR++ glas	38%	34%	31%	14%
23: Aluminium kozijn, incl. HR++ glas	38%	34%	31%	14%
21: HR++ glas	15%	18%	26%	28%

Voor nieuwbouwkwaliteit moet de gemiddelde U_w waarde uitkomen op 1,65. Om dit te bereiken zal een deel van de ramen vervangen moeten worden door glas beter dan HR++,

⁵ aangenomen dat er alleen HR++ of beter aanwezig is bij bouwjaar v.a. 2013

ofwel triple glas, ofwel zonwerend glas. Omdat zonwerend glas vooral wordt toegepast bij grote raampoppervlaktes en dit afhankelijk is van de oriëntatie van het raam is gekozen om uit te gaan van triple glas. De kosten van triple glas zijn lager dan van zonwerend glas (RVO, 2023).

Bij het nieuwbouwpakket wordt 17% van het glas vervangen door triple glas en, indien nodig, 83% door HR++. Hiermee komt het gemiddeld uit op een U_w -waarde van 1,65. Er is gekozen om altijd eerst het enkelglas aan te pakken. De verhoudingen uit [Tabel 4.1](#) en het gelijke aandeel voor hout en aluminium kozijnen heeft voor de drie maatregelpakketten tot de weging naar maatregelcode in [Tabel 4.3](#) geleid.

Tabel 4.3. Weging raam voor maatregelpakket nieuwbouw naar maatregelcode en bouwjaarklasse

Maatregelcode	t/m 1964	1965 t/m 1974	1975 t/m 1991	1992 t/m 2012	t/m 1964
342: Houten kozijn, incl. HR++ glas	37%	35%	36%	20%	-
23: Aluminium kozijn, incl. HR++ glas	37%	35%	36%	20%	-
295: Aluminium kozijn, incl. Triple glas	8%	8%	8%	8%	8%
25: Houten kozijn, incl. Triple glas	8%	8%	8%	8%	8%

In [Tabel 4.4](#) zijn de kosten per m² raampoppervlak gegeven voor de bouwjaarklassen en maatregelpakketten. Voor de drie maatregelpakketten zijn de kosten afhankelijk van de bouwjaarklasse. Bijvoorbeeld, de eerste situatie is de toepassing van het nieuwbouwpakket op de bouwjaarklasse ‘t/m 1964’. Hierbij is de doelsituatie 1,65 U_w , en de maatregelcodes 342, 25, 295 en 23 wegen allemaal mee in de totale kosten van 637 €/m², zoals in de alinea hierboven is beschreven. Wanneer een ‘_b’ achter een maatregelcode vermeld staat is er een bewerking uitgevoerd. De maatregelen en eventuele bewerkingen zijn in de bijlage toegelicht, zie Bijlage C.

Tabel 4.4. Kostenkengetallen raamisolatie per maatregelpakket per bouwjaarklasse

Bouwjaarklasse	Doelsituatie (U_w)	Maatregelcode	Totale kosten excl. btw [€/m ² raampoppervlak]
Nieuwbouw			
t/m 1964	1,65	342_b&25_b&295_b&23_b	637
1965 t/m 1974	1,65	342_b&25_b&295_b&23_b	605
1975 t/m 1991	1,65	342_b&25_b&295_b&23_b	623
1992 t/m 2012	1,65	342_b&25_b&295_b&23_b	393
v.a. 2013	1,65	25_b&295_b	106
Groot			
t/m 1964	1,8	342_b&23_b&21b	565
1965 t/m 1974	1,8	342_b&23_b&21b	514
1975 t/m 1991	1,8	342_b&23_b&21b	489
1992 t/m 2012	1,8	342_b&23_b	250

Bouwjaarklasse	Doelsituatie (U _w)	Maatregelcode	Totale kosten excl. btw [€/m ² raamoppervlak]
v.a. 2013	1,8	-	-
Klein			
t/m 1964	1,8	342_b&23_b&21b	565
1965 t/m 1974	1,8	342_b&23_b&21b	514
1975 t/m 1991	1,8	342_b&23_b&21b	489
1992 t/m 2012	1,8	342_b&23_b	250
v.a. 2013	1,8	-	-

4.3 Gevels

Gevelisolatie kan zowel aan de binnen- als buitenkant worden toegepast. Beide vormen kunnen niet in elke situatie worden toegepast. Bij binnengevelisolatie moeten de tussenmuren worden verwijderd, wat vooral gebeurt bij een grootschalige renovatie. Ook treedt er ruimteverlies op. Aan de buitenzijde treedt de complicatie op dat er niet buiten de erfgrans of op de rioollijn gebouwd mag worden. Buitengevelisolatie verandert het uiterlijk van een gebouw en dit is niet altijd toegestaan. Daarom moet altijd een vergunning worden aangevraagd bij de gemeente om deze maatregel toe te passen (Platform Gevelisolatie, n.d.).

Uit het monitoringsonderzoek van Panteia (2022) blijkt dat in 2021 binnen- en buitengevelisolatie bijna evenveel werd toegepast. Ook spouwmuurisolatie wordt, wanneer mogelijk, toegepast. Uit de verdeling van isolatieniveaus voor gevels per bouwjaarklasse ([Figuur 2.4](#)) blijkt dat dit vooral voor de bouwjaarklasse ‘1965-1974’ van toepassing is. Zodoende is voor deze bouwjaarklasse uitgegaan van spouwmuurisolatie in combinatie met binnen- en buitengevelisolatie. Voor de andere bouwjaarclassen is steeds een weging van 50%/50% binnen- en buitengevelislatiekosten toegepast.

Het type isolatiemateriaal bepaalt ook voor een deel de kosten van gevelisolatie. Buildsight verzamelt verkoopgegevens van de toepassing in de gebouwde omgeving. Volgens Buildsight wordt PUR/PIR het meest toegepast en daarna steenwol. PUR/PIR isolatie is kunststof materiaal en steenwol is een minerale wol. Voor de spouwvulling worden zowel glaswolvlokken als ps-parels gebruikt (Buildsight, 2021). Deze materialen hebben steeds de voorkeur gekregen in het selecteren van kostenkengetallen.

Om te bepalen welke isolatiedikte nodig is voor de doelsituatie is de volgende vereenvoudigde formule voor de benodigde isolatiedikte gebruikt:

$$R_c = R_{d1} + R_{d2}$$

Waar

R_c de totale warmteweerstand van de gevel is [m² K/W].

R_{d1} de warmteweerstand van de reeds aanwezige gevel is [m² K/W]

R_{d2} de toename van de warmteweerstand door na-isolatie betreft [m² K/W]

De toename van de warmteweerstand door na-isolatie is:

$$R_{d2} = \frac{\lambda}{d2}$$

Waar

R_{d2} de toename van de warmteweerstand is [$m^2 K/W$]

$d2$ de dikte van het materiaal is [m]

λ (lambda) de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal is [$W/(m.K)$]

In **Tabel 4.5** is per situatie uitgewerkt welke maatregelcode is toegepast aan de hand van de berekende isolatiedikte. Deze is berekend voor EPS isolatiemateriaal, aangenomen is dat de lambda 0,036 W/m.K is (Isodirect, n.d.). Voor buitengevelisolatie (maatregelcode 153) is gecorrigeerd voor de isolatiemateriaalkosten. Dit is gedaan door het kostenonderdeel ‘EPS isolatieplaat 80mm met steengaaswapening’ met 50% te verminderen. Deze bewerkte maatregel is gelabeld als ‘153_b1’.

Voor binnengevelisolatie is het verschil in kosten tussen de isolatiediktes klein. Daarom is gekozen om te categoriseren in benodigde isolatiedikte. Een lambda van 0,036 is ook gebruikt voor minerale wol (de Vree, n.d.). In Bijlage Cis per maatregelcode de beschrijving te vinden.

Tabel 4.5. Bewerkingen isolatiemateriaal voor gevelisolatie

R_{d1}	R_c	R_{d2}	Type	d (mm) * EPS	Categorisering	Maatregelcode
0,4	1,4		Spouw		Spouwisolatie i.c.m. binnen	3
3,7	4,7	1,0	Buiten	36	materiaalkosten halveren (d=40 mm i.p.v. 80 mm)	153_b1
2,5	3,7	1,2	Buiten	43	materiaalkosten halveren (d=40 mm i.p.v. 80 mm)	153_b2
0,4	4,7	4,3	Buiten	155	Gemiddelde kosten van 140 en 180 mm isolatie. Vanwege grote toename R_c , alleen aan buitenzijde	323 & 324
0,2	4,7	4,5	Buiten	162	Gemiddelde kosten van 140 en 180 mm isolatie	323 & 324
3,7	4,7	1,0	Binnen	36	d=90 mm	322_b1
2,5	3,7	1,2	Binnen	43	d=90 mm	322_b2
2,5	4,7	2,2	Binnen	79	d=90 mm	322_b3
1,3	3,7	2,4	Binnen	86	d=90 mm	322_b4
1,3	4,7	3,4	Binnen	122	d=120 mm	321_b1
0,2	3,7	3,5	Binnen	126	d=120 mm	321_b2

De kostenkengetallen en maatregelen zijn weergegeven in **Tabel 4.6**. Het valt op te merken dat de bouwjaarklasse ‘1965 t/m 1974’ hogere na-isolatie kosten heeft. Dit komt doordat de spouwmuurvulling aangevuld moet worden met gevelisolatie. De directe bouw kosten zijn bij elkaar opgeteld, de opslag voor algemene kosten is alleen berekend over de spouwmuurisolatie. In de praktijk zou deze combinatie goedkoper uit kunnen vallen, doordat meer kosten maar één keer optreden.

Tabel 4.6. Kostenkengetallen gevelisolatie per maatregelpakket per bouwjaarklasse

	Uitgangssituatie (R_c)	Doelsituatie (R_c)	Maatregelcode	Totale kosten excl. btw [€/m ² geveleppervlak]
Nieuwbouw				
t/m 1964	0,2	4,7	323 & 324	197
1965 t/m 1974	0,4	4,7	323 & 324	197
1975 t/m 1991	1,3	4,7	321_b1 & 326	142
1992 t/m 2012	2,5	4,7	153 & 322_b3	130
v.a. 2013	3,7	4,7	153_b1 & 322_b1	113
Groot				
t/m 1964	0,2	3,7	321_b2 & 323_b	146
1965 t/m 1974	0,4	3,7	3 & 322 & 325	171
1975 t/m 1991	1,3	3,7	322_b4 & 325	121
1992 t/m 2012	2,5	3,7	153_b2 & 322_b2	113
v.a. 2013	3,7	3,7	-	-

4.4 Daken

De isolatiekosten voor het dak zijn gebaseerd op een plat dak, aangezien dit het meest voorkomende type dak is in de utiliteitsbouw, zoals vermeld in het rapport van Panteia (2022). Het isoleren van hellende daken heeft vergelijkbare eenheidskosten, maar betreft een groter oppervlak. Het lijkt daarom aannemelijk dat de kosten voor een hellend dak hoger uitvallen.

Wanneer de uitgangssituatie een hogere R_c dan 2,5 heeft is aangenomen dat het dak sterk genoeg is om na-isolatie op het bestaande dak toe te passen. Wanneer de R_c toename groter dan 2,6 is, is uitgegaan van dakvervangning. Dit is vanwege de draagkracht van het dak en de gewichtstoename door isolatie. Het isolatiemateriaal is meestal PIR isolatieplaat en in enkele gevallen EPS isolatieplaat. In Bijlage C zijn de aannames verder uitgelegd.

Tabel 4.7. Bewerking dakisolatie naar maatregelcode

R_{d1}	R_c	R_{d2}	Type	d (mm)	categorisering	maatregelcode
3,7	6,3	2,6	Op bestaand	94	d=90 mm	10_b1
2,5	3,7	1,2	Op bestaand	43	d=45 mm	10_b2

Tabel 4.8. Kostenkengetallen dakisolatie per maatregelpakket per bouwjaarklasse

	Uitgangssituatie (R _c)	Doelsituatie (R _c)	Maatregelcode	Totale kosten excl. btw [€/m ² dakoppervlak]
Nieuwbouw				
t/m 1964	0,22	6,3	170	187
1965 t/m 1974	0,22	6,3	170	187
1975 t/m 1991	1,3	6,3	184	183
1992 t/m 2012	2,5	6,3	195	160
v.a. 2013	3,7	6,3	9_b	99
Groot				
t/m 1964	0,22	3,7	169	168
1965 t/m 1974	0,22	3,7	169	168
1975 t/m 1991	1,3	3,7	10	99
1992 t/m 2012	2,5	3,7	10_b	89
v.a. 2013	3,7	3,7	-	-
Klein				
t/m 1964	0,22	3,7	169	168
1965 t/m 1974	0,22	3,7	169	168
1975 t/m 1991	1,3	3,7	10	99
1992 t/m 2012	2,5	3,7	10_b	89
v.a. 2013	3,7	3,7	-	-

4.5 Vloeren

De na-isolatie van vloeren wordt aan de onderzijde van de vloer toegepast. Dit is in de praktijk alleen mogelijk als er een voldoende hoge kruipruimte aanwezig is (Milieucentraal, n.d.a). Het is aangenomen dat dit bij het nieuwbouw maatregelpakket het geval is. Verder is aangenomen dat het bestaande isolatiemateriaal moet worden vervangen wanneer de isolatie wordt toegepast. Daarom zijn de kosten onafhankelijk van de uitgangssituatie. Voor de vloer wordt zowel glaswolvlokken als ps-parels gebruikt (Buildsight, 2021). In [Tabel 4.9](#) zijn de kostenkengetallen voor na-isolatie van vloeren gegeven. Alleen bij het nieuwbouwpakket wordt de vloer aangepakt en daarom zijn alleen daarvoor investeringskosten bepaald. In Bijlage C zijn de aannames verder uitgelegd.

Tabel 4.9. Kostenkengetallen vloerisolatie van het maatregelpakket nieuwbouw per bouwjaarklasse

	Uitgangssituatie (Rc)	Doelsituatie (Rc)	Maatregelcode	Totale kosten excl. btw [€/m ² vloeroppervlak]
Nieuwbouw				
t/m 1964	0,15	3,7	15	43
1965 t/m 1974	0,15	3,7	15	43
1975 t/m 1991	1,3	3,7	15_b1	43
1992 t/m 2012	2,5	3,7	15_b2	43
v.a. 2013	3,7	3,7	-	-

4.6 Kierdichting

De kierdichting wordt toegepast ter plaatse van de gevel en het dak en zijn daarom alleen van toepassing op het grote en nieuwbouwpakket. Er is aangenomen dat in gebouwen met een bouwjaar vanaf 2013 al kierdichting is toegepast. Dit is gebaseerd op de forfaitaire waardes uit de energielabel methodiek. In [Tabel 4.10](#) zijn de investeringskosten per bouwjaarklasse weergegeven. De kosten zijn per m² gebruiksoppervlak (GO).

Tabel 4.10. Kostenkengetallen kierdichting per maatregelpakket per bouwjaarklasse

	Uitgangssituatie	Doelsituatie	Maatregelcode	Totale kosten excl. btw
Nieuwbouw				
t/m 1964	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
1965 t/m 1974	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
1975 t/m 1991	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
1992 t/m 2012	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
v.a. 2013	Aanwezig	Aanwezig	-	-
Groot				
t/m 1964	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
1965 t/m 1974	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
1975 t/m 1991	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
1992 t/m 2012	Niet aanwezig	Aanwezig	120	22
v.a. 2013	Aanwezig	Aanwezig	-	-

4.7 Geometrie

Het dak- en vloeroppervlak zijn standaard beschikbaar voor de utiliteitsgebouwen, deze data is afkomstig uit de 3D BAG. In Verrijkte BAG is per individueel pand bekend wat het geveleppervlak is. Dit geveleppervlak is standaard opgedeeld in (1) een geveleppervlak dat gedeeld wordt met buurpanden en (2) een gevel dat grenst aan de buitenlucht. Dit laatste

oppervlak is met het raampercentage nu verder opgedeeld in (2a) een geveloppervlak dat in aanmerking komt voor gevelisolatie en (2b) een raamoppervlak dat in aanmerking komt voor het plaatsen van een raam met een betere isolatiegraad. Het raampercentage is gebaseerd op de database 'Invoergegevens Energielabels'. PBL verwerkt deze data zelf tijdens een laatste stap voor een specifieke input-Excel voor Vesta MAIS model.

Ramen

De database 'Invoergegevens Energielabels' is gebruikt om de raamverhouding te vinden. Deze is bepaald door de som het raamoppervlak te delen door de som van het geveloppervlak. De verhouding is opgesplitst naar gebruiksfunctie en grootteklassen, zie [Tabel 4.11](#).

Vergelijking 4.1.

$$raam\ aandeel = \frac{opp.\ raam}{opp\ raam + opp\ gevel + opp\ deur}$$

Tabel 4.11. Raamverhouding per gebruiksfunctie en grootteklasse (Nuiten, 2020) bewerking TNO

Grootteklasse [m ²]	Aantal vbo's	Raam aandeel (OGO)	Gevel en deur aandeel (GGO)
Bijeenkomst			
≤ 500	9408	27,4%	72,6%
501 t/m 1000	1695	27,4%	72,6%
1001 t/m 5000	997	27,6%	72,4%
> 5000	97	33,2%	66,8%
Gemiddeld	12197	28,2%	71,8%
Celfunctie			
Gemiddeld	33	19,2%	80,8%
Gezondheidszorg			
≤ 500	2899	26,9%	73,1%
501 t/m 1000	655	27,3%	72,7%
1001 t/m 5000	856	30,1%	69,9%
> 5000	161	33,6%	66,4%
Gemiddeld	4571	30,2%	69,8%
Kantoorfunctie			
≤ 500	20163	28,8%	71,2%
501 t/m 1000	4477	31,0%	69,0%
1001 t/m 5000	7050	34,1%	65,9%
> 5000	1652	39,8%	60,2%
Gemiddeld	33342	35,4%	64,6%
Logiesfunctie			
≤ 500	2851	21,6%	78,4%

Grootteklasse [m ²]	Aantal vbo's	Raam aandeel (OGO)	Gevel en deur aandeel (GGO)
501 t/m 1000	189	24,0%	76,0%
1001 t/m 5000	216	26,0%	74,0%
> 5000	85	38,5%	61,5%
Gemiddeld	3341	28,8%	71,2%
Onderwijsfunctie			
≤ 500	447	28,2%	71,8%
501 t/m 1000	510	30,6%	69,4%
1001 t/m 5000	1026	32,5%	67,5%
> 5000	192	37,6%	62,4%
Gemiddeld	2175	33,8%	66,2%
Sportfunctie			
≤ 500	1307	17,5%	82,5%
501 t/m 1000	429	17,7%	82,3%
1001 t/m 5000	798	13,8%	86,2%
> 5000	54	24,6%	75,4%
Gemiddeld	2588	16,2%	83,8%
Winkelfunctie			
≤ 500	27657	33,7%	66,3%
501 t/m 1000	2792	28,7%	71,3%
1001 t/m 5000	3441	27,0%	73,0%
> 5000	286	32,5%	67,5%
Gemiddeld	34176	30,4%	69,6%

4.8 Verwerking kengetallen

In deze paragraaf wordt verwezen naar het databestand 'Verrijkte BAG 1.0' (Sipma, 2023). De Verrijkte BAG bestaat uit de originele BAG, aangevuld met kolommen die interessant zijn voor geografische energetische analyses van utiliteitsbouwpanen. Het bestand wordt ook gebruikt om inputdata te genereren voor andere modellen; zoals we dit hier doen voor het Vesta MAIS model. De publicatie van Verrijkte BAG omvat een rapportage en een Excel waarin de toegevoegde attributen worden beschreven.

Kostenkengetallen

De kostenkengetallen vanuit de drie samengestelde pakketten zijn op basis van de gerelateerde bouwjaarklassen aan de panden in Verrijkte BAG gekoppeld. Deze kosten zijn niet afhankelijk van de BAG gebruiksfunctie. Het betreft de volgende typen kosten, zoals weergegeven in [Figuur 4.1](#).


```
-- Kolommen aanmaken om te vullen met kostenkenticallen
ALTER TABLE pl8lverrijktebag.verrijkte_bag_panden_rvo_sbi
ADD COLUMN dak_klein numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN dak_groot numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN dak_nieuwbouw numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN gevel_klein numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN gevel_groot numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN gevel_nieuwbouw numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN vloer_klein numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN vloer_groot numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN vloer_nieuwbouw numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN ramen_klein numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN ramen_groot numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN ramen_nieuwbouw numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN kierdichting_klein numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN kierdichting_groot numeric (10,2) default NULL,
ADD COLUMN kierdichting_nieuwbouw numeric (10,2) default NULL,
```

Figuur 4.1 Kosten zoals toegevoegd aan de Verrijkte BAG

Door nu de kostenkengetallen te combineren met deze oppervlakten, verkrijgen we per individueel pand totaalbedragen in euro’s, noodzakelijk om energielabel D (klein pakket), label A (groot pakket) of label A++ (nieuwbouwpakket) te halen. Uiteraard is deze investering enkel van toepassing, wanneer het betreffende pand het doellabel nog niet heeft bereikt. Ieder pand in Verrijkte BAG draagt een (indicatief) label. Hoe dit tot stand is gekomen, wordt verwoord in Hoofdstuk 5 van de gerelateerde rapportage. Hiermee kan voor elk pand bepaald worden wat de gerelateerde investeringskosten zijn om een doellabel te halen. Enkel ter illustratie geeft Tabel 4.12 de geaggregeerde investeringskosten om kantoren naar energielabel D en A te brengen.

Tabel 4.12 Investeringskosten kantoor maatregelpakket klein en groot

Gebruikfunctie	Label	Totaal aantal panden	Oppervlak pand [m² GO]	investeringskosten naar label D per kantoorpand [€]	investeringskosten naar label A per kantoorpand [€]
Kantoor	G	12.400	9.086.630	344.453	493.563
Kantoor	F	2.984	3.229.303	296.437	433.880
Kantoor	E	1.888	2.497.643	257.603	386.011
Kantoor	D	1.697	2.457.218	nvt	348.016
Kantoor	C	4.138	7.338.527	nvt	317.958
Kantoor	B	3.445	5.879.038	nvt	293.897
	Totaal	26.552	30.538.359	898.494	2.273.325

Detailinfo: het ene kantoor is het andere kantoor niet. In Verrijkte BAG wordt expliciet aangegeven welke mate van dominantie een gebruiksfunctie zoals ‘kantoor’ binnen een pand heeft. Dit vindt plaats op basis van het oppervlak binnen het pand dat deze BAG gebruiksfunctie draagt; afkomstig van de erbinen liggende verblijfsobjecten. Een pand kan echter meerdere concurrerende gebruiksfuncties hebben. In Verrijkte BAG geeft het attribuut ‘max_pr_string_agg’ tekstueel weer welke dit zijn; zie voor meer details paragraaf 4.2 in de gerelateerde rapportage en de gepubliceerde Excel. Het raampercentage is gekoppeld op

basis van het attribuut 'dom_koppel_kort'. Dit attribuut is een verkorte versie van voorgaande attribuut. Dit betekent dat wanneer het pand meerdere concurrerende dominante gebruiksfuncties heeft, er een keus is gemaakt welke gebruiksfunctie bepaalt welk raampercentage gekoppeld wordt (zie Bijlage F van de gerelateerde rapportage en de gepubliceerde Excel). Bovenstaande tabel met investeringskosten is gebaseerd op 'max_pr_string_agg'; ieder pand dat voor meer dan 50% de kantoorfunctie draagt is hierin meegenomen (zie ook Tabel 17 in de gerelateerde rapportage).

Verwerking kostenkengetallen als input voor Vesta MAIS

Voor het Vesta MAIS model zijn de kostenkengetallen uit Verrijkte BAG geaggregeerd naar gebruiksfunctie en grootteklassen. Voor de uitgangssituatie is gedifferentieerd door investeringskosten te aggregeren naar energielabel. Uiteindelijk volgen tabellen zoals onderstaande voor kantoren. Deze tabel geeft voor kantoren de investeringskosten in euro/m² om het grote pakket te bereiken, met een onderscheid naar grootteklassen. In de laatste kolom wordt het gewogen gemiddelde gegeven, op basis van de voorraadgegevens in Verrijkte BAG (gewogen naar m² go). PBL verwerkt deze data zelf tijdens een laatste stap voor een specifieke input-Excel voor het Vesta MAIS model.

#	Gebruiksfunctie	Investeringskosten naar 'groot' [€/m ² GO]				gem
		<500 m ²	500 m ² -1000m ²	1000 m ² -5000 m ²	>5000 m ²	
1	kantoor_G	495	367	308	204	325
2	kantoor_F	437	322	250	198	260
3	kantoor_E	470	310	265	177	251
4	kantoor_D	359	281	233	161	217
5	kantoor_C	382	285	222	171	213
6	kantoor_B	365	254	212	155	199

Figuur 4.2 Voorbeeld kantoor investering naar een groot pakket

Over het algemeen liggen investeringskosten per m² go lager voor slechtere labelklassen en grotere grootteklassen. Soms zijn er afwijkingen op deze trendmatigheid te constateren; Bijlage D gaat hier dieper op in.

4.9 Voorbeeldberekening voor referentiegebouw

Om een beeld te krijgen van de totale investeringskosten voor een maatregelpakket voor een gebouw is een voorbeeldberekening gemaakt. De investeringskosten en energiebesparing zijn voor een referentiegebouw uitgerekend. Dit gebouw betreft een middelgroot kantoor uit 1964, volgens de DGMR referentiegebouwindeling. Het gebruiksoppervlak van dit kantoor is 2.741 m² (DGMR, 2020). Als versimpeling is in dit voorbeeld aangenomen dat BVO en GO in dit gebouw gelijk zijn aan elkaar. Ook is vloerisolatie toegepast voor alle vloerdelen aan grond, buiten en kruipruimte. Het energielabel in de uitgangssituatie is 'G', gebaseerd op de indicatieve labelindeling op basis van bouwjaar (Sipma, 2023). In [Tabel 4.13](#) zijn de bouwdeeldimensies weergegeven.

Tabel 4.13. Bouwdeel dimensies van een middelgroot kantoor

Bouwdeel	Oppervlak bouwdeel [m ²]
Dak	662
Gevel	1.419
Vloer aan grond, buiten, kruipruimte	748
Raam	741
Gebruiksoppervlak (GO)	2741
Kierdichting (kosten per m ² GO)	2.741

Tabel 4.14 geeft de investeringskosten van de maatregelpakketten als eenheidsprijs en als totaal. Het betreft hier de investeringskosten voor maatregelen op een zelfstandig moment en bij het gelijktijdig uitvoeren van enkele gelijktijdige maatregelen. Per bouwdeel zijn de kosten berekend door de eenheidskosten te vermenigvuldigen met de geometrie van het bouwdeel. Zowel de totale kosten zijn weergegeven als de kosten per oppervlak.

Tabel 4.14. Investeringskosten per maatregelpakket voor een middelgroot kantoor (excl. btw)

Bouwdeel	Klein		Groot		Nieuwbouw	
	Eenheids prijs excl. btw [€/m ² bouwdeel]	Totaal excl. btw	Eenheids prijs excl. btw [€/m ² bouwdeel]	Totaal excl. btw [€]	Eenheids prijs excl. btw [€/m ² bouwdeel]	Totaal excl. btw [€]
Dak	168	€ 110.960	168	€ 110.960	187	€ 124.112
Gevel			146	€ 206.611	197	€ 280.131
Vloer					43	€ 31.959
Raam	565	€ 418.269	565	€ 418.269	637	€ 471.860
Kierdichting			22	€ 61.235	22	€ 61.235
Totaal kosten		€ 529.229		€ 797.074		€ 969.295
Kosten [€/m ² GO]		193		291		354

De energiebesparing per maatregelpakket is berekend door het verschil in aardgasintensiteit te vermenigvuldigen met het oppervlak. Deze aardgasintensiteiten zijn bepaald per gebruiksfunctie en grootteklasse. In [Tabel 4.15](#) zijn deze resultaten weergegeven.

Tabel 4.15. Jaarlijkse aardgasintensiteit en energiebesparing ten opzichte van de uitgangssituatie per maatregelpakket

	Uitgangssituatie	Klein	Groot	Nieuwbouw
Energielabel	G	D	A	A++
Aardgasintensiteit [m ³ /m ² o.b.v kantoor 1000-5000 m ²]	11,1	8,8	8,3	7,8
Aardgasbesparing [m ³ /jaar]	-	6.304	7.675	9.045

4.10 Onderzoeksbependingen

De kengetallen van de uitgangssituatie van de utiliteitsgebouwen en de investeringskosten van isolatie zijn in dit onderzoek gebaseerd op aannames die zo goed mogelijk aansluiten bij de werkelijke situatie. De belangrijkste aannames en de implicaties daarvan worden besproken.

Een verschil tussen het voorgaande onderzoek naar kengetallen van Brink (2020) en deze update is een veranderde methodiek voor het opstellen van kengetallen. Het voorgaande onderzoek werkte met referentiegebouwen en stelde daar kengetallen voor op. In dit onderzoek is een koppeling met de Verrijkte BAG gemaakt. Het grootste voordeel is dat daarmee de investeringskosten zijn gebaseerd op werkelijke gebouwdimensies. Voor de input van het Vesta MAIS model zijn de kengetallen geaggregeerd. Het is een aanbeveling om bij de volgende update minder aggregatie toe te passen, waardoor de kengetallen nog meer aansluiten op de praktijksituatie.

Verder zijn de resultaten uit dit onderzoek afgestemd op de praktijksituaties. Zo is de uitgangssituatie gebaseerd op gegevens uit de Database 'invoergegevens energielabels'. Daaruit is het meest voorkomende isolatieniveau geselecteerd. In de praktijk zullen ook de minder voorkomende isolatieniveaus in een bouwjaarklasse voorkomen. In dat geval zullen de werkelijke investeringskosten afwijken. Daarnaast is het goed te vermelden dat de voorgestelde isolatiemaatregelen zeer gebouwfankelijk zijn. Buitengevelisolatie en vloerisolatie zijn bijvoorbeeld in de praktijk niet altijd mogelijk.

Daarbij is in de Verrijkte BAG geen informatie bekend over renovaties. Hierdoor zal voor een aantal gebouwen een maatregelenpakket worden gesuggereerd, terwijl daar al een renovatie is uitgevoerd. Een aanbeveling is om een koppeling te maken in de Verrijkte BAG met de reeds uitgevoerde renovaties.

Daarnaast is de Database 'invoergegevens energielabels' gebaseerd op een sample van de totale voorraad utiliteitsgebouwen. Dit komt doordat niet alle objecten 'labelplichtig' zijn, mede omdat niet alle gebouwen verwarmd hoeven te worden.

Ook zijn niet alle gelabelde objecten terug te vinden in de Database 'invoergegevens energielabels'. Circa 80% van de gelabelde utiliteitsobjecten is hierin terug te vinden, voor de resterende 20% is een andere labelsoftware gebruikt. Na een validiteitscheck, uitgevoerd door W/E adviseurs, bevat de sample 92 duizend objecten. Per januari 2021 bestond de dienstensector uit 829 duizend verblijfsobjecten (CBS gebouwenmatrix sector G t/m S + U) (CBS, 2022). Daarmee omvat de sample grofweg 12% van de populatie.

De gebruiksfuncties die niet voorkomen in de sample, maar wel in het Vesta MAIS model, zijn 'industrie' en 'overig'. Vooral de categorie 'overig' bestaat uit erg uiteenlopende objecten. In de sample zijn winkels en kantoren de meest voorkomende gebruiksfuncties. In de CBS-gebouwenmatrix zijn dit winkels, landbouw, logies overig en verpleeghuizen. Bij het trekken van conclusies moet dan ook worden meegenomen dat niet alle gebruikstypes volledig gerepresenteerd zijn. Aangezien dezelfde bouweisen voor de verwarmde utiliteitsgebouwen gelden, kan de sample echter wel als representatief voor het doel van de studie worden gezien, namelijk voor het identificeren van de bouwkundige staat van de gebouwen.

De investeringskosten zijn bepaald als de kosten op een zelfstandig moment en voor het uitvoeren van één maatregel of enkele gelijktijdige maatregelen. Bij het nieuwbouwpakket kan dit tot een overschatting van de kosten leiden, immers worden meer dan enkele maatregelen tegelijkertijd genomen.

Dit is ook het geval wanneer geen rekening wordt gehouden met bijkomende kosten, zoals voor een vervangende locatie bij een grootschalige renovatie. De kostenkengetallen dienen daarom slechts ter indicatie.

Daarbij worden de RVO kostenkengetallen maandelijks geïndexeerd. Voor tenminste één maatregel was de toename in kosten ruim 13% over een periode van slechts drie maanden. Bij het gebruik van de investeringskosten is het dus belangrijk om na te gaan welke prijsstijgingen de maatregelen hebben ondervonden in de betreffende periode.

5 Aanbevelingen

In dit onderzoek zijn verschillende aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek. Deze zijn hieronder verzameld.

- › Een aanbeveling is om voor de utiliteitsbouw meer praktijkonderzoek te doen naar verwarmingsniveaus en bouwkundige eisen. Er is nu nog te weinig inzicht in wanneer een utiliteitsgebouw lage-temperatuur ready is.
- › Een aanbeveling is dan ook om meer onderzoek te doen met gemeten energiebesparing van voor en na het nemen van maatregelpakketten of gebruik te maken van digital twins, specifiek in de utiliteitsbouw. De methode met energielabels leidt tot veel versimpelingen.
- › In Vesta MAIS is uitgegaan van de 11 BAG gebruiksfuncties. In dit onderzoek is voor een aantal gebruiksfuncties een specificering uitgevoerd. Dit is echter niet toegepast in de inputfile voor het Vesta MAIS model. Ook kan deze specificering nog verder worden uitgebreid voor de andere gebruiksfuncties. Het is aanbevolen om bij de volgende update een specificering van de 11 gebruiksfuncties te implementeren in het Vesta MAIS model.
- › Er is discussie over de vereiste isolatieniveaus bij verduurzaming. Daarom zijn drie verschillende pakketten doorgerekend. Het is een aanbeveling om bij de selectie van pakketten in Vesta MAIS rekening te houden met het isolatieniveau dat nodig is bij de temperatuur van de warmtelevering.
- › Voor de inputfile van het Vesta MAIS model zijn de kengetallen geaggregeerd naar gebruiksfunctie en vier grootteklassen. Het is een aanbeveling om bij de volgende update minder aggregatie toe te passen, waardoor de kengetallen beter aansluiten op de praktijksituatie.
- › De RVO investeringskosten kengetallen worden maandelijks geïndexeerd. Voor tenminste één maatregel werd een grote kostenstijging in een periode van drie maanden geobserveerd. Bij het gebruik van de investeringskosten is het dus belangrijk om na te gaan welke prijsstijgingen de maatregelen hebben ondervonden in de betreffende periode.
- › Ventilatie is bepalend voor het warmteverlies, maar is niet meegenomen in de maatregelpakketten. Een aanbeveling is om in vervolgonderzoek dit wel mee te nemen.
- › Het is een aanbeveling het in Vesta MAIS aanwezige verbruik voor warmtapwaterbereiding en koeling te evalueren.
- › In het Vesta MAIS model gaat de informatie op pandniveau verloren, denk aan energielabel, geometrie en energie-intensiteiten. Aanbeveling is dit in een volgende versie wel mee te nemen.
- › Een aanbeveling is om in vervolgonderzoek naast bouwjaar ook rekening te houden met renovatiejaar. Hiervoor is meer data over reeds uitgevoerde renovaties noodzakelijk en zal de inschatting van investeringskosten verbeteren.

Referenties

Brink (2020), Beoordeling verduurzamingskosten utiliteitsbouw.

Buildsight (2021). Verkoopcijfers Buildsight. *TNO intern*.

BZK (2023). Bouwbesluit 2012.

<https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012>

CBS (2022). Gebouwenmatrix energie 2020 op 1 januari 2020 en 1 januari 2021.

<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2022/13/gebouwenmatrix-energie-2020-op-1-januari-2020-en-1-januari-2021>

CBS (2023). Energy consumption of selected office buildings, Netherlands, 2019.

<https://www.cbs.nl/en-gb/custom/2023/08/energy-consumption-of-selected-office-buildings-netherlands-2019>

CBS (2023). Energieverbruik grootschalig logistiekvastgoed.

https://dashboards.cbs.nl/v3/energieverbruik_logistiekvastgoed/

CE Delft (2015). Energiekentallen utiliteitsgebouwen Vesta 2.0. C. (Cor) Leguijt, B.L. (Benno) Schepers N.R. (Nanda) Naber R.A. (Ruud) van den Wijngaart. September 2015

Cornelius, B., & Kampen, J. Y. G. Van. (2019). *Eindnorm 2050 bestaande utiliteitsbouw*.

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/11/30/kostenoptimaliteitsonderzoek-eindnorm-bestaande-utiliteitsbouw>

De Vree (n.d.). Warmtegeleidingscoëfficiënt.

<https://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtegeleidingscoefficient.shtml>

DGMR (2020). Eindnorm 2050 bestaande utiliteitsbouw.

<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-7f7cdea302f35289d8dbb1354fabcd2a0eccc035/pdf>

Duurzaam Bouwloket (n.d.). Warmtenet.

<https://www.duurzaambouwloket.nl/maatregel/warmtenet#:~:text=Een%20midden%20temperatuur%20warmtenet%20heeft,van%2070%20graden%20uitkomst%20bieden.>

Duurzaaminstaal (n.d.). Wijzigingen per 1 januari 2015.

https://www.duurzaaminstaal.nl/p/627/wijzigingen_p_112015_epc_rc_energielabel.html#:~:text=V%C3%B3%C3%B3r%201%20januari%20hanteerde%20het,K.

ECW (2020). Strategie 3: Warmtenet met laagtemperatuurbron.

<https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/de+leidraad/strategiefactsheets/strategie+3+warmtenet+met+laagtemperatuurbron/default.aspx>

ECW (n.d.). Hoe maak ik de keuze tussen 'Hoge temperatuur' of 'Lage temperatuur'?

<https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/marktordening+en+financiering/praktijktips+-+bestaande+bouw+aansluiten+op+warmte/hoe+maak+ik+de+keuze+tussen+hoge+temperatuur+of/default.aspx>

PBL (2023). Functioneel ontwerp Hestia 1.0. <https://www.pbl.nl/publicaties/functioneel-ontwerp-hestia-10>

Isodirect (n.d.). EPS. <https://iso-direct.com/eps/>

ISSO (2020). ISSO 75.1. Energieprestatie advies Utiliteitsgebouw.

<https://open.isso.nl/publicatie/isso-publicatie-75-1-energieprestatie-utiliteitsgebouwen/2022/11/11.2>

Menkveld, M. & Sipma, J. M. (2022). Impact aangescherpte renovatieverplichting publieke instellingen. TNO. <https://energy.nl/publications/impact-aangescherpte-renovatieverplichting-publieke-instellingen/>

Menkveld, M., Niessink, R.J.M., Sipma, J.M., Scheers, M., Beindorff, P., Plokker, W., de Wiy, S., de Jong, E., & Elkhuzen, B. (2020). Paris Proof monitor: openbare rapportage van het project Route Energie Duurzaam kantoren.

<https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A95b0d8d5-8833-4179-838c-03bdf8a541ac>

Milieucentraal (n.d.). Lage temperatuur verwarming. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/lage-temperatuur-verwarming-ltv/#is-jouw-isolatie-al-voldoende>

Milieucentraal (n.d.a). Zelf je vloer isoleren. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/isoleren-en-besparen/zelf-vloer-isoleren/>

Niessink, R.J.M. (2019). Notitie aanpassingen VESTA model schilmaatregelen utiliteitsgebouwen. TNO.

https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/downloads_getfilem.aspx?id=1050016&forcedownload=true

VABI, 2020. NTA 8800. U waarden glas type. <https://support.vabi.nl/wp-content/uploads/sites/2/2020/11/U-waarden-glas-type.png>

Nuiten, P., 2020. Database 'invoergegevens energielabels'. Peildatum 31-12-2020. Intern beschikbaar.

Nuiten, P. (2020a). Interne rapportage: Conversie energielabels naar NTA 8800. Aannamedocument conversie monitoringsbestanden utiliteitsbouw naar invoer voor de NTA 8800 validatietool; versie maart 2020

Panteia (2022). Renovaties in de Utiliteit 2022. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-11/Renovaties-in-de-Utiliteit-2022.pdf>

Peppelman, M., Peek, T., La Vos, A. (2022). *Actualisatie bouw- en investeringskosten*. https://arcpciprodsa.blob.core.windows.net/prod-cms/assets/Rapportage_EBM_Ubouw_2022_incl_bijlagen_22nov22_794d6d985d.pdf

Platform Gevelisolatie (n.d.). Beleid en regels. <https://www.platformgevelisolatie.nl/renovatie-en-isolatie/beleid-en-regels>

Pothof, I., Vreeken, T., van Meerkerk, M. (2022). Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings.

Regionaalenergieloket (n.d.). In 5 stappen naar nieuwe ramen.

<https://kennisbank.regionaalenergieloket.nl/isolatieglas/offerte-isolerend-glas/>

RVO (2021). Renovaties in de Utiliteit 2021.

RVO (2023), *Kosten kentallen maatwerkadvies utiliteitsbouw*. Prijspeil mei 2023. <https://digipesis.com/>

RVO (2023). *Kostenkentallen utiliteitsbouw*. Peildatum 05-2023. <https://digipesis.com/>

RVO (2023). *Renovatiestandaard*.

<https://www.rvo.nl/onderwerpen/renovatiestandaard><https://www.rvo.nl/onderwerpen/renovatiestandaard>

Sipma, J.M. (2023). *Verrijkte BAG ter ondersteuning van lokale energetische vraagstukken*.

<https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A7007a888-bde5-4b5a-8cb3-4ef3e53b557f>

Sipma, J. M., & Rietkerk, M. D. A. (2016). *Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsgebouwen*.

Retrieved from <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-E--15-068>

VABI (2016). Overzicht interpretatie- en wijzigingsbesluiten EPA-W methodiek.

<https://www.vabi.nl/nieuws/overzicht-interpretatie-en-wijzigingsbesluiten-epa-w-methodiek/>

van den Brom, P., Meijer, A., & Visscher, H. (2019). Actual energy saving effects of thermal renovations in dwellings—longitudinal data analysis including building and occupant characteristics. *Energy and Buildings*, 182, 251–263.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.025>

Van Kuijeren, F (2021). Aan het bouwjaar van je woning zien hoe die geïsoleerd is.

<https://vkmakelaars.nl/blog/bouwkundig-advies/aan-het-bouwjaar-van-je-woning-zien-hoe-die-geisoleerd-is/#:~:text=Vanaf%201988%3A%20is%20de%20eis,des%20te%20beter%20de%20isolatie>

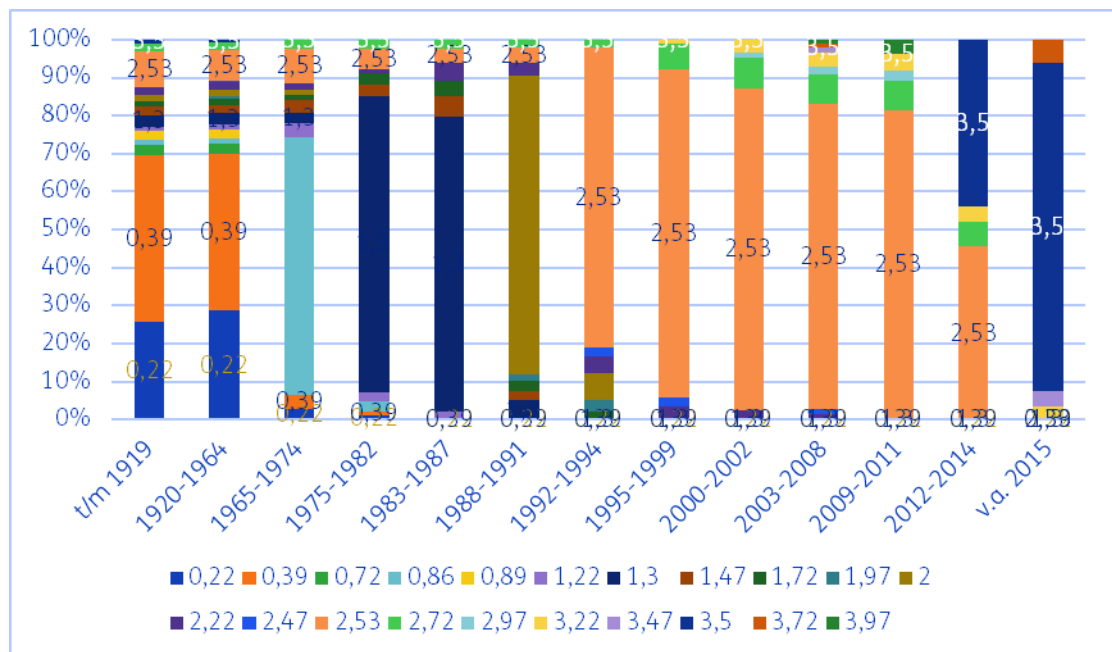
Bijlage A

Analyse uitgangssituatie warmteweerstand

De volgende figuren laten per bouwdeel zien wat de verdeling is naar isolatieniveau in de uitgangssituatie. De R_c -waarden zijn per bouwjaarcategorie in oplopende volgorde weergegeven. Hoe hoger de R_c -waarde, hoe beter de isolatie. De U_w -waarden voor ramen zijn in aflopende volgorde weergegeven, omdat de isolatie beter naarmate de U_w -waarde lager wordt.

Dak

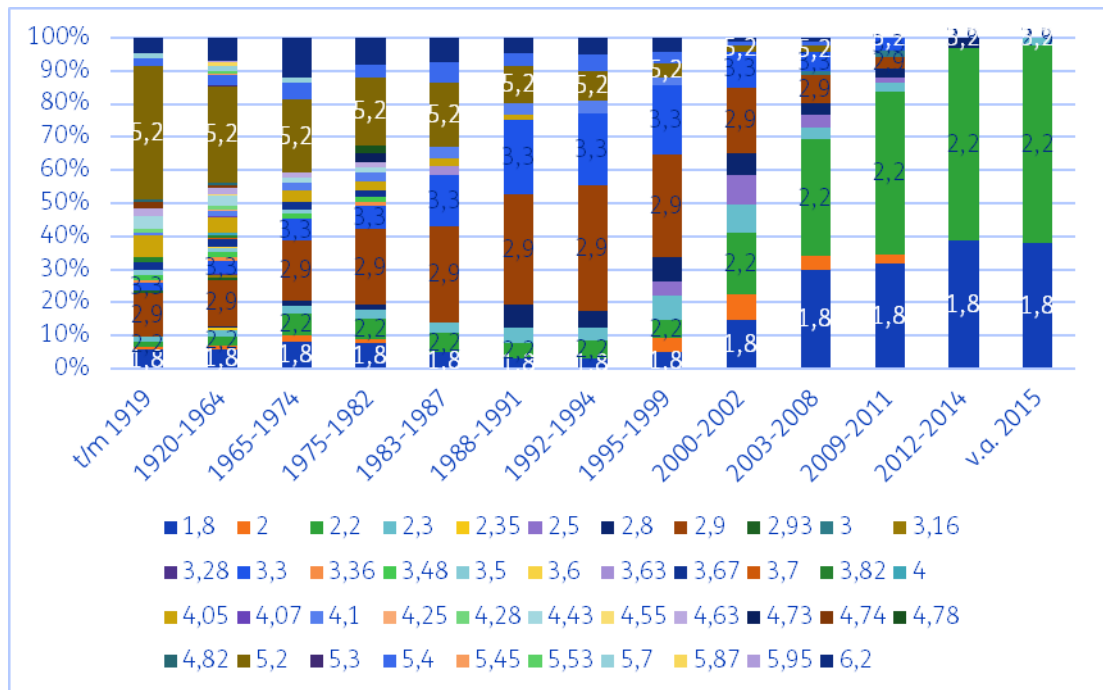
Bij het bouwdeel dak is duidelijk per bouwjaarklasse te zien welk huidig isolatieniveau dominant is.



Figuur A.1: Verdeling R_c -waarden voor daken per bouwjaarklasse

Ramen

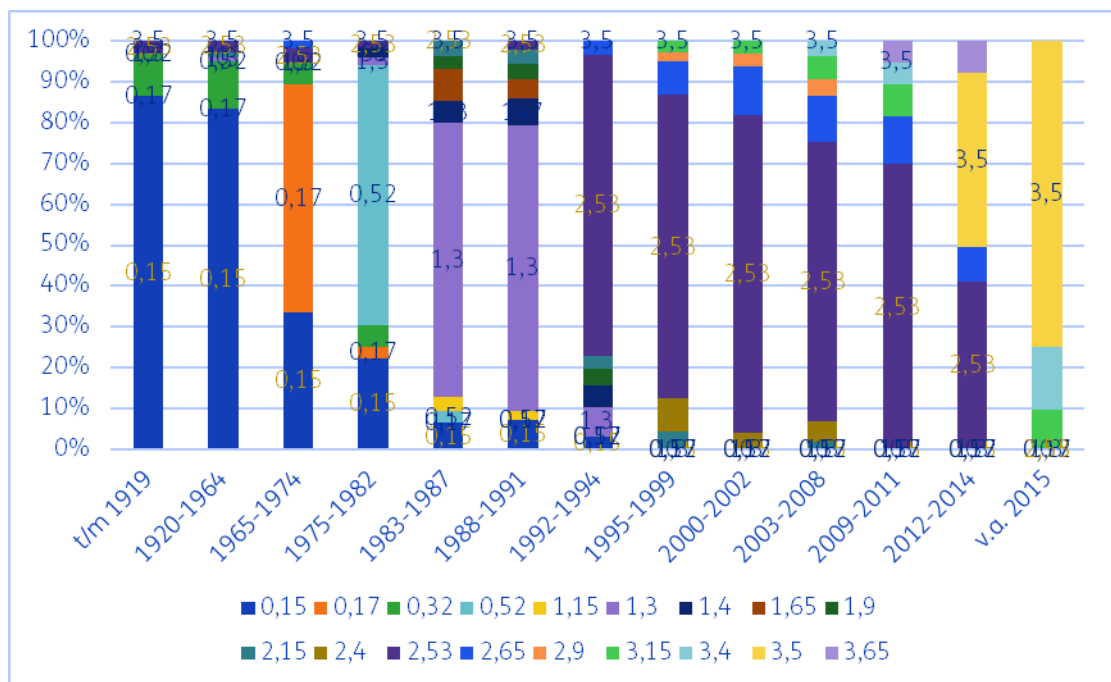
Bij ramen is te zien dat er veel variatie is, maar er zijn wel duidelijke trends zichtbaar van bouwjaar op bouwjaar. Vooral bij '1975-1982' is er geen duidelijke dominante U_w -waarde te observeren. Het is ook op te merken dat voor deze bouwjaarklasse de twee meest voorkomende waarden ver uit elkaar liggen. De U_w -waarde 2,9 representeert standaard dubbelglas en de U_w -waarde 5,2 representeert enkelglas.



Figuur A.2: Huidige verdeling Uw-waardes voor ramen per bouwjaarklasse

Vloeren

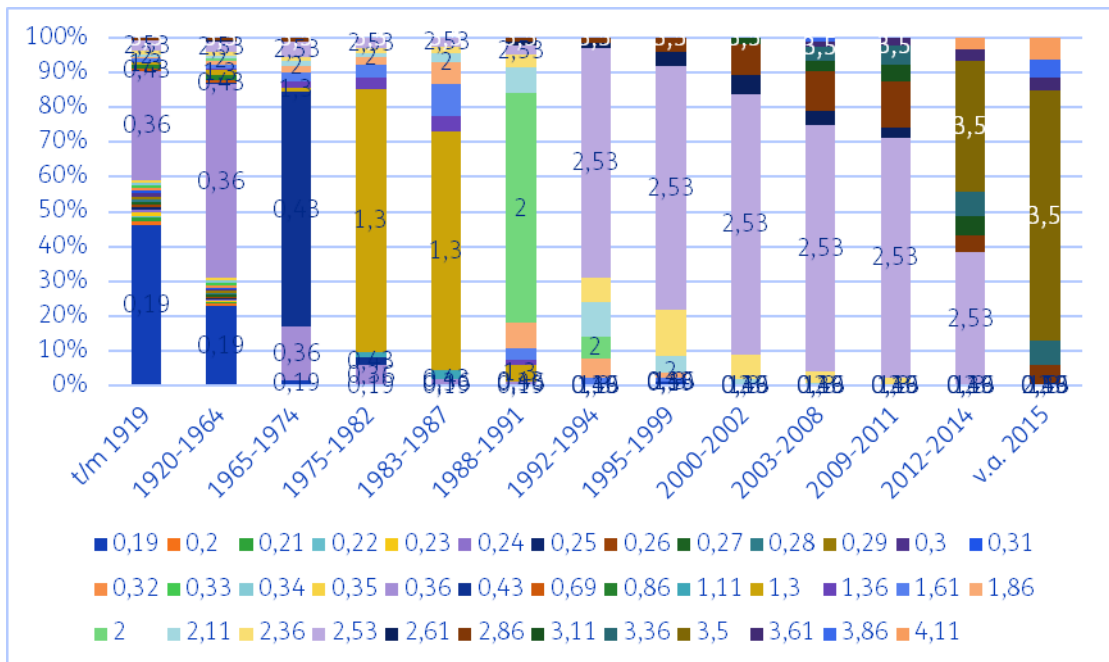
Bij vloeren is per bouwjaarcategorie duidelijk een dominant isolatieniveau terug te zien.



Figuur A.3: Huidige verdeling Rc-waardes voor vloeren per bouwjaarklasse

Buitengevel

Bij de buitengevel is voor de meeste bouwjaarklassen een duidelijk dominante Rc-waarde terug te zien. Bij de categorie '2012-2014' is een verschuiving zichtbaar van 2,53 naar 3,5 en is geen duidelijke dominante waarde te onderscheiden. In de categorie '0 t/m 1919' is naast de meest voorkomende waarde (0,19) ook een tweede veelvoorkomende waarde (0,36) terug te zien.

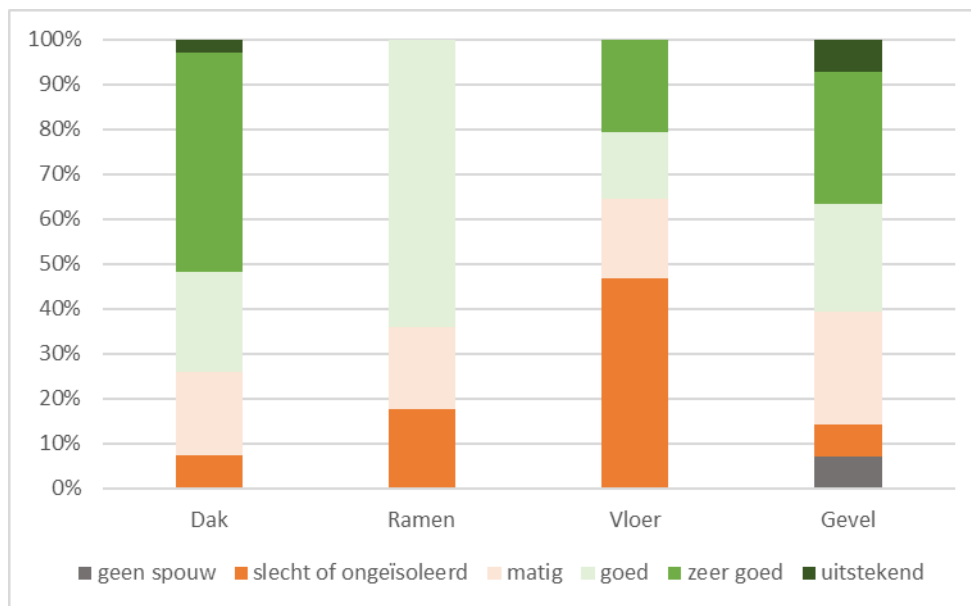


Figuur A.4: Huidige verdeling Rc-waardes voor gevels per bouwjaarklasse

Bijlage B

Analyse renovaties all-electric en zon-PV

Een extra analyse is uitgevoerd naar de invloed van zonnepanelen en all-electric situaties op de energielabel na renovatie. Dit is dezelfde analyse als gepresenteerd in *Figuur 2.12*. *Verdeling isolatieklassen van bouwdelen van renovaties na 2015 naar energielabel A*. Deze twee variabelen zouden ervoor kunnen zorgen dat vooral technische ingrepen hebben geleid tot een beter label, niet de isolatie. In *Figuur B.1* is te zien dat deze extra filter vergelijkbare resultaten oplevert als in *Figuur 2.12*. Daaruit kunnen we concluderen dat zonnepanelen of all-electric niet leidend zijn voor de sprong naar label A na een renovatie. Daarom is besloten deze filter niet toe te passen in de resultaten in de doel situatie maatregelenpakket 'groot'.



Figuur B.1: Figuur met filtering: geen zonnepanelen, warmte van derden of HR107, Label A.

Bijlage C

Kostenkengetallen RVO

De kostenkengetallen van het RVO zijn digitaal beschikbaar via Digipesis.com. De investeringskosten voor de utiliteitsbouw zijn gebruikt. Peildatum: mei 2023. In de tabel zijn de maatregelcodes, de eenheidsprijs voor de directe bouwkosten, de eenheidsprijs voor zelfstandig (direct+indirect) bouwkosten. De uitgangssituatie voor het bouwdeel en de behaalde doelsituatie na isolatie is weergegeven. Wanneer deze niet overeenkomt met de maatregelbeschrijving is een opmerking toegevoegd over de bewerking of aanname die daarvoor gedaan is.

Tabel C.1: Geselecteerde investeringskosten voor na-isolatie in de utiliteitsbouw (RVO, 2023).

Bouwdeel	maatregel	Nr.	Eenheidsprijs directe bouwkosten [€/m ²]	Eenheidsprijs zelfstandig [€/m ²]	Uitgangssituatie (in R _c of U _w)	Doelsituatie (in R _c of U _w)	Omschrijving	Opmerking
Dak	10 Dakisolatie buitenzijde (R _c =3,7): EPS isolatieplaat (d=90mm) op bestaande dakbedekking bij matig geïsoleerd plat dak (R _c =1,4)	10	80	99	1,3	3,7	Op bestaand	Dak in goede conditie
Dak	10_b Dakisolatie buitenzijde (R _c =3,7): EPS isolatieplaat (d=90mm) op bestaande dakbedekking bij matig geïsoleerd plat dak (R _c =1,4)	10_b1	80	99	3,7	6,3	Op bestaand	Andere uitgangs- en doelsituatie. Toevoegen isolatieplaat.
Dak	10_b Dakisolatie buitenzijde (R _c =3,7): EPS isolatieplaat (d=90mm) op bestaande dakbedekking bij matig geïsoleerd plat dak (R _c =1,4)	10_b2	72	89	2,5	3,7	Op bestaand	Gecorrigeerde materiaalkosten.

Bouwdeel	maatregel	Nr.	Eenheidsprijs directe bouwkosten [€/m ²]	Eenheidsprijs zelfstandig [€/m ²]	Uitgangssituatie (in R _c of U _w)	Doelsituatie (in R _c of U _w)	Omschrijving	Opmerking
Dak	169 Dakisolatie buitenzijde (R _c =3,9): PIR afschotisolatieplaat (d=90/100mm) en vervangen dakbedekking bij ongeïsoleerd plat dak (R _c =0,22)	169	136	168	0,22	3,7	Vervangen	R _c kleine afwijking
Dak	170 Dakisolatie buitenzijde (R _c =6,6): PIR isolatieplaat (d=100+50/60mm) en vervangen dakbedekking bij ongeïsoleerd plat dak (R _c =0,22)	170	152	187	0,22	6	Vervangen	R _c hoger dan doelsituatie
Dak	184 Dakisolatie buitenzijde (R _c =7,0): PIR isolatieplaat (d=80+50/60mm) en vervangen dakbedekking bij matig geïsoleerd plat dak (R _c =1,4)	184	148	183	1,3	6	Vervangen	R _c hoger dan doelsituatie
Dak	195 Dakisolatie buitenzijde (R _c =6,7): PIR isolatieplaat (d=100/110mm) en vervangen dakbedekking bij goed geïsoleerd plat dak (R _c =2,5)	195	130	160	2,5	6	Vervangen	R _c hoger dan doelsituatie
Gevel	153 Gevelisolatie buitenzijde (R _c =4,7): EPS isolatieplaat (d=80mm) bij goed geïsoleerde gevel (R _c =2,5)	153	130	160	2,5	4,7	Buitenzijde	
Gevel	153_b2 Gevelisolatie buitenzijde (R _c =4,7): EPS isolatieplaat (d=80mm --> 40 mm) bij goed geïsoleerde gevel (R _c =2,5)	153_b2	102	126	2,5	3,7	Buitenzijde	Toevoegen isolatieplaat van d=40 mm ipv 80 mm. Kosten gecorrigeerd
Gevel	153_b1 Gevelisolatie buitenzijde (R _c =4,7): EPS isolatieplaat (d=80mm --> 40 mm) bij goed geïsoleerde gevel (R _c =2,5)	153_b1	102	126	3,7	4,7	Buitenzijde	Toevoegen isolatieplaat van d=40 mm ipv 80 mm. Kosten gecorrigeerd
Gevel	3 Spouwisolatie (R _c =1,4): EPS parels (d=55mm) bij ongeïsoleerde gevel (R _c =0,35)	3	59	73	0,4	1,4	alleen i.c.m. binnengevelisolatie	Alleen voor bouwjaarklasse 1965-1974 waar spouwmuurisolatie nog niet is toegepast

Bouwdeel	maatregel	Nr.	Eenheidsprijs directe bouwkosten [€/m ²]	Eenheidsprijs zelfstandig [€/m ²]	Uitgangssituatie (in R _c of U _w)	Doelsituatie (in R _c of U _w)	Omschrijving	Opmerking
Gevel	322_b1 Gevelisolatie binnenzijde (R _c =3,5): minerale wol geïsoleerde metalstud voorzetwand (d=90 mm) bij matig geïsoleerde gevel (R _c =1,3)	322_b1	81	100	3,7	4,7	Prijsverschil tussen minerale wol is weinig afhankelijk van de dikte van de isolatie. De isolatiemaatregelen zijn gecategoriseerd in dikte > 100 mm==> 321 of dikte <100 mm ==>322 toegepast.	Omdat het prijsverschil tussen minerale wol toepassingen maar weinig afhankelijk is van de dikte van de isolatie, zijn de isolatiemaatregelen gecategoriseerd in dikte > 80 mm ,waarbij maatregel 322 is toegepast, of dikte<80mm, waar maatregel 321 is toegepast.
Gevel	322_b2 Gevelisolatie binnenzijde (R _c =3,5): minerale wol geïsoleerde metalstud voorzetwand (d=90 mm) bij matig geïsoleerde gevel (R _c =1,3)	322_b2	81	100	2,5	3,7	Prijsverschil tussen minerale wol is weinig afhankelijk van de dikte van de isolatie. De isolatiemaatregelen zijn gecategoriseerd in dikte > 100 mm==> 321 of dikte <100 mm ==>322 toegepast.	Omdat het prijsverschil tussen minerale wol toepassingen maar weinig afhankelijk is van de dikte van de isolatie, zijn de isolatiemaatregelen gecategoriseerd in dikte >80 mm, waarbij maatregel 322 is toegepast, of dikte <80mm, waar maatregel 321 is toegepast.
Gevel	322_b5 Gevelisolatie binnenzijde (R _c =3,5): minerale wol geïsoleerde metalstud voorzetwand (d=90 mm) bij matig geïsoleerde gevel (R _c =1,3)	322_b5	81	100	1,3	3,7	Prijsverschil tussen minerale wol is weinig afhankelijk van de dikte van de isolatie. De isolatiemaatregelen zijn gecategoriseerd in dikte > 100 mm==> 321 of dikte <100 mm ==>322 toegepast.	Alleen voor bouwjaarklasse 1965-1974 waar spouwmuurisolatie nog niet is toegepast

Bouwdeel	maatregel	Nr.	Eenheidsprijs directe bouwkosten [€/m ²]	Eenheidsprijs zelfstandig [€/m ²]	Uitgangssituatie (in R _c of U _w)	Doelsituatie (in R _c of U _w)	Omschrijving	Opmerking
Gevel	322_b4 Gevelisolatie binnenzijde (R _c =3,5): minerale wol geïsoleerde metalstud voorzetwand (d=90 mm) bij matig geïsoleerde gevel (R _c =1,3)	322_b4	81	100	1,3	3,7	Prijsverschil tussen minerale wol is weinig afhankelijk van de dikte van de isolatie. De isolatiemaatregelen zijn gecategoriseerd in dikte > 100 mm==> 321 of dikte <100 mm ==>322 toegepast.	Omdat het prijsverschil tussen minerale wol toepassingen maar weinig afhankelijk is van de dikte van de isolatie, zijn de isolatiemaatregelen gecategoriseerd in R _c > 80 mm, waarbij maatregel 322 is toegepast, of R _c <80mm, waar maatregel 321 is toegepast.
Gevel	321_b1 Gevelisolatie binnenzijde (R _c =3,5): minerale wol geïsoleerde metalstud voorzetwand (d=120mm) bij ongeïsoleerde gevel (R _c =0,35)	321_b1	84	104	1,3	4,7	Prijsverschil tussen minerale wol is weinig afhankelijk van de dikte van de isolatie. De isolatiemaatregelen zijn gecategoriseerd in dikte > 100 mm==> 321 of dikte <100 mm ==>322 toegepast.	Omdat het prijsverschil tussen minerale wol toepassingen maar weinig afhankelijk is van de dikte van de isolatie, zijn de isolatiemaatregelen gecategoriseerd in R _c > 80 mm, waarbij maatregel 322 is toegepast, of R _c <80mm, waar maatregel 321 is toegepast.
Gevel	322_b3 Gevelisolatie binnenzijde (R _c =3,5): minerale wol geïsoleerde metalstud voorzetwand (d=90 mm) bij matig geïsoleerde gevel (R _c =1,3)	322_b3	81	100	2,5	4,7	Prijsverschil tussen minerale wol is weinig afhankelijk van de dikte van de isolatie. De isolatiemaatregelen zijn gecategoriseerd in dikte > 100 mm==> 321 of dikte <100 mm ==>322 toegepast.	Omdat het prijsverschil tussen minerale wol toepassingen maar weinig afhankelijk is van de dikte van de isolatie, zijn de isolatiemaatregelen gecategoriseerd in R _c > 80 mm, waarbij maatregel 322 is toegepast, of R _c <80mm, waar maatregel 321 is toegepast.

Bouwdeel	maatregel	Nr.	Eenheidsprijs directe bouwkosten [€/m ²]	Eenheidsprijs zelfstandig [€/m ²]	Uitgangssituatie (in R _c of U _w)	Doelsituatie (in R _c of U _w)	Omschrijving	Opmerking
Gevel	321_b2 Gevelisolatie binnenzijde (R _c =3,5): minerale wol geïsoleerde metalstud voorzetwand (d=120mm) bij ongeïsoleerde gevel (R _c =0,35)	321_b2	84	104	0,2	3,7	Prijsverschil tussen minerale wol is weinig afhankelijk van de dikte van de isolatie. De isolatiemaatregelen zijn gecategoriseerd in dikte > 100 mm ==> 321 of dikte <100 mm ==>322 toegepast.	Omdat het prijsverschil tussen minerale wol toepassingen maar weinig afhankelijk is van de dikte van de isolatie, zijn de isolatiemaatregelen gecategoriseerd in R _c > 80 mm, waarbij maatregel 322 is toegepast, of R _c <80mm, waar maatregel 321 is toegepast.
Gevel	323 Gevelisolatie buitenzijde (R _c =3,5): minerale wol (d=140mm) bij ongeïsoleerde gevel (R _c =0,35)	323	152	187	0,4	3,7	Buitenzijde	Rc kleine afwijking
Gevel	324 Gevelisolatie buitenzijde (R _c =4,5): minerale wol (d=180mm) bij ongeïsoleerde gevel (R _c =0,35)	324	168	207	0,2	4,7	Buitenzijde	Rc kleine afwijking
Gevel	325 Gevelisolatie buitenzijde (R _c =3,5): minerale wol (d=90mm) bij matig geïsoleerde gevel (R _c =1,3)	325	115	142	1,3	3,7	Buitenzijde	Rc kleine afwijking
Gevel	326 Gevelisolatie buitenzijde (R _c =4,5): minerale wol (d=130mm) bij matig geïsoleerde gevel (R _c =1,3)	326	145	180	1,3	4,7	Buitenzijde	Rc kleine afwijking
Kierdichting	120 Kierdichting t.p.v. gevel en dak	120	18	22	Niet aanwezig		Aanname bij kozijnen kierdichting al wordt toegepast bij vervanging van ramen	
Ramen	21_b HR++ glas (U _g =1,2) i.p.v. enkel glas (U _g =5,8)	21_b	151	186	5,1	1,8g	Alleen glas vervangen. Weging naar bouwjaarklasse	

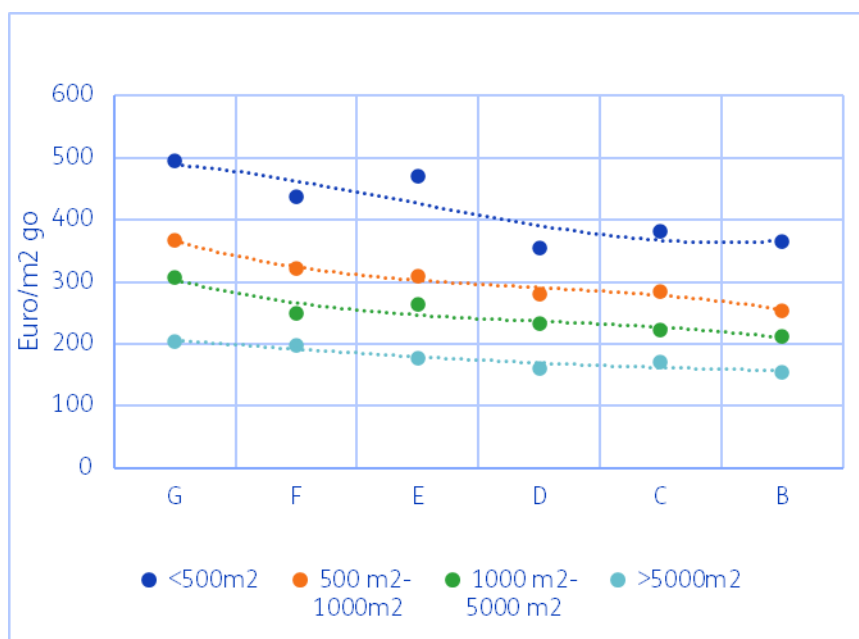
Bouwdeel	maatregel	Nr.	Eenheidsprijs directe bouwkosten [€/m ²]	Eenheidsprijs zelfstandig [€/m ²]	Uitgangssituatie (in R _c of U _w)	Doelsituatie (in R _c of U _w)	Omschrijving	Opmerking
Ramen	23_b Aluminium kozijn, incl. HR++ glas (U _w =1,8) i.p.v. bestaand kozijn, incl. HR++ glas (U _w =1,8)	23_b	523		5,1	1,8ak	Weging aluminium & houten kozijn. En weging glas en kozijn vervangen en alleen glas vervangen	Aanname uitgangssituatie enkelglas kozijn vervanging kost evenveel als HR++ kozijn vervangen
Ramen	25 Houten kozijn, incl. triple glas (U _w =0,9) i.p.v. bestaand kozijn, incl. HR++ glas (U _w =1,8)	25	511	632	1,8	0,9hk	Glas en kozijn vervangen	
Ramen	25_b Houten kozijn, incl. triple glas (U _w =0,9) i.p.v. bestaand kozijn, incl. HR++ glas (U _w =1,8)	25_b	511	632	5,1	0,9hk	Glas en kozijn vervangen	Aanname HR++ i.p.v. enkelglas heeft vergelijkbare kosten
Ramen	295 Aluminium kozijn, incl. triple glas (U _w =0,9 gn=0,5) i.p.v. bestaand kozijn, incl. HR++ glas (U _w =1,8 gn=0,6)	295	594		1,8	0,9ak		
Ramen	342_b Houten kozijn, incl. HR++ glas (U _w =1,8) i.p.v. bestaand houten kozijn, incl. HR++ glas (U _w =1,8)	342_b	625	773	5,1	1,8hk	Glas en kozijn vervangen	Aanname HR++ ipv enkelglas heeft vergelijkbare kosten
Vloer	15 Vloerisolatie onderzijde (R _c =3,7): PUR schuim (d=95mm) bij slecht/matig geïsoleerde steenachtige vloer (R _c =0,15)	15	35	43	0,15	3,7	Onderzijde	
Vloer	15_b Vloerisolatie onderzijde (R _c =3,7): PUR schuim (d=95mm) bij slecht/matig geïsoleerde steenachtige vloer (R _c =0,15)	15_b1	35	43	1,3	3,7	Onderzijde	Aanname vervangen oude isolatielaag
Vloer	15_b Vloerisolatie onderzijde (R _c =3,7): PUR schuim (d=95mm) bij slecht/matig geïsoleerde steenachtige vloer (R _c =0,15)	15_b2	35	43	2,5	3,7	Onderzijde	Aanname vervangen oude isolatielaag

Bijlage D

Verklarende factoren voor visuele afwijkingen investeringskosten

Wanneer de investeringskosten worden uitgezet naar labelklassen, met een onderverdeling naar grootteklassen, worden meestal visuele trendmatigheden gevonden zoals in onderstaande figuur D1 voor het grote pakket voor kantoren.

Conclusie: de investeringskosten liggen lager voor betere labelklassen en grotere grootteklassen.



Figuur D.1: Investeringskosten kantoren groot pakket

Deze trendmatigheid is echter niet altijd zo ‘mooi’ zichtbaar; reden dat op het oog afwijkingen voorkomen zijn:

Verklarende factoren vanuit de investeringskosten

1. De investeringskosten voor ramen liggen voor bouwjaarclassen [1975<=1991] hoger dan voor [1965<=1974]; zie onderstaande [Tabel D.1](#) voor de gele cel **FALSE**. Dit wijkt af van het logische patroon; je verwacht immers lagere investeringskosten om een doellabel A te halen, wanneer de bouwjaarclassen recentere is. De reden voor de lagere investeringskosten komt voort uit het feit dat volgens de statistiek een pand binnen de oudere bouwjaarclassen gemiddeld gezien al meer is voorzien van HR-glas, dan de recentere bouwjaarclassen, gemiddeld gezien hoeft er dus minder vervangen te worden binnen de oudere bouwjaarclassen.

Tabel D.1: Investeringskosten vergelijking

bouwjaar	vesta_hanna_bjr	renovatie	kosten_eurom2	kleiner of gelijk aan vorige?
0<=1964		1 dak_nieuwbouw	187,48	
1965<=1974		2 dak_nieuwbouw	187,48	TRUE
1975<=1991		3 dak_nieuwbouw	183,40	TRUE
1992<=2012		4 dak_nieuwbouw	160,44	TRUE
2013<=2023		5 dak_nieuwbouw	98,50	TRUE
0<=1964		1 gevel_nieuwbouw	207,28	
1965<=1974		2 gevel_nieuwbouw	187,45	TRUE
1975<=1991		3 gevel_nieuwbouw	139,89	TRUE
1992<=2012		4 gevel_nieuwbouw	130,30	TRUE
2013<=2023		5 gevel_nieuwbouw	115,26	TRUE
0<=1964		1 vloer_nieuwbouw	42,73	
1965<=1974		2 vloer_nieuwbouw	42,73	TRUE
1975<=1991		3 vloer_nieuwbouw	42,73	TRUE
1992<=2012		4 vloer_nieuwbouw	42,73	TRUE
2013<=2023		5 vloer_nieuwbouw	-	TRUE
0<=1964		1 ramen_nieuwbouw	639,42	
1965<=1974		2 ramen_nieuwbouw	607,62	TRUE
1975<=1991		3 ramen_nieuwbouw	624,84	FALSE
1992<=2012		4 ramen_nieuwbouw	395,33	TRUE
2013<=2023		5 ramen_nieuwbouw	107,95	TRUE
0<=1964		1 dak_groot	167,61	
1965<=1974		2 dak_groot	167,61	TRUE
1975<=1991		3 dak_groot	98,50	TRUE
1992<=2012		4 dak_groot	88,63	TRUE
2013<=2023		5 dak_groot	-	TRUE
0<=1964		1 gevel_groot	143,84	
1965<=1974		2 gevel_groot	194,23	FALSE
1975<=1991		3 gevel_groot	121,13	TRUE
1992<=2012		4 gevel_groot	114,89	TRUE
2013<=2023		5 gevel_groot	-	TRUE
0<=1964		1 vloer_groot	-	
1965<=1974		2 vloer_groot	-	TRUE
1975<=1991		3 vloer_groot	-	TRUE
1992<=2012		4 vloer_groot	-	TRUE
2013<=2023		5 vloer_groot	-	TRUE
0<=1964		1 ramen_groot	564,78	
1965<=1974		2 ramen_groot	514,36	TRUE
1975<=1991		3 ramen_groot	488,89	TRUE
1992<=2012		4 ramen_groot	249,78	TRUE
2013<=2023		5 ramen_groot	-	TRUE
0<=1964		1 dak_klein	167,61	
1965<=1974		2 dak_klein	167,61	TRUE
1975<=1991		3 dak_klein	98,50	TRUE
1992<=2012		4 dak_klein	88,63	TRUE
2013<=2023		5 dak_klein	-	TRUE
0<=1964		1 gevel_klein	-	
1965<=1974		2 gevel_klein	-	TRUE
1975<=1991		3 gevel_klein	-	TRUE
1992<=2012		4 gevel_klein	-	TRUE
2013<=2023		5 gevel_klein	-	TRUE
0<=1964		1 vloer_klein	-	
1965<=1974		2 vloer_klein	-	TRUE
1975<=1991		3 vloer_klein	-	TRUE
1992<=2012		4 vloer_klein	-	TRUE
2013<=2023		5 vloer_klein	-	TRUE
0<=1964		1 ramen_klein	564,78	
1965<=1974		2 ramen_klein	514,36	TRUE
1975<=1991		3 ramen_klein	488,89	TRUE
1992<=2012		4 ramen_klein	249,78	TRUE
2013<=2023		5 ramen_klein	-	TRUE
0<=1964		1 kierdichting_groot	22,34	
1965<=1974		2 kierdichting_groot	22,34	TRUE
1975<=1991		3 kierdichting_groot	22,34	TRUE
1992<=2012		4 kierdichting_groot	22,34	TRUE
2013<=2023		5 kierdichting_groot	-	TRUE
0<=1964		1 kierdichting_klein	-	
1965<=1974		2 kierdichting_klein	-	TRUE
1975<=1991		3 kierdichting_klein	-	TRUE
1992<=2012		4 kierdichting_klein	-	TRUE
2013<=2023		5 kierdichting_klein	-	TRUE
0<=1964		1 kierdichting_nieuwbouw	22,34	
1965<=1974		2 kierdichting_nieuwbouw	22,34	TRUE
1975<=1991		3 kierdichting_nieuwbouw	22,34	TRUE
1992<=2012		4 kierdichting_nieuwbouw	22,34	TRUE
2013<=2023		5 kierdichting_nieuwbouw	-	TRUE
0<=1964		1 ventilatie	35.200,57	
1965<=1974		2 ventilatie	35.200,57	TRUE
1975<=1991		3 ventilatie	25.651,79	TRUE
1992<=2012		4 ventilatie	25.651,79	TRUE
2013<=2023		5 ventilatie	-	TRUE

Deze afwijking wordt met voor sommige combinatie van gebruiksfunctie/grootteklasse versterkt omdat er een afwijking van het patroon is te constateren, voor wat betreft het procentuele aandeel glas binnen de gevel, zie [Tabel D.2](#). Dit zijn de cellen die **FALSE** aangeven.

Tabel D.2: **TITEL?**

raam_functie	opp_klasse_raam	opp_klasse_raam_tekst	open_gevel_opp	groter dan de vorige?
bijeenkomst	1	1. t/m 500	27.4%	
bijeenkomst	2	2. 501 t/m 1000	27.4%	FALSE
bijeenkomst	3	3. 1001 t/m 5000	27.6%	TRUE
bijeenkomst	4	4. > 5000	33.2%	TRUE
celfunctie	1	1. t/m 500	19.2%	
celfunctie	2	2. 501 t/m 1000	19.2%	TRUE
celfunctie	3	3. 1001 t/m 5000	19.2%	TRUE
celfunctie	4	4. > 5000	19.2%	TRUE
gezondheidszorg	1	1. t/m 500	26.9%	
gezondheidszorg	2	2. 501 t/m 1000	27.3%	TRUE
gezondheidszorg	3	3. 1001 t/m 5000	30.1%	TRUE
gezondheidszorg	4	4. > 5000	33.6%	TRUE
kantoorfunctie	1	1. t/m 500	28.8%	
kantoorfunctie	2	2. 501 t/m 1000	31.0%	TRUE
kantoorfunctie	3	3. 1001 t/m 5000	34.1%	TRUE
kantoorfunctie	4	4. > 5000	39.8%	TRUE
logiesfunctie	1	1. t/m 500	21.6%	
logiesfunctie	2	2. 501 t/m 1000	24.0%	TRUE
logiesfunctie	3	3. 1001 t/m 5000	26.0%	TRUE
logiesfunctie	4	4. > 5000	38.5%	TRUE
onderwijsfunctie	1	1. t/m 500	28.2%	
onderwijsfunctie	2	2. 501 t/m 1000	30.6%	TRUE
onderwijsfunctie	3	3. 1001 t/m 5000	32.5%	TRUE
onderwijsfunctie	4	4. > 5000	37.6%	TRUE
sportfunctie	1	1. t/m 500	17.5%	
sportfunctie	2	2. 501 t/m 1000	17.7%	TRUE
sportfunctie	3	3. 1001 t/m 5000	13.8%	FALSE
sportfunctie	4	4. > 5000	24.6%	TRUE
winkelfunctie	1	1. t/m 500	33.7%	
winkelfunctie	2	2. 501 t/m 1000	28.7%	FALSE
winkelfunctie	3	3. 1001 t/m 5000	27.0%	FALSE
winkelfunctie	4	4. > 5000	32.5%	TRUE

Dit speelt echter alleen voor het nieuwbouwpakket naar label A++.

2. Een zelfde soort logica vinden we voor gevelisolatie, zie wederom de gerelateerde cel **FALSE** in [Tabel D.1](#); in de bouwjaarklasse [1965 t/m 1974] is aangenomen dat de spouwmuur (+ binnen/buitengevel) wordt geïsoleerd. Voor de oudere bouwjaarklasse [≤ 1964] komt de spouwmuur veel minder voor en is deze niet meegenomen; zie ook Figuur 2.4 in het rapport. Door optelling van kosten komt deze optie duurder uit dan alleen Binnengevel isoleren. Wanneer nu in de figuur binnen een combinatie van een label/grootteklasse de één van deze twee bouwjaarklassen dominant aanwezig is dan binnen een andere combinatie; kan een visuele afwijking op de trendmatigheid ontstaan.

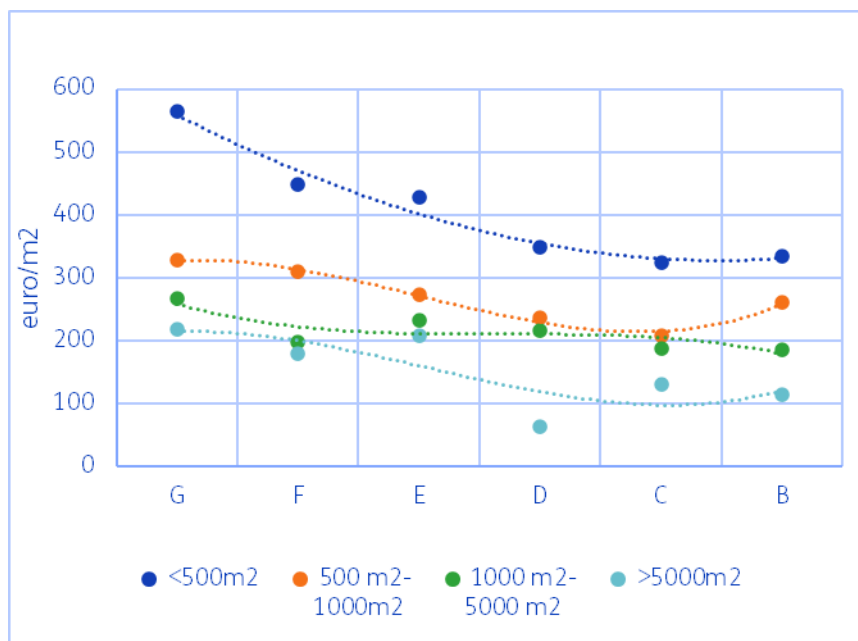
Deze afwijking wordt groter, naarmate er sprake is van meer geveloppervlak dat in aanmerking komt voor isolatiemaatregelen. Dit is weer direct gerelateerd aan de geometrie van panden, waar de volgende verklarende factoren punten over gaan.

Verklarende factoren vanuit de geometrie

3. De originele kostenkengetallen worden uitgedrukt per m² 'logische eenheid'. Een kostenkental voor gevelisolatie is bijv. uitgedrukt per m² (gesloten) gevel; die voor vervanging van enkel- en dubbelglas door HR++ glas, als euro/m² glas (open gevel), etc.

In Verrijkte BAG zijn deze kostenkengetallen gekoppeld aan ieder individueel Ubouw pand. Het kan voorkomen dat binnen een bepaalde label/grootteklasse-combinatie ‘toevallig’ een pandenpopulatie aanwezig is die qua geometrie significant afwijkt van de andere label/grootteklasse-combinaties. Denk ook aan vrijstaande- versus geschakelde panden. Wanneer dit het geval is, zal de trendmatigheid visueel gezien *lijken* af te wijken.

4. Voorgaande verklaring onder het eerste punt zal eerder voorkomen, wanneer de populatiegrootte binnen een label/grootteklasse-combinatie relatief klein is; geometrisch afwijkende panden zullen dan als ‘uitschieters’ de visuele trendmatigheid sneller beïnvloeden. De populaties binnen de betere labelklassen zijn over het algemeen minder groot. Afhankelijk van de gebruiksfunctie, zijn de kleinere-, dan wel de grotere grootteklassen ook minder goed gevuld; er zijn minder kleinere panden met de celfunctie en juist minder grotere panden met de ‘winkelfunctie’.
5. Binnen een gebruiksfunctie kan een ‘plotselinge overgang’ aanwezig zijn naar een ander bouwtype. Een voorbeeld is de gebruiksfunctie ‘logies’; de kleinere panden zijn over het algemeen de kleinere bed-and-breakfasts, deze gaan via huisjesparken over naar de grotere hotels. Het is voor te stellen dat deze bouwtypen hun eigen ‘gemiddelde geometrieën’ hebben die onderling van elkaar afwijken. Hierdoor zullen trendmatigheden sneller visueel afwijken, zie onderstaande **Figuur D.2** ter illustratie (en vergelijk met voorgaande figuur voor kantoren).



Figuur D.2: Investeringskosten logies groot packet

Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl

TNO innovation
for life